



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**“DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO
IRONBLUE PARA LAS TECNOLOGÍAS ZIGBEE, BLUETOOTH Y
WI-FI”**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN**

PRESENTA

ING. EDGAR MANUEL CANO CRUZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. IVÁN ANTONIO GARCÍA PACHECO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. JULIO DE 2012

**Tesis presentada el 13 de Julio de 2012
ante los siguientes sinodales:**

**Dr. Iván Antonio García Pacheco
Dr. Felipe de Jesús Trujillo Romero
M.C. Felipe Santiago Espinosa
M.S.R.C. José Antonio Moreno Espinosa
M.C. Arturo Pablo Sandoval García**

Director de tesis:

Dr. Iván Antonio García Pacheco

Dedicatoria

A mi madre que me ha dado todo.

Índice

Dedicatoria.....	iii
Índice	v
Lista de tablas	ix
Lista de figuras.....	xi
Resumen	xix
Abstract.....	xxi
1. Introducción	1
1.1. Tecnologías inalámbricas de corto alcance.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	7
1.3. Antecedentes y Justificación	9
1.4. Hipótesis	12
1.5. Objetivos	12
1.5.1. Objetivo general	12
1.5.2. Objetivos específicos	12
1.6. Metodología	12
1.7. Estructura de la tesis	15
1.8. Publicaciones.....	15
2. Estado del Arte.....	17
2.1. Modelo educativo tradicional.....	17
2.2. Modelos de aprendizaje mediante la acción	18
2.2.1. Constructivismo	18
2.2.2. Construccinismo	19
2.2.3. Otros enfoques de aprendizaje	21
2.3. Estado actual de la investigación.....	22
2.3.1. Laboratorio de comunicaciones inalámbricas	23
2.3.2. Curso de laboratorio de sistemas de comunicaciones inalámbricas	25

2.3.3. Laboratorio y metodología de enseñanza para SE inalámbricos y móviles	29
2.3.4. Construcción de una plataforma para la enseñanza de microcontroladores.....	34
2.3.5. Aprendizaje de SE con plataforma de evaluación para múltiples MCU.....	36
2.3.6. Entorno Hardware escalable para la educación de sistemas empotrados	39
2.3.7. Comparativa del estado de la investigación	41
3. Tecnologías Inalámbricas de Corto Alcance.....	43
3.1. IEEE 802.15.4/ZigBee	45
3.1.1. Topología IEEE 802.15.4.....	48
3.1.2. Fundamentos IEEE 802.15.4/ ZigBee.....	49
3.2. Bluetooth.....	53
3.2.1. Radio Bluetooth.....	54
3.2.2. Topología Bluetooth	55
3.2.3. Banda base.....	57
3.2.4. Conexiones Bluetooth.....	59
3.2.5. Transferencia de datos.....	61
3.2.6. Capa baja de protocolos (el controlador)	62
3.2.7. Capa alta de protocolos (el huésped)	62
3.2.8. Protocolos de transporte de datos	63
3.3. IEEE 802.11 abgn/Wi-Fi.....	64
3.3.1. Topología 802.11	67
3.3.2. Servicios 802.11	68
3.3.3. Radio 802.11.....	69
3.3.4. Capa Establecimiento de la conexión en IEEE 802.11	70
4. Planteamiento de la solución.....	71
4.1. Conjunto de herramientas IronBlue	71
4.2. Modelo constructor como enfoque de aprendizaje	73
4.3. Perspectiva constructora en un curso de sistemas empotrados	74
4.4. Arquitectura básica de los sistemas empotrados	85
5. Diseño y desarrollo del conjunto de sistemas IronBlue.....	89
5.1. Especificación de requerimientos del conjunto sistemas IronBlue	89
5.1.1. Requerimientos de la Plataforma Iron	91
5.1.2. Requerimientos del sistema DreamBee	96
5.1.3. Requerimientos del sistema DreamBlue	105
5.1.4. Requerimientos del sistema DreamFi	116
5.2. Diseño del conjunto de sistemas IronBlue	129
5.2.1. Diagramas de estructura del conjunto de sistemas IronBlue.....	129
5.2.2. Diagramas de secuencia del conjunto de sistemas IronBlue	139
5.2.3. Diagramas de máquinas de estado del conjunto de sistemas IronBlue.....	156

5.3. Desarrollo del conjunto de sistemas IronBlue	163
5.3.1. Desarrollo Hardware.....	163
5.3.2. Desarrollo Software	167
5.4. Integración del conjunto de sistemas IronBlue	169
5.5. Validación del conjunto de sistemas IronBlue.....	170
5.5.1. Validación de la Plataforma Iron.....	170
5.5.2. Validación del sistema DreamBee.....	173
5.5.3. Validación del sistema DreamBlue	176
5.5.4. Validación del sistema DreamFi	180
5.6. Entrega y mantenimiento del conjunto de sistemas IronBlue.....	184
6. Resultados y Conclusiones	189
6.1. Ingeniería de Sistemas	191
6.1.1. Práctica 1 – Propiedades generales Bluetooth.....	191
6.1.2. Práctica 2 – Gestión de la conexión y seguridad Bluetooth.....	193
6.1.3. Práctica 3 – Enlaces Bluetooth.....	195
6.1.4. Satisfacción de los alumnos	199
6.2. Posgrado.....	202
6.3. Conclusiones	207
Bibliografía	209
Sitios URL	221
Acrónimos.....	223
A. Anexo publicaciones.....	229
B. Anexo dispositivos connectBlue.....	235
B.1. Adaptador de puerto serie RS232 OEM III.....	235
B.2. OEM OZS311	236
B.3. OEM OBS433.....	238
B.4. OEM OWS451	240
C. Anexo prácticas auxiliares IronBlue	243
D. Anexo modelado y diseño en UML.....	297
D.1. Diagramas de caso de uso	298
D.2. Diagramas de estructura.....	299
D.3. Diagramas de secuencia	300
D.4. Diagramas de máquinas de estado	301

Lista de tablas

Tabla 1.1. Principales tecnologías inalámbricas de corto alcance.	7
Tabla 1.2. Proyección de empleos para especialistas en redes de computadoras [URL-11].....	10
Tabla 1.3. Proyección de empleos para ingenieros técnicos [URL-10].	10
Tabla 2.1. Laboratorio de redes inalámbricas [Cassara, 2006].....	23
Tabla 2.2. Resumen de experimentos obligatorios [Güzelgöz, 2010].	26
Tabla 2.3. Respuesta de encuestas [Güzelgöz, 2010].....	29
Tabla 2.4. Guía de temas del curso [Chenard, 2008].	30
Tabla 2.5. Estrategia adoptada para el diseño de la plataforma escalable [Goncalves, 2011].	40
Tabla 2.6. Características de los artefactos relacionados con el estado de la investigación.	42
Tabla 3.1. Valores de transmisión y sensibilidad de recepción [Hunn, 2010].	44
Tabla 3.2. Historial de liberaciones del estandar IEEE 802.15.4 [Farahani, 2008].	46
Tabla 3.3. Historial de liberaciones de la especificación ZigBee [Farahani, 2008].....	46
Tabla 3.4. Versiones de la especificación Bluetooth [BluetoothSIG, 2011].	53
Tabla 3.5. Clases de dispositivos Bluetooth [BluetoothSIG, 2011].....	55
Tabla 3.6. Versiones más importantes del estándar IEEE 802.11 [Farahani, 2008].....	64
Tabla 3.7. Grupos de trabajo más relevantes del estándar IEEE 802.11 [Farahani, 2008].	65
Tabla 3.8. Versiones del estándar Wi-Fi [Gratton, 2007].	65
Tabla 3.9. Pruebas de certificación de productos Wi-Fi [Farahani, 2008].....	66
Tabla 4.1. Control de las etapas del marco de trabajo.....	79
Tabla 4.2. Plataformas comerciales para el desarrollo de sistemas empotrados.	81
Tabla 5.1. Componentes de la UI.....	92
Tabla 5.2. Estados de operación del SPA.	95
Tabla 5.3. Componentes del WM	95
Tabla 5.4. Componentes de la MCUI.....	96
Tabla 5.5. Órdenes AT utilizadas por el subsistema ZGP.....	98
Tabla 5.6. Órdenes AT utilizadas por el subsistema ZAP.....	99

Tabla 5.7. Órdenes AT utilizadas por el subsistema ZSM.	101
Tabla 5.8. Órdenes AT utilizadas por el subsistema ZCM.	103
Tabla 5.9. Órdenes AT utilizadas por el subsistema ZDTM.	105
Tabla 5.10. Órdenes AT utilizadas por el subsistema BGP.	107
Tabla 5.11. Órdenes AT utilizadas por el subsistema BAP.	109
Tabla 5.12. Órdenes AT utilizadas por el subsistema BSM.	111
Tabla 5.13. Órdenes AT utilizadas por el subsistema BCM.	113
Tabla 5.14. Órdenes AT utilizadas por el subsistema BDTM.	116
Tabla 5.15. Órdenes AT utilizadas por el subsistema WFGP.	118
Tabla 5.16. Órdenes AT utilizadas por el subsistema WFNL.	120
Tabla 5.17. Órdenes AT utilizadas por el subsistema WFSM.	123
Tabla 5.18. Órdenes AT utilizadas por el subsistema WFCM.	124
Tabla 5.19. Órdenes AT utilizadas por el subsistema WFDTM.	128
Tabla 5.20. Componentes de la Plataforma Iron.	163
Tabla 5.21. Herramientas Software empleadas.	167
Tabla 5.22. Versiones de actualización del sistema DreamBee ver 1.0.	184
Tabla 5.23. Versiones de actualización del sistema DreamBlue ver 1.9.	185
Tabla 5.24. Versiones de actualización del sistema DreamFi ver 1.0.	185
Tabla 5.25. Costos de producción de la Plataforma Iron y los sistemas IronBlue.	186
Tabla 6.1. Respuesta de encuesta Ingeniería de Software.	200
Tabla B.1. Terminales del conector DB9 del módulo adaptador de RS232 OEM III [URL-9]. .	235
Tabla B.2. Características mecánicas del adaptador RS232 OEMII [URL-9].	236
Tabla B. 3. Características del dispositivo OEM OZS311 [URL-9].	237
Tabla B.4. Características del dispositivo OEM OBS433 [URL-9].	238
Tabla B.5. Características de la antena [URL-9].	240
Tabla B.6. Características del dispositivo OEM OWS451 [URL-9].	240
Tabla B.7. Características de la antena [URL-9].	241

Lista de figuras

Figura 1.1. Sistemas empotrados equipados con tecnologías inalámbricas.	1
Figura 1.2. Tendencias en la computación.	2
Figura 1.3. Productos electrónicos empotrados con tecnología inalámbrica [URL-2].	3
Figura 1.4. Comparación de los protocolos ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi [Cano, 2010].	3
Figura 1.5. Tecnologías inalámbricas de corto alcance [Cano, 2010].	4
Figura 1.6. Relación entre las capas y las fases de SPIES [García, 2010b].	13
Figura 2.1. Modelo tradicional de enseñanza.	18
Figura 2.2. Ejemplo de constructivismo.	19
Figura 2.3. Ejemplo de construccionismo.	20
Figura 2.4. Aplicación del construccionismo.	21
Figura 2.5. Plataforma de enseñanza bajo MCU 89S51 [Chin-Ming, 2009].	35
Figura 2.6. Diagrama a bloques de plataforma de desarrollo [Selvakumar, 2011].	37
Figura 2.7. Concepto de programa monitor [Selvakumar, 2011].	38
Figura 2.8. Ejemplo de configuración de la plataforma escalable [Goncalves, 2011].	40
Figura 3.1. Arquitectura general de los protocolos inalámbricos [Hunn, 2010].	44
Figura 3.2. Arquitectura de protocolos ZigBee [Farahani, 2008].	46
Figura 3.3. Uso del espectro por la especificación IEEE 802.15.4 [Hunn, 2010].	47
Figura 3.4. Topología de red en estrella IEEE 802.15.4 [URL-3].	48
Figura 3.5. Topología punto a punto [Farahani, 2008].	48
Figura 3.6. Topología en árbol [Farahani, 2008].	49
Figura 3.7. Transferencia de datos de un dispositivo a un Coordinador PAN [Farahani, 2008]. ...	51
Figura 3.8. Transferencia de datos de un Coordinador PAN a dispositivo [Farahani, 2008].	51
Figura 3.9. Arquitectura de protocolos Bluetooth [Farahani, 2008].	54
Figura 3.10. Uso del espectro de Bluetooth [Farahani, 2008].	54
Figura 3.11. Topologías Bluetooth [BluetoothSIG, 2011].	56
Figura 3.12. Conversación a través de los saltos [BluetoothSIG, 2011].	56

Figura 3.13. Saltos extendidos [BluetoothSIG, 2011].	57
Figura 3.14. Adaptación de saltos de frecuencia [Farahani, 2008].	57
Figura 3.15. Estados y subestados de un dispositivo Bluetooth [BluetoothSIG, 2011].	58
Figura 3.16. Formato de la dirección de un dispositivo Bluetooth [BluetoothSIG, 2011].	58
Figura 3.17. Formato general de los BB_PDU [BluetoothSIG, 2011].	59
Figura 3.18. Proceso de sondeo.	60
Figura 3.19. Proceso de vinculación.	61
Figura 3.20. Relación entre especificaciones 802.03, 802.11y Wi-Fi [Hunn, 2010].	66
Figura 3.21. Topología IEEE 802.11 [Farahani, 2008].	67
Figura 3.22. Conjunto de Servicio Extendido 802.11.	68
Figura 3.23. Uso del espectro por la especificación IEEE 802.11 [Hunn, 2010].	69
Figura 3.24. Comparación con el modelo de referencia OSI [Labiod, 2007].	70
Figura 4.1. Conjunto de herramientas IronBlue.	72
Figura 4.2. Diagrama a bloques del conjunto de herramientas IronBlue.	72
Figura 4.3. Adaptación del entorno de entrenamiento.	73
Figura 4.4. Roles del aprendizaje constructorista.	74
Figura 4.5. Enfoque de entrenamiento basado en un núcleo.	75
Figura 4.6. Marco de trabajo bajo el enfoque constructorista.	75
Figura 4.7. Supervisión a expansiones del núcleo.	77
Figura 4.8. Repositorio colaborativo en el entorno educativo.	78
Figura 4.9. Especificación abierta para el desarrollo.	81
Figura 4.10. Modelo de arquitectura para sistemas empotrados.	85
Figura 4.11. Selección de herramientas Hardware y Software.	85
Figura 4.12. Elección del MCU.	86
Figura 4.13. Selección del lenguaje a desarrollar el firmware.	87
Figura 5.1. Caso de uso general para el conjunto de sistemas IronBlue.	90
Figura 5.2. Diagrama de requerimientos del conjunto de sistemas IronBlue.	90
Figura 5.3. Caso de uso para la plataforma Iron.	91
Figura 5.4. Caso de uso para la Interfaz de Usuario.	92
Figura 5.5. Caso de uso para la Interfaz Serial.	93
Figura 5.6. Caso de uso para el WM.	93
Figura 5.7. Caso de uso para los Modos de Operación del SPA.	94
Figura 5.8. Caso de uso para el LED RGB del SPA.	94
Figura 5.9. Caso de uso del MCU.	96
Figura 5.10. Caso de uso para el sistema Firmware DreamBee.	97
Figura 5.11. Caso de uso para subsistema ZGP.	97
Figura 5.12. Caso de uso para el subsistema ZAP.	99
Figura 5.13. Caso de uso para el subsistema ZSM.	100

Figura 5.14. Caso de uso para el subsistema ZCM.	102
Figura 5.15. Caso de uso para el subsistema ZDTM.	105
Figura 5.16. Caso de uso para el sistema Firmware DreamBlue.	106
Figura 5.17. Caso de uso para subsistema BGP.....	107
Figura 5.18. Caso de uso para el subsistema BAP.	109
Figura 5.19. Caso de uso para el subsistema BSM.	111
Figura 5.20. Caso de uso para el subsistema BCM.	112
Figura 5.21. Caso de uso para el subsistema BDTM.	115
Figura 5.22. Caso de uso para el sistema Firmware DreamFi.	117
Figura 5.23. Caso de uso para subsistema WFGP.	117
Figura 5.24. Caso de uso para el subsistema WFNL.	120
Figura 5.25. Caso de uso para el subsistema WFSM.	122
Figura 5.26. Caso de uso para el subsistema WFCM.....	124
Figura 5.27. Caso de uso para el subsistema WFDTM.	128
Figura 5.28. Arquitectura interna del sistema DreamBee.	129
Figura 5.29. Diagrama de estructura del subsistema Control_MCU_Bee.	130
Figura 5.30. Diagrama de estructura del subsistema ZGP.	130
Figura 5.31. Diagrama de estructura del subsistema ZAP.	130
Figura 5.32. Diagrama de estructura del subsistema ZSM.	131
Figura 5.33. Diagrama de estructura del subsistema ZCM.	131
Figura 5.34. Diagrama de estructura del subsistema ZDTM.....	132
Figura 5.35. Diagrama de estructura del sistema DreamBlue.	132
Figura 5.36. Diagrama de estructura del subsistema Control_MCU_Blue.	133
Figura 5.37. Diagrama de estructura del subsistema BGP.	133
Figura 5.38. Diagrama de estructura del subsistema BAP.	134
Figura 5.39. Diagrama de estructura del subsistema BSM.....	134
Figura 5.40. Diagrama de estructura del subsistema BCM.	135
Figura 5.41. Diagrama de estructura del subsistema BDTM.....	135
Figura 5.42. Diagrama de estructura del sistema DreamFi.	136
Figura 5.43. Diagrama de estructura del subsistema Control_MCU_Fi.	136
Figura 5.44. Diagrama de estructura del subsistema WFGP.	137
Figura 5.45. Diagrama de estructura del subsistema WFNL.	137
Figura 5.46. Diagrama de estructura del subsistema WFSM.	138
Figura 5.47. Diagrama de estructura del subsistema WFCM.	138
Figura 5.48. Diagrama de estructura del subsistema WFDTM.	139
Figura 5.49. Diagrama de secuencia - Asignación de nombre al WM ZigBee.	140
Figura 5.50. Diagrama de secuencia - Activación del modo visible ZigBee.	141
Figura 5.51. Diagrama de secuencia - Activación del modo seguro ZigBee.	142

Figura 5.52. Diagrama de secuencia – Asignación del canal de operación ZigBee.....	143
Figura 5.53	144
Figura 5.54. Diagrama de secuencia – Envío de mensaje de prueba “HOLA ZIGBEE”.....	144
Figura 5.55. Diagrama de secuencia – Asignar nombre amigable al WM Bluetooth.	145
Figura 5.56. Diagrama de secuencia - Activación del modo conectable del WM Bluetooth.	146
Figura 5.57. Diagrama de secuencia - Activación del modo seguro del WM Bluetooth.	147
Figura 5.58. Diagrama de secuencia – Búsqueda de dispositivos Bluetooth.....	148
Figura 5.59. Diagrama de secuencia – Enviando mensaje “HOLA BLUETOOTH”.	149
Figura 5.60. Diagrama de secuencia – Asignar nombre <i>host</i> al WM Wi-Fi.....	150
Figura 5.61. Diagrama de secuencia - Activación del DHCP en modo cliente.	151
Figura 5.62. Diagrama de secuencia - Activación del modo seguro del WM Wi-Fi (Clave- WEP128).....	152
Figura 5.63. Diagrama de secuencia – Búsqueda de dispositivos AP Wi-Fi.....	153
Figura 5.64. Diagrama de secuencia – Activar servicio TCP y asignar puerto de escucha.....	154
Figura 5.65. Diagrama de secuencia – Recepción de mensajes a través del servicio TCP en el WM Wi-Fi.	155
Figura 5.66. Máquina de estado del Control_MCU_Bee.	156
Figura 5.67. Máquina de estado del subsistema ZGP.....	156
Figura 5.68. Máquina de estado del subsistema ZAP.....	157
Figura 5.69. Máquina de estado del subsistema ZSM.	157
Figura 5.70. Máquina de estado del subsistema ZCM.	157
Figura 5.71. Máquina de estado del subsistema ZDTM.....	158
Figura 5.72. Máquina de estado del subsistema Control_MCU_Blue.	158
Figura 5.73. Máquina de estado del subsistema BGP.	158
Figura 5.74. Máquina de estado del subsistema BAP.	159
Figura 5.75. Máquina de estado del subsistema BSM.....	159
Figura 5.76. Máquina de estado del subsistema BCM.	159
Figura 5.77. Máquina de estado del subsistema BDTM.....	160
Figura 5.78. Máquina de estado del subsistema Control_MCU_Fi.	160
Figura 5.79. Máquina de estado del subsistema WFGP.	161
Figura 5.80. Máquina de estado del subsistema WFNLP.....	161
Figura 5.81. Máquina de estado del subsistema WFSM.	162
Figura 5.82. Máquina de estado del subsistema WFCM.	162
Figura 5.83. Máquina de estado del subsistema WFDTM.....	162
Figura 5.84. Diagrama esquemático de la Plataforma Iron.	164
Figura 5.85. Diagrama de PCB de la Plataforma Iron.....	165
Figura 5.86. Construcción de la Plataforma Iron.	166
Figura 5.87. Módulos inalámbricos connectBlue [URL-9].	166
Figura 5.88. Tarjeta adaptadora de puerto serie RS232 OEM III [URL-9].....	166

Figura 5.89. Entorno de diseño IBM Rhapsody.....	167
Figura 5.90. Entorno de desarrollo mikroC for dsPIC.	168
Figura 5.91. Interfaz del programador MASTER-PROG.....	168
Figura 5.92. Diagrama de integración del WM.	169
Figura 5.93. Integración de los módulos inalámbricos.....	169
Figura 5.94. Integración de la Plataforma Iron con el WM.	169
Figura 5.95. Figuras monocromáticas para el GLCD.	170
Figura 5.96. Mensaje de Plataforma Iron.	171
Figura 5.97. Memoria EEPROM I2C 24LC64.....	171
Figura 5.98. Comprobación de funcionamiento del módulo I2C.	172
Figura 5.99. Envío de datos a través del protocolo CAN.....	172
Figura 5.100. Visualización de valor del sensor One-Wire DS18B20.....	172
Figura 5.101. Conexión y reconocimiento del dsPIC30F4013 vía ICSP.....	173
Figura 5.102. Configuración de subsistemas ZGP y ZAP.....	173
Figura 5.103. Configuración subsistema ZAP.....	174
Figura 5.104. Configuración subsistema ZSM.	174
Figura 5.105. Configuración subsistema ZCM.....	174
Figura 5.106. Búsqueda de dispositivos ZigBee.....	175
Figura 5.107. Establecimiento de la conexión ZigBee.....	175
Figura 5.108. Envío del mensaje “HOLA ZIGBEE” por el CB-OZS311.....	175
Figura 5.109. Antena Bluetooth de la firma Manhattan.....	176
Figura 5.110. Configuración del subsistema BAP.....	177
Figura 5.111. Configuración del subsistema BSM.	177
Figura 5.112. Configuración del subsistema BCM.....	178
Figura 5.113. Petición de clave de seguridad Bluetooth por CASA-PC.....	178
Figura 5.114. Conexión y asignación del puerto COM 11 para el SPP.....	179
Figura 5.115. Recepción del mensaje “HOLA BLUETOOTH” enviado por el WM Bluetooth.....	179
Figura 5.116. Modem router Thomson Gateway.....	180
Figura 5.117. Configuración del subsistema WFGP.....	180
Figura 5.118. Configuración del subsistema WFNL.....	181
Figura 5.119. Configuración del subsistema WFNL.....	181
Figura 5.120. Propiedades de la SSID “SSID_CASA”.....	182
Figura 5.121. Información adquirida por el Thomson Gateway.....	182
Figura 5.122. Diagrama de conexiones para prueba de verificación del WM Wi-Fi.	183
Figura 5.123. Red doméstica administrada por el Thomson Gateway.....	183
Figura 5.124. Captura del mensaje “HOLA WI-FI” en los clientes Telnet.....	184
Figura 6.1. Interacción de alumnos con la Plataforma Iron.....	189
Figura 6.2. Clase sobre diagramas de secuencia del sistema DreamBlue.....	190

Figura 6.3. Menú principal del sistema DREAMBLUE.....	191
Figura 6.4. Menú del subsistema BGP.	191
Figura 6.5. Menú de CLASE_BT.....	191
Figura 6.6. Mensaje de selección de orden AT.....	192
Figura 6.7. Respuesta de la orden CLASE_BT.....	192
Figura 6.8. Iconos que representan las diferentes clases COD.	192
Figura 6.9. Diagrama de secuencia para la búsqueda de dispositivos BT.	193
Figura 6.10. Menú del subsistema BCM.	194
Figura 6.11. Resultado de la búsqueda de dispositivos Bluetooth.	194
Figura 6.12. Diagrama de secuencia de conexión a servicio SPP.....	195
Figura 6.13. Diagrama de secuencia para envío de mensajes.....	196
Figura 6.14. Menú de dispositivos posibles para intento de conexión.	197
Figura 6.15. Menú para elegir el canal donde se encuentra disponible el servicio SPP.....	197
Figura 6.16. Mensaje de conexión.....	198
Figura 6.17. Menú del BTDM.....	198
Figura 6.18. Mensaje que enviado de la Plataforma Iron a la antena MANHATTAN.	199
Figura 6.19. Evaluación de la Plataforma Iron con el sistema DreamBlue.	199
Figura 6.20. Ejercicio de diagramas de secuencia.....	201
Figura 6.21. Explicación del funcionamiento del prototipo Plataforma Iron.	202
Figura 6.22. Interfaz de control Roadrunner.....	203
Figura 6.23. Semáforos inteligentes Roadrunner.	203
Figura 6.24. Sistema Lambda sobre la Plataforma Iron.	204
Figura 6.25. Diagrama a bloques de picored de sensores.	204
Figura 6.26. Sistema de temperatura “WTSN”.....	205
Figura 6.27. Sistema de temperatura “SENSOR BT” en tarjeta MCD DEMOII.	205
Figura 6.28. Sistemas enlazados a la antena Bluetooth MANHATTAN.	206
Figura 6.29. Monitoreo de sensores Bluetooth conectados a la antena MANHATTAN.	206
Figura 6.30. Prueba de búsqueda de dispositivos Bluetooth en Python 2.6.4.	207
Figura 6.31. Código en Python para la búsqueda de dispositivos Bluetooth.....	207
Figura B.1. Componentes del adaptador de puerto serie [URL-9].....	236
Figura B.2. Conectores J2, J3, J6 y J8 del OBS433 [URL-9].....	237
Figura B.3. Diagrama a bloques del dispositivo OZW311 [URL-9].	237
Figura B.4. Conectores J2, J3, J6, J1 y J8 del OBS433 [URL-9].	238
Figura B.5. Diagrama de bloques del dispositivo OBS433 [URL-9].....	239
Figura B.6. Conectores J2, J3, J6 y J8 del OWS451 [URL-9].....	240
Figura D.1. Tipos de diagramas en UML [Douglas, 2006].	297
Figura D.2. Ejemplo de diagrama de caso de uso.	299
Figura D.3. Ejemplo de diagrama de secuencia.	300

Figura D.4. Ejemplo de diagrama de secuencia.....	301
Figura D.5. Ejemplo de diagrama de máquina de estados.....	302

Resumen

Recientemente, los cambios reales en las metodologías tradicionales para la enseñanza-aprendizaje en México. La enseñanza en las ciencias de la Electrónica, requiere identificar las necesidades reales para cubrir las deficiencias de los alumnos en clases. Así, los beneficios que ofrece la teoría construccionista como paradigma de aprendizaje ha sido altamente reconocida debido a sus importantes contribuciones en entornos de aprendizaje significativos, donde los estudiantes implementan de forma activa sus propios instrumentos de aprendizaje. Pasando de un estado pasivo a un estado activo. La teoría construccionista indica que el estudiante debe de aprender mediante la motivación y reflejo de sus propios modelos cognitivos. El presente trabajo de tesis muestra los resultados derivados del desarrollo de una plataforma construccionista para el aprendizaje educativo de comunicaciones inalámbricas de corto alcance, utilizando una metodología dedicada para el desarrollo de sistemas empotrados trabajando en conjunto con el enfoque construccionista.

Abstract

Nowadays, there has been a real change in the traditional (Mexican) methodology for learning and teaching; the teaching of electronic sciences needs to identify the real necessities of students to avoid deficiencies in static classrooms. The benefits of the constructionist theory as a learning paradigm are widely recognized, because they support significant learning environments where students are actively related in implementing their own public artifacts; passing through passive to active learning states. Thus, the constructionist theory stresses the need to understand the student's thinking and to encourage them to reflect on their models as a means to improve them. This research work aims to show the results derived from developing a constructionist platform for embedded systems and wireless communications education "the IronBlue system", using a dedicated methodology based on the constructionist theory.

1. Introducción

Durante la primera década del siglo XXI, el incremento en la popularidad de los dispositivos empotrados portátiles (p.ej., teléfonos móviles, *PAL*, *PDA*, etc.) (véase Figura 1.1); y además equipados con una o más tecnologías inalámbricas (p.ej., ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi, etc.), ha dado origen a un nuevo paradigma en las ciencias de la tecnología; la denominada *computación ubicua* [Sonderstrom, 2010].

La computación ubicua manifiesta que los dispositivos empotrados portátiles inalámbricos pueden estar en cualquier parte debido a sus características de tamaño y precio (véase Figura 1.2); así, el desarrollo de este tipo de sistemas es la nueva tendencia en el mercado de consumo electrónico, donde los enlaces inalámbricos tienen la habilidad de transformar la forma de intercambiar datos entre dispositivos [URL-1]. En este sentido, se ha realizado una gran cantidad de trabajo en el diseño de estándares inalámbricos y en la incorporación de circuitos integrados empotrados con Software para manejar dichos estándares, esto con el objetivo primordial de reemplazar el cableado entre dispositivos por enlaces de radiofrecuencia.

Sin embargo, los diseñadores de los sistemas deben conocer aspectos básicos del funcionamiento de las principales tecnologías inalámbricas de corto alcance, elemento crítico para la interconexión entre este tipo de sistemas y sus aplicaciones.

La continúa evolución en cuanto a las capacidades inalámbricas de las tecnologías Wi-Fi y Bluetooth, así como a su creciente demanda en el mercado de consumo electrónico, han magnificado la conectividad inalámbrica, convirtiendo a ésta en una característica por demás relevante en los dispositivos móviles de consumo.



Figura 1.1. Sistemas empotrados equipados con tecnologías inalámbricas.

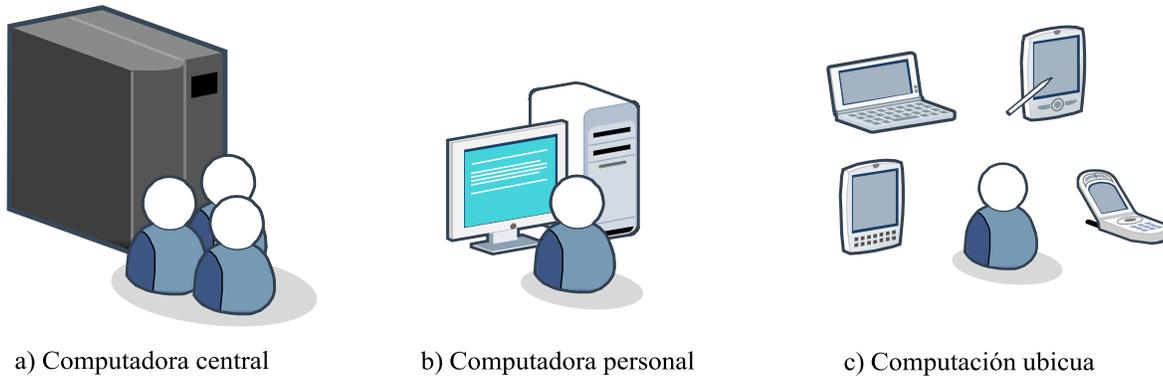


Figura 1.2. Tendencias en la computación.

De acuerdo al equipo de investigación *iSuppli IHS* y a su estudio predictivo sobre el desarrollo de dispositivos electrónicos, denominado “*More Than 1 Billion Devices to Have Embedded Wireless Networking Capability*” [URL-2]: “*Los pedidos de productos electrónicos con tecnología empotrada para Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN, Wireless Local Area Network), superarán los mil millones de unidades por primera vez en el año 2011 y luego se incrementará a más de dos mil millones de unidades para el año 2015, puesto que la conectividad ubicua se convierte cada vez más en una característica estándar*” (véase Figura 1.3).

Por su parte ZigBee, actualmente domina el mercado de las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN, *Wireless Sensor Network*) [URL-3], y a medida que las redes inteligentes (*Smart grids*) comienzan a ser un factor determinante sobre aplicaciones relacionadas al consumo eficiente de la energía a través de electrodomésticos inteligentes (*Smart appliances*), ZigBee tendrá un lugar cada vez más importante dentro de la industria; aunque el mercado de electrodomésticos inteligentes (p.ej., refrigeradores inteligentes, lavadoras, secadoras, calentadores de agua, y otros electrodomésticos conectados a la red) ha tenido un comienzo lento, de acuerdo al equipo de investigación *Pike Research* y a su informe denominado “*Smart Appliances to be a \$26.1 Billion Global Market by 2019*” [URL-4] se predice que: “*Estas categorías experimentarán un gran crecimiento a partir del año 2013, y hacia el año 2019 se anticipa que los electrodomésticos inteligentes en el mercado “cleantech”¹, representarán un total de \$26.1 billones dólares anuales*”.

En este contexto, los expertos especulan que, en un futuro cercano los dispositivos empotrados portátiles pueden equiparar todo tipo de protocolos inalámbricos con el objetivo de proporcionar al usuario final una mejor experiencia en cuanto a practicidad y usabilidad [Chang-Hong, 2010]; no obstante en la actualidad existen algunas restricciones en cuanto a la elección del protocolo inalámbrico. Por ejemplo, la complejidad en la adaptación del protocolo en diversos proyectos, la interoperabilidad con otros protocolos (en relación a la potencia de transmisión, la velocidad y la capacidad de transferencia), la seguridad en el establecimiento del enlace y el consumo de energía son algunos de los parámetros a considerar en el desarrollo de sistemas empotrados inalámbricos (véase Figura 1.4).

¹ *Cleantech* es un término anglo para describir las tecnologías sobre productos o servicios que mejoran el rendimiento, productividad y eficiencia para reducir costos de consumo de energía y contaminación ambiental.

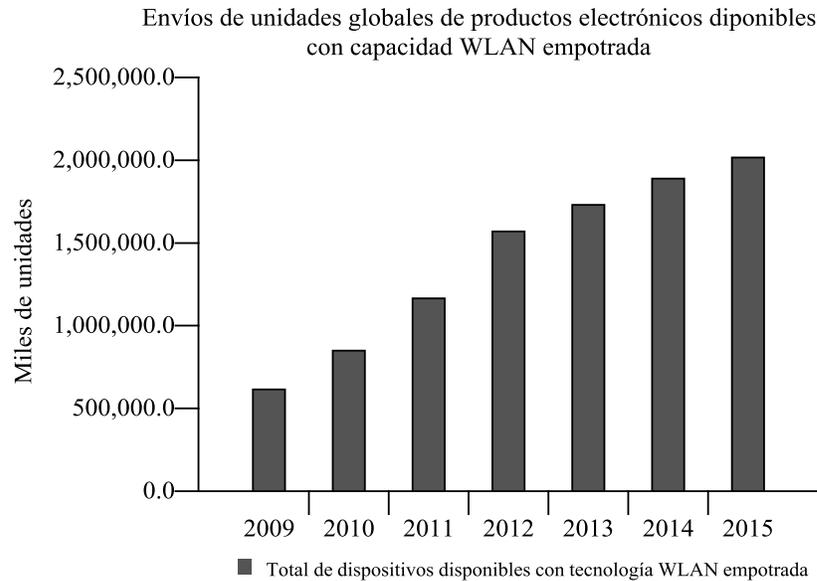


Figura 1.3. Productos electrónicos empotrados con tecnología inalámbrica [URL-2].



Figura 1.4. Comparación de los protocolos ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi [Cano, 2010].

1.1. Tecnologías inalámbricas de corto alcance

En los últimos 15 años ha surgido una serie de estándares inalámbricos de corto alcance a partir de dos razones principales: en primera instancia, el deseo impulsado por el crecimiento constante de productos portátiles y la tendencia de eliminar el cableado entre estos; y en segundo lugar, la disponibilidad de operación libre a nivel mundial en las bandas de 2.4 GHz y 5.1 GHz, que ha proporcionado la reducción de costos en cuanto a la integración de las tecnología inalámbricas de corto alcance sobre dispositivos portátiles. Sin embargo, a pesar de estas razones no todas las normas han sobrevivido, algunas han desaparecido, mientras que otras han prosperado (véase Figura 1.5). Por ejemplo, HomeRF y HiperLAN son normas en gran parte ya olvidadas; mientras que contrastantemente, Bluetooth y Wi-Fi se encuentran presentes en más de mil millones de dispositivos [URL-2]; y con su éxito, la industria ha llegado a reconocer los beneficios de incorporar este tipo de tecnologías en sus productos y obtener mejoras en cuanto a interoperabilidad y rendimiento, múltiples proveedores, constante competencia y mejoras continuas en el refinamiento y evolución de las normas [Hai, 2010].

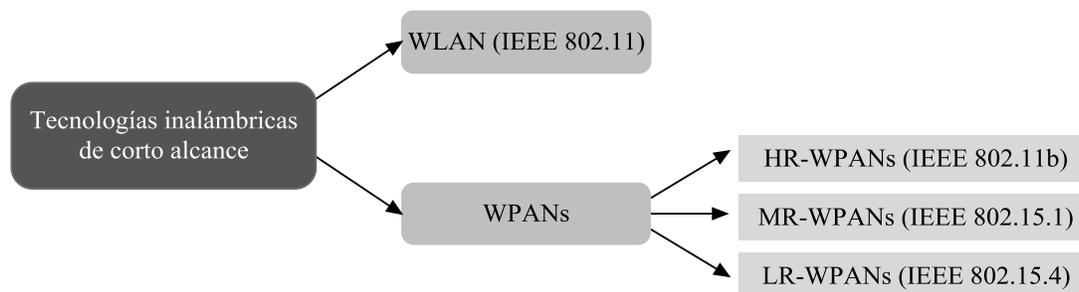


Figura 1.5. Tecnologías inalámbricas de corto alcance [Cano, 2010].

Actualmente muchos de los circuitos integrados con capacidades inalámbricas no son utilizados en su en dispositivos como computadoras portátiles y teléfonos móviles; sin embargo, en la industria se están formando nuevos mercados emergentes que convertirán las capacidades de conectividad inalámbrica en un aspecto indispensable en la funcionalidad de sus productos².

En este sentido, se han realizado diversos estudios sobre las tecnologías inalámbricas de corto alcance. Por ejemplo, Jin-Shyan *et al.* [Jin-Shyan, 2007] realizaron una comparativa preliminar sobre los cuatro principales protocolos dentro de las tecnologías inalámbricas de corto alcance (ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi y UWB), estudiando sus tiempos de transmisión de datos, su eficiencia y su complejidad en cuanto a protocolos y consumo de energía. En relación a Bluetooth y Wi-Fi, Ferro y Potorti [Ferro, 2005] compararon sus principales características y comportamiento en cuanto a diversos indicadores tales como capacidad, topología, seguridad, calidad de servicio y consumo de energía. Baker en [Baker, 2005] estudió las principales fortalezas y debilidades de los protocolos ZigBee y Bluetooth en aplicaciones industriales; afirmando que ZigBee sobre el protocolo IEEE 802.15.4 “...es capaz de satisfacer más necesidades reales en la industria que Bluetooth, debido a su funcionamiento, flexibilidad y fiabilidad al incorporar topologías en malla”.

Así, en la actualidad las tecnologías más importantes dentro de las tecnologías inalámbricas de corto alcance son las descritas a continuación:

- **ZigBee sobre IEEE 802.15.4:** ZigBee™ es considerada una de las tecnologías más importantes en cuanto a implementaciones de bajo consumo de energía a bajas velocidades de transmisión. El estándar fue desarrollado por el grupo de trabajo *ZigBee Alliance*, organización destinada a controlar y supervisar los productos basados en la especificación ZigBee [URL-3].

El objetivo principal de la comunicación con ZigBee es el intercambio de datos u órdenes entre dispositivos, tales como sensores de temperatura o humedad. De acuer-

² Por ejemplo, el éxito de la plataforma para videojuegos de Nintendo “Wii” y su control remoto “WiiRemote” [URL-5], ha proporcionado una de las mayores aplicaciones para un estándar inalámbrico como Bluetooth; asimismo muestra cómo los usuarios aceptan la conectividad inalámbrica como parte integral de un producto, donde la tecnología inalámbrica es parte fundamental de la funcionalidad, ya que proporciona un bajo consumo de energía en la transmisión de datos entre la plataforma y el control dentro de un Área de Espacio Personal (POS, *Personal Operating Space*); a diferencia de un teléfono móvil o computadora portátil, donde la disponibilidad de incorporar Bluetooth es solamente una de muchas características.

do a [Gratton, 2007], los dispositivos basados en ZigBee operan en las bandas de frecuencia de 860 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz.

En los últimos cinco años, las publicaciones y trabajos relacionados se han incrementado en torno al protocolo ZigBee, a pesar del pronóstico desalentador que se anunciaba sobre el mismo. Por ejemplo, Gratton y Liu [Gratton, 2007] proponen un sistema de conmutación eléctrica basado en sensores de temperatura; Wan-Ki *et al.* [Wan-Ki, 2007] proponen el diseño e implementación de un control remoto universal; Andy [Wheeler, 2007] realizó un estudio sobre el desarrollo de aplicaciones para la automatización de casas, edificios, etc.; en [Selvarajah, 2008] se presentó una investigación acerca de la sustentabilidad para realizar sistemas inteligentes sobre aplicaciones de transporte; Wang *et al.* [Wang, 2008a] proponen un nuevo diseño para un sistema de alarmas en minas (incluyendo el monitoreo de gases nocivos, la temperatura, la humedad, la ventilación, etc.); Jin-Shyan *et al.* [Jin-Shyan, 2009] estudiaron el desarrollo de aplicaciones para la automatización industrial; Changjiang *et al.* [Changjiang, 2010] proponen el desarrollo de un sensor de temperatura inalámbrico de bajo costo para diversas aplicaciones de monitoreo; Suzuki *et al.* [Suzuki, 2010] estudiaron el desarrollo de sistemas de recepción de energía basados en microondas; y, por último, en [Dayu, 2010] se mostró un estudio sobre diversas aplicaciones en el campo de la medicina.

- **Bluetooth sobre IEEE 802.15.1:** Bluetooth™ hace referencia a una especificación abierta para la tecnología aplicada en la transmisión de voz y datos con el objetivo principal de permitir la comunicación ininterrumpida a través de enlaces inalámbricos de corto alcance entre dispositivos estacionarios y portátiles. La frecuencia de operación se encuentra en el rango de los 2.4 a 2.48 GHz. Las especificaciones de Bluetooth son realizadas por el Grupo Especial de Interés de Bluetooth (SIG, *Special Interest Group*) [URL-6].

De acuerdo con [Suk, 2010], ante los problemas de interferencia y de susceptibilidad al ruido originado por dispositivos con uso de canales fijos de radio y aparatos que utilizan la misma frecuencia de operación a 2.4 GHz, Bluetooth emplea la técnica por saltos de frecuencia adaptables (AFH, *Adaptive Frequency Hopping*), que es un mecanismo creado para coexistir con entornos de trabajo reales y que está disponible dentro del núcleo de protocolos Bluetooth [Seung, 2009; Yaqub, 2010]. Esto representa una de las principales ventajas que ofrece Bluetooth frente a otras tecnologías similares como ZigBee, ya que como lo muestran los estudios en [BGR, 2007; Hou, 2009; Sahandi, 2010], los dispositivos ZigBee reportan ser extremadamente vulnerables a interferencias ocasionadas por dispositivos Wi-Fi dentro de su rango de cobertura.

Así mismo la consolidación y madurez de Bluetooth en el desarrollo de aplicaciones para el intercambio y monitoreo de datos por medio de dispositivos inteligentes como *Smart Phones* y *PDA*s (p.ej., [Uichin, 2010; Peng, 2010; Ting, 2010]); así como el incremento de su popularidad en investigaciones y aplicaciones en redes inalámbricas de área corporal (WBAN) (p.ej., [Augustyniak, 2010; Kumar, 2010; Zhang, 2010a]); en estudios y aplicaciones sobre herramientas de entretenimiento basadas en Bluetooth (p.ej., [Negrete, 2009; Matamoros, 2010; Zhang, 2010b]); en investigaciones y desarrollo de aplicaciones en ambientes inteligentes (p.ej., [Lu, 2008; Wang, 2008b; Zhang, 2009; Starsinic, 2010]); y en investigaciones en computación ubicua (p.ej., [Kim, 2008; Chang-Hong, 2010]); garantizan su consolidación en el mercado y en el

desarrollo de investigaciones futuras sobre las Redes de Área Personal (PAN, *Personal Area Network*).

- **Wi-Fi sobre IEEE 802.11b³**: Wi-Fi™ pertenece a la familia del estándar IEEE 802.11 que opera en la banda de frecuencia a 2.4 GHz. Wi-Fi es comúnmente utilizada para ofrecer servicio de acceso inalámbrico a Internet (oficinas, escuelas, lugares públicos, etc.). El grupo de trabajo *Wi-Fi Alliance* es el encargado de certificar la interoperabilidad entre dispositivos basados en el estándar 802.11 [URL-7].

El estándar Wi-Fi se ha considerado como una de las tecnologías inalámbricas de mayor éxito y con un papel muy importante en la computación ubicua. De esta forma, existe actualmente una gran diversidad de artículos enfocados al desarrollo de aplicaciones en sistemas empotrados portátiles. Por ejemplo, en [Postolache, 2009] se presentó un sistema biomédico para medir la presión arterial; Ramamurthy *et al.* [Ramamurthy, 2007] presentaron el diseño e implementación de un sensor inalámbrico inteligente para la instrumentación y predicción con base en redes Wi-Fi; en [Elshenawy, 2009] se implementó una plataforma para aplicaciones en sistemas de transporte inteligente con base en una red “*Mesh*” Wi-Fi; Gupta *et al.* [Gupta, 2009] desarrollaron un control remoto con base en el protocolo IEEE 802.11 para controlar un brazo robótico; Zhou *et al.* [Zhou, 2010] elaboraron diversas aplicaciones de seguridad para la conexión entre dispositivos inalámbricos; Joon *et al.* [Joon, 2010] mostraron un estudio sobre la predicción de la demanda por parte de los usuarios para aplicaciones sobre teléfonos inteligentes.

En este sentido, el protocolo de comunicaciones Wi-Fi al igual que Bluetooth, hoy en día es una de las tecnologías con más desarrollo en aplicaciones basadas en teléfonos inteligentes y dispositivos remotos. Por ejemplo, Nguyen *et al.* [Nguyen, 2008] presentaron el sistema *WiiKey* como propuesta de una aplicación para controlar objetos inteligentes y extender las capacidades de los teléfonos inteligentes; Herrera *et al.* [Herrera, 2010] mostraron el diseño de un sistema de monitoreo de temperatura, humedad y presión con base en sensores inalámbricos ZigBee conectados a un sistema pasarela el cual se comunica a través del protocolo Wi-Fi con un teléfono iPhone; en [Jinsung, 2010] se realizó una aplicación híbrida para proporcionar diversas aplicaciones basada en zonas Wi-Fi y extender la funcionalidad de los teléfonos inteligentes [Beom-Ju, 2010]; Beom-Ju *et al.* [Beom-Ju, 2010] presentaron un sistema de posicionamiento Wi-Fi para teléfonos inteligentes basados en Android; y, por último, en [Chon, 2011] se mostró el sistema *LifeMap* para realizar búsquedas de servicios en espacios reducidos para aplicaciones Wi-Fi en teléfonos inteligentes.

A modo de resumen, la Tabla 1.1 muestra las características más importantes de las principales tecnologías inalámbricas de corto alcance.

³ La familia del estándar IEEE 802.11 considera las versiones IEEE 802.11b (frecuencia de operación a 2.4 GHz, alcance hasta 100 m y velocidad de transferencia máxima de 11 Mbps), IEEE 802.11g (frecuencia de operación a 2.4 GHz, alcance hasta 100 m y velocidad de transferencia máxima de 54 Mbps) y IEEE 802.11n (frecuencia de operación a 2.4 GHz, alcance hasta 100 m y velocidad de transferencia máxima de 540 Mbps); sin embargo únicamente IEEE 802.11b se considera una HR-WPAN de bajo consumo de potencia.

Tabla 1.1. Principales tecnologías inalámbricas de corto alcance.

Estándar	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
Especificación IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11b
Frecuencia	868/915 MHz; 2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Max. velocidad de transmisión	250 Kbps	3 Mbps	11 Mbps
Número o de canales RF	1/10;16	79	14 (2.4 GHz)
Propagación	DSSS	FHSS	DSSS, CCK, OFDM
Mecanismo de coexistencia	Selección dinámica de frecuencias	Salto adaptativo de frecuencias	Selección dinámica de frecuencias
Topología básica	Estrella	Picored	ESS
Extensión de la topología básica	Agrupamiento en árbol	Red dispersa	BSS
Máximo número de nodos	65000	8	255

1.2. Planteamiento del problema

Los dispositivos electrónicos modernos están incorporando cada vez más tecnologías inalámbricas con base en radios de alta frecuencia. En respuesta a esta tendencia existen numerosos planes de estudio diseñados para enseñar tecnologías de comunicaciones inalámbricas; sin embargo, en gran parte y debido a la naturaleza compleja en la investigación de las comunicaciones inalámbricas, el mundo académico ha respondido de manera muy lenta a las fuertes demandas realizadas por la industria, y en formar profesionistas que desarrollen y apliquen este tipo de tecnologías. Así, el desarrollo de herramientas de entrenamiento para el soporte en el plan de estudios para las materias de Comunicaciones y Redes de Computadoras, Ingeniería de Software y Sistemas Digitales en las Ingenierías en Computación, Electrónica y/o Mecatrónica, es esencial para conocer las futuras demandas de la industria.

Así, existen diversas propuestas enfocadas a fortalecer la enseñanza de las comunicaciones inalámbricas a nivel Universitario. Por ejemplo, Cassara describe en su trabajo [Cassara, 2006], un curso mediante una serie de experimentos enfocados a la práctica con sistemas inalámbricos, dejando lineamientos abiertos para la posibilidad de reproducir su curso por otras Universidades donde uno de los principales objetivos es proporcionar a los estudiantes una experiencia en el laboratorio incluyendo aspectos teóricos combinados de los cursos clásicos de tecnologías inalámbricas. Ming-Huei *et al.* [Ming-Huei, 2010] presentan el diseño de un curso para sistemas de comunicaciones inalámbricos basados en radios de alta frecuencia y establecen lineamientos para la integración de este tipo de sistemas, con la finalidad de que el curso proporcione a los estudiantes la motivación para que lleven a cabo sus propios diseños inspirados en aspectos teóricos de las comunicaciones por radiofrecuencia. En la investigación realizada por Güzelgöz y Hüseyin [Güzelgöz, 2010], se presenta un nuevo curso de laboratorio sobre sistemas de comunicaciones inalámbricas. En dicho curso, a los estudiantes se les enseñan aspectos del diseño, pruebas y simulación de sistemas inalámbricos utilizando instrumentación moderna, siendo uno de los principales objetivos del curso ayudar a los estudiantes a comprender conceptos teóricos dentro de los sistemas de comunicaciones inalámbricas, a través de experimentos mediante las manos (*hands-on*) y lograr que los alumnos desarrollen seguridad y confianza en el análisis y diseño de este tipo de sistemas.

Especialmente la revisión de los dos últimos trabajos, dan una de las aproximaciones más relevantes sobre aspectos de formación y entrenamiento de profesionistas en las comunicaciones inalámbricas; ya que menciona aspectos psicológicos dentro de los cursos de ingeniería, donde mediante la motivación sobre el desarrollo de la experiencia en trabajo de laboratorio, realzan el interés intrínseco de los estudiantes sobre este tipo de sistemas.

Uno de los principales temas de actualidad en el desarrollo de estrategias de enseñanza es, cómo establecer y combinar métodos alternativos con los métodos tradicionales. Como lo indica Fan y Chen en [Fan, 2010], *“en el mundo académico los modelos educativos tradicionales no pueden ser reemplazados sino más bien complementados”*; además en [Losilla, 2011], se ha determinado que los estudiantes adquieren conocimiento con mayor eficacia cuando éste se presenta en diversas formas y de manera paralela; ya que, la entrega y presentación pasivas del conocimiento, no proporcionan premisas suficientes para el uso creativo del conocimiento adquirido⁴. A través de la interacción y experimentación con el objeto del conocimiento, se adquiere una retroalimentación con lo que, los sujetos pasan a un estado activo dentro del proceso de aprendizaje.

Los educadores han sido en gran parte influenciados por la educación tradicional, donde esta no es suficiente por sí sola para encarar la emergente necesidad en la educación tecnológica moderna. De acuerdo a Bozu y Muñoz [Bozu, 2009], la profesión docente en el siglo XX se vio marcada por el individualismo o el aislamiento de los profesores a la hora de trabajar y de aprender de los otros y con los otros, y como lo indica [Kanes, 2010] *“la innovación no sólo debe apuntar a la tecnología; sino también de forma paralela, debe haber nuevas ideas para un cambio de paradigma educativo”*. En este contexto, Liu y Bacon afirman en [Liu, 2010] que no es suficiente el uso de herramientas tecnológicas de última generación para cubrir las necesidades especiales de ciertas áreas de la tecnología; sino además se requiere de un enfoque más exploratorio e innovador para obtener mejores resultados en el proceso de aprendizaje. Por ejemplo, Losilla *et al.* [Losilla, 2011], proponen la integración de las Tecnologías de la Información (*IT, Information Technologies*) con herramientas grupales de entrenamiento (a nivel Universitario) para contrarrestar el enfoque individualista y mejorar el aprendizaje mediante la práctica. Así, la finalidad del entrenamiento es hacer explícita la transferencia informal de conocimiento, ofreciendo una estructura formal que permite adquirir conocimiento a través de las experiencias compartidas dentro del grupo. De esta forma, la identidad del grupo se refuerza al potenciar el aprendizaje como un proceso de participación y liderazgo compartido.

De acuerdo con Simon *et al.* [Simon, 2006], se dice que un sistema de entrenamiento es eficiente cuando se determina un grado óptimo entre la reducción de los costos y la maximización de los efectos. La eficiencia se puede utilizar de una forma absoluta o comparativa. Sin embargo a menudo la afirmación: *“un sistema o un enfoque es eficiente”* se basa en una comparación implícita con otro sistema o enfoque; por lo que, un sistema de entrenamiento debe sustentarse en un modelo (o enfoque) pedagógico y no puede depender únicamente del contenido técnico [Dubinsky, 2001].

Hadjerrouit [Hadjerrouit, 2005] afirmó que durante los próximos años, cada vez más especialistas deberían enfocar sus esfuerzos en la aplicación de las teorías de aprendizaje constructivista y construccionista a los sistemas de entrenamiento, dado que ofrecían enfoques para alcanzar mayores beneficios que los enfoques tradicionales de educación no pueden [Steffe, 1995]

⁴ Aunque Internet ha representado una mejora importante en la entrega de la información y en el soporte de aprendizaje, éste no es suficiente; ya que cada proceso de aprendizaje tiene dos lados: el objeto y el sujeto del conocimiento, y su interacción recíproca.

[Wilson, 1998]. Por otra parte, el construccionismo en la educación superior todavía está en su etapa de maduración y las estrategias educacionales eficaces están comenzando a emerger. La exploración de literatura proporciona algunos ejemplos sobre la aplicación de esta teoría de aprendizaje que son presentados de forma descriptiva, lo que facilita la transferibilidad a otras instituciones o, mejor aún, a otros cursos [Mavridis, 2009; Hoban, 2010].

La incorporación del enfoque construccionista al uso de la tecnología se enfoca a la simplificación de un modelo metodológico a través de la formulación de actividad y/o prácticas de laboratorio que mejoren la adquisición de conocimiento.

1.3. Antecedentes y Justificación

Como antecedentes a este trabajo de tesis, existen diversas investigaciones enfocadas a la aplicación de la teoría construccionista para el desarrollo de plataformas experimentales destinadas a la enseñanza y al entrenamiento de las Comunicaciones Inalámbricas de Corto Alcance, Diseño de Sistemas Empotrados y Análisis de Redes de Sensores Inalámbricos. Por ejemplo, en [Frolik, 2006] se expuso una plataforma inalámbrica de bajo costo basada en un radiotransmisor AM para el desarrollo y enseñanza de aplicaciones sobre sensores inalámbricos y proyectos con actuadores. Beutel presentó en [Beutel, 2006] la plataforma “*BTnode*” construida para la investigación y enseñanza de aplicaciones de redes inalámbricas y redes de sensores. Zualkernan *et al.* [Zualkernan, 2007] mostraron el diseño e implementación de una herramienta para la construcción de aplicaciones tangibles de aprendizaje basado en redes de sensores inalámbricos con base en el estándar IEEE 802.15.4, y sobre un entorno de Programación Orientado a Objetos. En [Alejos, 2010] se realizaron pruebas sobre una plataforma experimental basada en redes de sensores inalámbricos ZigBee, para la enseñanza de las técnicas de localización de sistemas inalámbricos, además de que se utilizó como herramienta auxiliar en el Curso de Radiolocalización a nivel de posgrado en la Universidad de Vigo en España. Wang y Zhao mostraron en [Wang, 2010c] la construcción de un laboratorio educativo basado en varios módulos Bluetooth comunicados con computadoras remotas. Zhong *et al.* [Zhong, 2010] expusieron la implementación de una plataforma para la enseñanza, análisis y construcción de redes inalámbricas “*Mesh*”. Tan y Patrick [Tan, 2010] mostraron el diseño para un tablero de videojuegos a través de una matriz de lectores RFID que satisface los requerimientos de flexibilidad y escalabilidad para la enseñanza y desarrollo de videojuegos. En [Bhavikatti, 2009] se realizó un modelado e implementación en VHDL de la capa MAC del protocolo Wi-Fi para el estudio de redes.

El incremento de sistemas empotrados inalámbricos en la computación ubicua, ha generado la necesidad de replantear las estrategias educativas en los métodos de enseñanza en áreas relacionadas con las Comunicaciones y Redes de Computadoras, Administradores de Sistemas, Ingeniería del Software Empotrados, Nuevas Tecnologías, etc. Por lo que una de las principales razones del presente trabajo de tesis es colaborar en la formación de profesionistas mejor preparados que se involucren activamente en la resolución de problemas reales. La importancia de esta problemática está relacionada con el estudio “*Occupational Outlook Handbook 2010-11 Edition: Computer Network, Systems, and Database Administrators*” realizado por la Oficina de Estadísticas Laborales (BLS, *Bureau of Labor Statistics*) perteneciente al Departamento del Trabajo de EEUU (*U.S. Department of Labor*) [URL-10], donde se predice un incremento en empleos relacionados a estas áreas hacia el año 2018, distinguiendo la importancia metódica que requieren los ingenieros para dar soluciones a problemas tanto Hardware y Software. El estudio menciona que [URL-11]: “*Los empleos relacionados a las Redes de Computadoras, y Administración de Sistemas se proyectan con un incremento del 30% hacia el año 2018, un incremento mucho más rápi-*

do que el promedio de todas las ocupaciones. Mientras que los empleos relacionados con los Sistemas de Redes y Analistas de Comunicaciones de Datos se proyectan con un incremento del 53 %, colocándose con el mayor índice de crecimiento de todas las ocupaciones”.

El estudio de la BLS, demuestra una clara tendencia con excelentes perspectivas de empleo en ocupaciones relacionadas a las Comunicaciones y Redes de Computadoras (véase Tabla 1.2), y con respecto a otras ocupaciones a nivel técnico (véase Tabla 1.3).

Tabla 1.2. Proyección de empleos para especialistas en redes de computadoras [URL-11].

Título de la ocupación	Empleos 2008	Proyección de Empleos al 2018	Cambio del 2008 al 2018	
			Número	Porcentaje
Redes de sistemas y analistas de comunicaciones	292,000	447,800	155,800	53
Redes de computadoras y administradores de sistemas	961,200	1,247,800	286,600	30
Administradores de redes y de sistemas informáticos	339,500	418,400	78,900	23
Administradores de base de datos	120,400	144,700	24,400	20
Otros especialistas en redes de computadoras	209,300	236,800	27,500	13

Tabla 1.3. Proyección de empleos para ingenieros técnicos [URL-10].

Título de la ocupación	Empleos 2008	Proyección de Empleos al 2018	Cambio del 2008 al 2018	
			Número	Porcentaje
Técnicos en ingeniería ambiental	21,200	27,500	6,400	30
Técnicos en ingeniería civil	91,700	107,200	15,500	17
Técnicos en ingeniería industrial	72,600	77,400	4,800	7
Técnicos en ingeniería aeroespacial	8,700	8,900	200	2
Técnicos en ingeniería eléctrica y electrónica	164,000	160,400	-3,600	-2
Técnicos electromecánicos	16,400	15,600	-800	-5
Técnicos en ingeniería mecánica	46,100	45,500	-700	-1
Otras ingenierías técnicas	76,600	80,600	4,000	5

Dado lo anterior, la naturaleza del trabajo para este tipo de profesionistas y especialistas requiere que estén formalmente familiarizados y capacitados en el manejo de equipo para realizar sus actividades habituales, donde las IT se han convertido en una parte integral de la vida moderna. De esta forma, las funciones y actividades más importantes en estas ocupaciones son la transmisión de forma eficiente de los datos y su almacenamiento para su posterior análisis.

Como consecuencia, en años recientes en México se ha desarrollado una perspectiva participativa de la educación [Viniegra-Velásquez, 2006], donde se considera la intervención del alumno en su formación a través de la reflexión sobre su experiencia. En ella el conocimiento no es externo al individuo sino que se elabora a partir de la crítica y la autocrítica.; sin embargo, el predominio de la educación basada en métodos tradicionales de lectura, ha tenido repercusiones sobre el pobre desempeño por parte de los estudiantes en carreras como Ingeniería en Computa-

ción [Xia, 2010], Ingeniería en Electrónica [Cheng, 2010] o Ingeniería en Mecatrónica [Fan, 2010]. De acuerdo con la Universidad Nacional Autónoma de México: “A nivel nacional, el sistema educativo mexicano presenta las siguientes características: (1) carencia de planes estratégicos, solo buenas intenciones; (2) falta de continuidad en los programas educativos; (3) centralización en intereses políticos; (4) contradicción entre los métodos y el desarrollo de actividades; (5) los profesores tienen un papel principal en los procesos educativos; y (6) los intelectuales, políticos y tecnócratas mexicanos desempeñan un rol protagonista.” [UNAM, 2006]. Así, en la educación tradicional centrada en el profesor, la lectura se utiliza principalmente para propiciar la acumulación de datos, incluso estableciendo la velocidad como una cualidad a desarrollar independientemente de la comprensión; y como se menciona en [Carranza-Lira, 2009], esto propicia una reflexión nula con actitud pasiva por parte del estudiante, favoreciendo a una lectura de consumo donde solo se busca recordar y memorizar más que interiorizar y cuestionar.

Otro factor a considerar en la elaboración de esta investigación son las limitaciones y la reducción de fondos en universidades en países en vías de desarrollo, donde comúnmente los equipos son insuficientes para satisfacer las necesidades de los alumnos dentro de los laboratorios de comunicaciones. Este problema ha llevado a investigadores alrededor del mundo a desarrollar alternativas. Por ejemplo, Abu-aisheh en [Abu-aisheh, 2010] y Melkonyan en [Melkonyan, 2009], presentaron la implementación de laboratorios de comunicaciones remotos empleando plataformas comerciales para solucionar las limitaciones de disponibilidad de equipo, sin embargo el uso y adquisición de este tipo de plataformas tienen la principal desventaja de presentarse como una “caja negra”, además de resultar herramientas con precios muy elevados para ser adquiridas por alumnos o incluso por las mismas Instituciones Educativas. Así, los trabajos presentados en [Chyi-Shyong, 2006; Gupta, 2008; Chin-Ming, 2009] proponen la construcción de herramientas basadas en MCU para auxiliar a los alumnos en el aprendizaje de los sistemas empujados y motivarlos a realizar sus propios proyectos de bajo costo y resaltando el enfoque del diseño e implementación Hardware y Software.

En este contexto, el reporte “*Recommendations for Urgent Action*” para fomentar y transformar la infraestructura para el desarrollo tecnológico y científico en América realizado por el Proyecto Caleidoscopio (PKAL, *Project Kaleidoscope*) [URL-13], y apoyado por la Fundación Nacional de Ciencias (NFS, *National Science Foundation*) [URL-14], indica que [PKAL, 2006]: “...las instituciones académicas deben desarrollar planes de estudio específicamente diseñados para la innovación con base en técnicas de enseñanza tolerantes a cambios mayores en los procesos de aprendizaje. Las instituciones necesitan divulgar los métodos de aprendizaje prácticos, adoptar planes de estudio que incluyan contenido riguroso sobre ingeniería aplicada en el mundo real”.

Diversas Universidades alrededor del mundo se encuentran incorporando en sus planes de estudio estrategias educativas basadas en teorías de psicología de aprendizaje mediante la acción, dando la pauta para analizar alternativas para reforzar conceptos teóricos a partir de artefactos (sistemas, prototipos, documentación, artículos, etc.) [Hardy, 2007; Hu, 2007; Requena-Carrión, 2009; Chia-Tien, 2010; Ming-Huei, 2010; Zhang, 2010]; además de apoyar los métodos tradicionales basados en lectura. Por todo lo anterior, en el presente trabajo de tesis se propone el diseño y desarrollo del sistema de entrenamiento IronBlue como herramienta para el aprendizaje y uso de los protocolos de comunicaciones inalámbricas ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi, acelerando de esta forma el proceso de aprendizaje de dichos protocolos y además proponiendo una manera alternativa para resolver parte de los problemas en cuanto a limitaciones en equipo dentro de los laboratorios de electrónica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

1.4. Hipótesis

Con el uso de la metodología SPIES y bajo el enfoque constructorista durante el diseño y desarrollo del sistema IronBlue se obtendrán las herramientas de entrenamiento y aprendizaje para los protocolos de comunicaciones inalámbricos de corto alcance ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar y desarrollar el sistema de entrenamiento IronBlue para los protocolos de comunicaciones inalámbricos de corto alcance ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi, utilizando la metodología SPIES y combinándola con el enfoque constructorista.

1.5.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del presente trabajo de tesis son:

- Realizar un marco teórico de la tecnología de comunicaciones ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi.
- Bajo un enfoque constructorista, definir y establecer las características deseables en un sistema de entrenamiento para los protocolos de comunicaciones inalámbricos.
- Utilizar la metodología SPIES durante el diseño y desarrollo del sistema IronBlue, el cual incluye a los sistemas DreamBee, DreamBlue y DreamFi.
- Diseñar y desarrollar una aplicación de prueba compatible con los sistemas desarrollados.
- Realizar pruebas para asegurar la confiabilidad de la funcionalidad de todos los sistemas elaborados.
- Mostrar una de las herramientas del sistema IronBlue en, por lo menos un curso real.

1.6. Metodología

El desarrollo del sistema IronBlue se realizará mediante a metodología de desarrollo para sistemas empotrados SPIES [García, 2010b], la cual consiste de un lenguaje de modelado para especificar relaciones entre componentes, elementos y relaciones de un sistema en un conjunto de procesos (actividades, productos, entradas, salidas, métricas, criterios de entrada, criterios de salida, funciones y más) que le indican al desarrollador qué partes del lenguaje utilizar, y cómo y cuándo usarlas. SPIES especifica un conjunto integrado de actividades para guiar al desarrollador en todos los ciclos de vida de los procesos involucrados.

SPIES utiliza el Lenguaje Unificado de Modelado (UML, *Unified Modeling Language*) para representar las fases que integran la metodología. El enfoque iterativo de la metodología asegura que el sistema sea probado en cada fase y no hasta el final. La metodología contiene un repositorio de conocimientos compuesto de plantillas para cada actividad, las cuales gestionan toda la información sobre el proyecto para, de esta forma, diseñar sistemas robustos, capaces y seguros. El proceso de desarrollo de la metodología, tiene un enfoque *top-down* con énfasis en la mejora continua a lo largo del tiempo de desarrollo.

SPIES recomienda para cada actividad el uso de una herramienta Software específica como IBM Rhapsody [URL-15] para la modelación de requerimientos, el diseño del sistema y demás actividades. SPIES utiliza la idea básica del Proceso en Equipo para el desarrollo de Softwa-

re (TSP, *Team Software Process*), ya que establece la documentación que guía al desarrollador durante la gestión del proyecto.

La metodología SPIES se ha diseñado a partir de las áreas de procesos de la especificación CMMI-DEV v1.2 Nivel 2 [CMMI, 2006], dicho nivel ha sido adaptado para establecer un conjunto de requerimientos para el diseño de sistemas empotrados. La metodología SPIES está compuesta por tres capas y ocho fases, donde las capas son dependientes entre sí y se relacionan de forma progresiva. La Figura 1.6 muestra la relación entre las capas y las fases de SPIES.

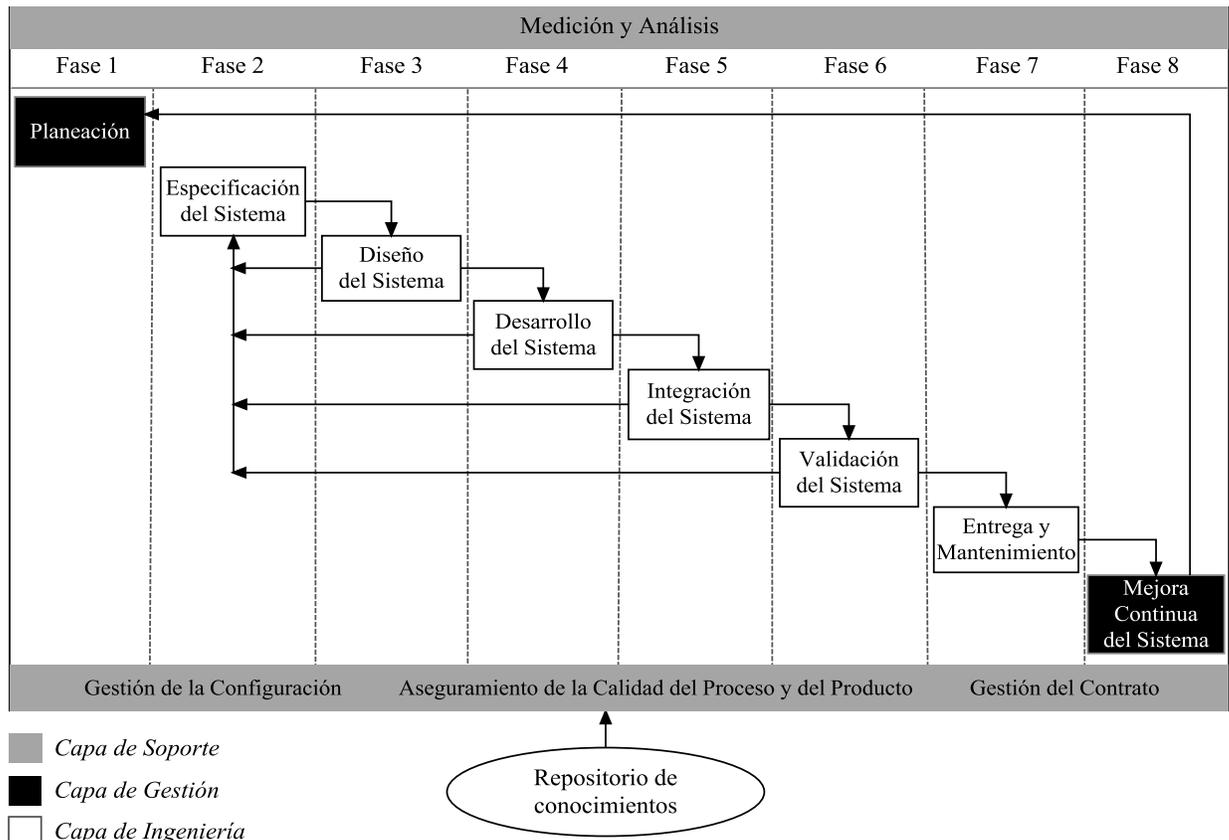


Figura 1.6. Relación entre las capas y las fases de SPIES⁵ [García, 2010b].

A continuación se describen las capas de la metodología:

- **Capa de gestión:** Proporciona los procesos necesarios para controlar la totalidad del desarrollo del proyecto. La capa está compuesta por dos fases: Planeación y Mejora Continua del Sistema.
- **Capa de ingeniería:** Proporciona los procesos relacionados con el desarrollo completo del sistema. Esta capa está compuesta por las siguientes fases: Especificación de Requerimientos, Diseño del Sistema, Desarrollo del Sistema, Integración del Sistema, Validación del Sistema, y Liberación y Mantenimiento del Sistema.
- **Capa de soporte:** Proporciona ayuda para lograr la calidad esperada a través de actividades establecidas para la configuración, gestión de contratos y la medición y análisis continuos de las fases de la metodología. La capa está compuesta por 4 partes:

⁵ En el documento de especificaciones de la metodología SPIES las fases hacen referencia al producto (Especificación del Producto, Diseño del Producto, etc.).

- *Gestión de la Configuración*: Se proporcionan datos de configuración e información actual del sistema a los desarrolladores y usuarios finales.
- *Aseguramiento de la Calidad del Proceso y del Sistema*: Se proporciona una perspectiva sobre el cumplimiento de los requerimientos del sistema para asegurar su calidad.
- *Gestión del Contrato*: Se establece la negociación de los términos y condiciones para garantizar su cumplimiento en los contratos y aceptar los cambios que puedan surgir en su aplicación o ejecución.
- *Medición y Análisis*: La medición y análisis es un requisito para todas las fases de la metodología y asegura una mejora continua del sistema. La medición se usa para dos propósitos: Evaluar la calidad del sistema empotrado y Evaluar las relaciones de los procesos del sistema.
- *Repositorio de conocimientos*: El repositorio se encarga de gestionar toda la información sobre el proyecto para el diseño del sistema.

La Figura 1.6 muestra la secuencia de las fases de SPIES:

1. *Planeación*: En esta fase se crea una guía para establecer las actividades del proyecto considerando las especificaciones y las tareas que deba cumplir el sistema. Se determinan los recursos para la elaboración del proyecto, se establece un calendario de actividades, se identifican y analizan los riesgos del proyecto, y se establece el dispositivo en el cual se va a desarrollar el sistema.
2. *Especificación de Requerimientos*: En esta fase se capturan los requerimientos de desarrollo y de administración del sistema. La descripción de los requerimientos se realiza mediante diagramas de caso de uso y diagramas de requerimientos en UML.
3. *Diseño del Sistema*: En esta fase el diseño del sistema se realiza mediante diseños funcionales con base en la fase de requerimientos. Los diseños funcionales examinan las operaciones del sistema sin considerar detalles sobre técnicas en la implementación. Los diseños funcionales se representan con: diagramas de estructura, diagramas de secuencia y diagramas de máquinas de estado para modelar el funcionamiento completo del sistema.
4. *Desarrollo del Sistema*: En la fase de desarrollo del sistema se diseña y desarrolla el sistema electrónico mediante el uso de herramientas de análisis y construcción del Hardware. Así mismo se elige el dispositivo en donde se implementará el sistema. Enseguida se construye el Software que controlará el sistema; posteriormente, se refina o extiende el modelado del sistema independientemente de la plataforma de diseño, de esta forma, es posible programar código más eficientemente sobre la tarjeta que realizará la ejecución del sistema.
5. *Integración*: En esta fase se proporcionan actividades para integrar los componentes en varios pasos antes de que se evalué el sistema. La fase de integración de Software y Hardware se realiza mediante pruebas de depuración.
6. *Validación del Sistema*: En esta fase se realizan pruebas de campo antes de que el sistema empotrado esté listo para su liberación y su posterior mantenimiento.
7. *Entrega y Mantenimiento del Sistema*: En esta fase los desarrolladores deben usar la documentación ya existente del sistema para entender el funcionamiento y darle mantenimiento.
8. *Mejora Continua del Sistema*: Última fase donde se realizan mejoras continuas del producto, y de ser necesario, regresar a la fase de especificación de requerimientos.

1.7. Estructura de la tesis

El presente trabajo de tesis se encuentra organizado en seis capítulos:

El Capítulo 1 presenta una introducción a la problemática tratada en el trabajo de tesis, el planteamiento para la resolución del problema y los objetivos a cubrir.

El Capítulo 2 presenta el estado del arte sobre las teorías basadas en el aprendizaje mediante la construcción; además de una revisión de trabajos relacionados sobre propuestas similares.

El Capítulo 3 presenta una breve revisión sobre las tecnologías inalámbricas de corto alcance: ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi.

El Capítulo 4 muestra la perspectiva de uso del enfoque constructorista en complemento a la metodología SPIES para el diseño de sistemas empuados.

El Capítulo 5 muestra el diseño y desarrollo del conjunto de herramientas IronBlue a través de la metodología SPIES.

El Capítulo 6 plantea los resultados, conclusiones del presente trabajo de tesis.

Por último se presentarán las referencias bibliográficas, anexos referentes a las publicaciones producto del trabajo de investigación, a los módulos inalámbricos utilizados y prácticas de laboratorio para emplearse junto con el conjunto de herramientas IronBlue.

1.8. Publicaciones

Durante la realización del trabajo de tesis, se realizaron las siguientes publicaciones (véase Tabla 1.4).

Tabla 1.4. Lista de publicaciones relacionadas a la tesis.

Atributo	Descripción
Título:	“Designing and Implementing a Constructionist Approach for Improving the Teaching-Learning Process in the Embedded Systems and Wireless Communications Areas”
Autores:	Garcia, I., & Cano, E.
Revista:	Computer Applications in Engineering Education
Índice:	THOMPSON ISI/JOURNAL CITATION REPORTS
Lugar:	E. U. A.
Año:	2011
Atributo	Descripción
Título:	“Design and Development of a BlueBee Gateway for Bluetooth and ZigBee Wireless Protocols”
Autores:	Cano, E. & Garcia, I.
Congreso:	Proc. of the Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA 2011)
Publicación:	IEEE Computer Society
Índice:	ISI
Lugar:	Cuernavaca, Morelos
Año:	2011

2. Estado del Arte

Los enfoques educativos basados en la práctica se enfocan en la construcción del conocimiento a través de actividades basadas en experiencias. Concretamente el *constructivismo* y el *construccionismo* ofrecen nuevos paradigmas para una nueva era de investigación, motivada por las nuevas estructuras globales de las tecnologías que han surgido en los últimos años (p. ej., redes sociales, blogs, etc.), dado que los estudiantes no sólo tienen a su alcance el acceso a un mundo de información ilimitada, sino también se les ofrece la posibilidad de que ellos mismos controlen la dirección de su propio aprendizaje. De esta manera el propósito final de los enfoques educativos basados en la práctica, es cambiar el esquema tradicional del aula donde el papel y el lápiz tienen el protagonismo principal, y establecer un nuevo estilo en el que se encuentren presentes aplicaciones de las nuevas tecnologías emergentes.

2.1. Modelo educativo tradicional

La enseñanza tradicional es el enfoque donde los profesores explican su clase sobre un pódium y la complementan escribiendo sobre un pizarrón, al mismo tiempo que los estudiantes escuchan y escriben notas en sus asientos.

De acuerdo con [UNAM, 2006], en México la educación técnica tradicional se basa en este tipo de modelo, donde los alumnos se concretan en la elaboración de resúmenes sobre la revisión de la literatura, con comentarios mínimos y centrándose en la forma y no en su contenido (véase Figura 2.1); ya que la lectura se utiliza principalmente para propiciar la acumulación de datos, incluso estableciendo la velocidad como una cualidad a desarrollar independientemente de la comprensión del conocimiento.

Así, la educación tradicional centrada en el profesor propicia una reflexión baja con actitud pasiva por parte del estudiante, favoreciendo a una lectura de consumo donde solo se busca recordar y memorizar más que interiorizar y cuestionar. En este sentido el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas y su expansión en los sistemas empotrados propician la búsqueda de estrategias para el aprendizaje de estas áreas [Moura, 2008]. El trabajo práctico sobre el diseño y modelado de sistemas empotrados enfocados al uso de tecnologías inalámbricas desarrollar habilidades donde se requiere un trabajo multidisciplinario para cubrir satisfactoriamente la integración de diferentes áreas de conocimiento.

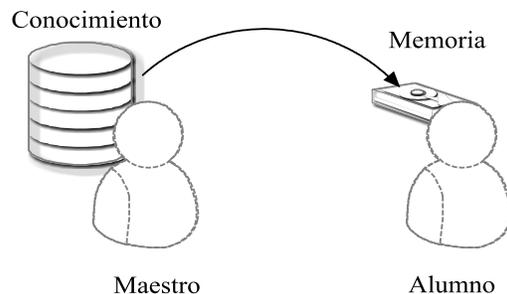


Figura 2.1. Modelo tradicional de enseñanza.

2.2. Modelos de aprendizaje mediante la acción

Las teorías de aprendizaje mediante la acción fomentan mediante la práctica el desarrollo de la habilidad de asimilación de conceptos abstractos, provenientes de los métodos clásicos de lectura. A este tipo de teorías también se les conoce como teorías de aprendizaje mediante las manos (*learning-by-hands*) y tienen sus principios en el desarrollo, construcción y el uso activo de herramientas o artefactos; sin embargo, estos modelos de aprendizaje no son metodologías, sino más bien son enfoques con un trasfondo psicológico para ofrecer nuevas estrategias en las formas de aprendizaje. De acuerdo con [Chin-Ming, 2009], este tipo de enfoque puede apoyar al diseño de sistemas empotrados basados en microcontroladores, donde se abarcan puntos de vista de Hardware y de Software para la implementación de una funcionalidad concreta. Así, dos de las principales teorías de aprendizaje mediante la acción son el *constructivismo* y el *construccionismo*.

2.2.1. Constructivismo

El constructivismo desarrollado por el psicólogo Jean Piaget [Piaget, 1953], afirma que: “...el aprendizaje es un proceso individual que se forma cuando el conocimiento es construido por los estudiantes en su intento por dar sentido a sus experiencias.” [Driscoll, 1994]. El constructivismo hace hincapié en que el sujeto debe participar activamente en el proceso de aprendizaje a través de la introspección y el auto-diálogo, utilizando sus conocimientos y experiencias previas para volver a construir el material recientemente adquirido. Por ejemplo, si al sujeto se le enseñan los principios teóricos de las comunicaciones inalámbricas, éste a través de la interacción con objetos reales (p. ej., PDA, teléfonos, etc.) asimilará y reforzará los conceptos abstractos de la teoría, formando así nuevos esquemas mentales de conocimiento (véase Figura 2.2). Así, diferentes investigadores se encuentran aplicando la teoría del constructivismo al desarrollo de estrategias para la enseñanza (p.ej., [Kitto, 2010; Shi-xia, 2010; Tai, 2010]).

Lev Vygotsky da otro enfoque del constructivismo en [Vygotsky, 1978], donde además de la intervención de artefactos, la interacción social del individuo también forma parte del proceso de aprendizaje. Vygotsky destaca la inclusión de herramientas para la construcción del proceso mental del individuo afirmando que: “La inclusión de una herramienta en el proceso del comportamiento: (a) introduce varias funciones nuevas asociadas con el uso de las herramientas obtenidas y su control; (b) elimina y hace innecesarios varios procesos naturales, cuyo trabajo es llevado a cabo por la herramienta; y altera el curso y las características individuales (intensidad, duración, secuencia, etc.) de todos los procesos mentales que entran en la composición del acto instrumental, reemplazando algunas funciones con otras” [Liu, 2010].

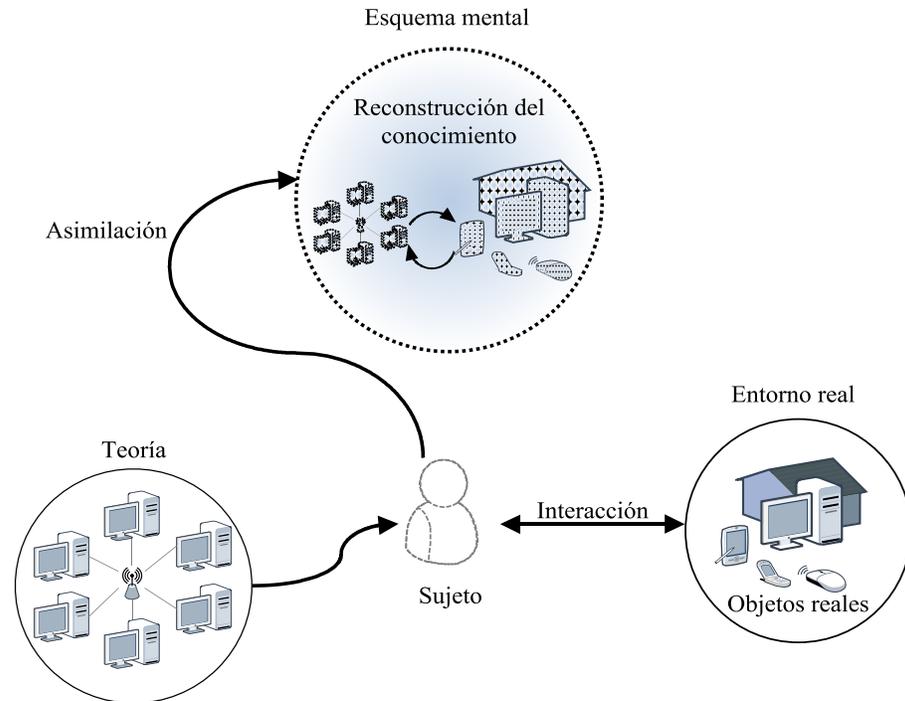


Figura 2.2. Ejemplo de constructivismo.

A partir de las teorías del constructivismo social de Vygotsky, diversos investigadores han realizado exploraciones acerca del desarrollo de herramientas colaborativas como estrategia para el desarrollo de entornos efectivos de aprendizaje (p.ej., [Powell, 2009; García, 2010a; Wang, 2010a]). El aprendizaje constructivista se enfoca a desarrollar conocimiento dentro de la reproducción del mismo.

2.2.2. Construccinismo

El construccionismo derivado a partir del constructivismo y desarrollado por el matemático Seymour Papert, se enfoca en la reconstrucción del conocimiento a partir de artefactos significativos [Papert, 1987]. Papert alude a que el conocimiento no se transmite en su totalidad de persona a persona como un producto final, sino que cada individuo reconstruye su propio conocimiento de manera progresiva a través de experiencias [Uludag, 2010].

Así, Papert retomó la teoría de Piaget y enfatizó el uso de *artefectos* como vehículos para la construcción (o reconstrucción) del conocimiento, afirmando que: “...de las teorías constructivistas de Psicología se ha tomado el punto de vista de qué el aprendizaje es más una reconstrucción que una transmisión del conocimiento. Así, se extendió la idea sobre materiales manipulables con los que el aprendizaje se torna más efectivo si éste forma parte de las experiencias del estudiante en la construcción de un artefacto significativo.” [Papert, 1991]. De esta manera, la idea básica del construccionismo es que, a partir de materiales manipulables se reconstruye el conocimiento mediante la construcción de un artefacto. A manera de ejemplo, la Figura 2.3 muestra a las piezas de plastilina como el material manipulable que a través de un proceso de modelado se convierte en un “artefacto significativo”.



Material manipulable

Artefacto significativo

Figura 2.3. Ejemplo de construccionismo.

En un contexto educativo, la aplicación del enfoque construccionista a los procesos de enseñanza-aprendizaje se remonta al desarrollo del lenguaje de programación LOGO, destinado a la enseñanza de Matemáticas y Geometría básica para niños [Papert, 1980]. El éxito de LOGO se reflejó en el entorno interactivo denominado “*Turtle*”, el cual era un robot con la característica de caminar y dibujar figuras geométricas sobre el piso a través de sencillas instrucciones enviadas desde una computadora. Esta aplicación del construccionismo puso de manifiesto la manera de conectar de forma implícita y directa, el conocimiento con el aprendizaje individual de los niños en un entorno real, al interactuar física y emocionalmente con el robot. Así, los niños desarrollaron un aprendizaje a través de su curiosidad por ver a la tortuga caminar y dibujar figuras geométricas.

A mediados de los noventas, Martin y Resnick presentaron el sistema para niños LEGO/LOGO [Martin, 1993], con el cual los niños podían construir sus propios proyectos mecánicos a partir de partes LEGO y manipularlos mediante el lenguaje LOGO (nacimiento de los populares conjuntos de aprendizaje para robótica *Lego Mindstorm* [URL-8]). El sistema LEGO/LOGO se basa en la idea de que los niños aprenden cuando construyen y programan sus propias máquinas LEGO/LOGO, de esta forma los estudiantes no solo aprenden conceptos teóricos, sino también procesos de diseño e invención de plataformas mecánicas.

De los trabajos de Papert [Papert, 1987; Papert, 1990; Papert, 1991; Papert, 1993], diversos investigadores han indagado en el uso del enfoque de aprendizaje construccionista para el apoyo en la innovación de estrategias educativas de conceptos teóricos. Por ejemplo:

- En [Athanasiou, 2000], se presentó el entorno de simulación interactivo “*Talos*”, para el aprendizaje de principios de funcionamiento y programación de robots móviles.
- En [Cavallo, 2004] se llevó a cabo el proyecto “*The City that We Want*”, con la premisa de que los estudiantes articularan críticas y plantearan nuevos modelos para mejorar problemas de su ciudad, exponiendo sus modelos e ideas a través de un foro en la Web, y con el objetivo de obtener los principios del pensamiento científico, tales como la formulación de problemas, el análisis y las posibles soluciones a estos.
- En [Blikstein, 2006] se expuso un caso de estudio para el modelado de una herramienta basada en sensores para el desarrollo de la investigación científica sobre múltiples

agentes inteligentes, donde los estudiantes podían construir y conectar plataformas con sensores electrónicos en tiempo real.

- En [Mavridis, 2009] se analizó un caso de estudio para la aplicación del construccionismo sobre proyectos de fin de curso, donde los estudiantes reafirmaron aspectos básicos de la materia de robótica y emplearon los fundamentos de los procesos de investigación, experimentando con conceptos básicos de trabajo de equipo, la gestión de proyectos, y el estudio de problemas del mundo real; además, los estudiantes fueron capaces de adquirir experiencia en tres lenguajes de programación, para finalmente construir y demostrar con éxito los comportamientos y movimientos básicos de los robots *LEGO Mindstorms*.
- Por último, en [Simeone, 2010] se presentó un prototipo de realidad aumentada donde se tenía la finalidad de brindar un entorno de trabajo a partir de cámaras incorporadas en juguetes para reconocer patrones y mostrar información asociada a la imagen.

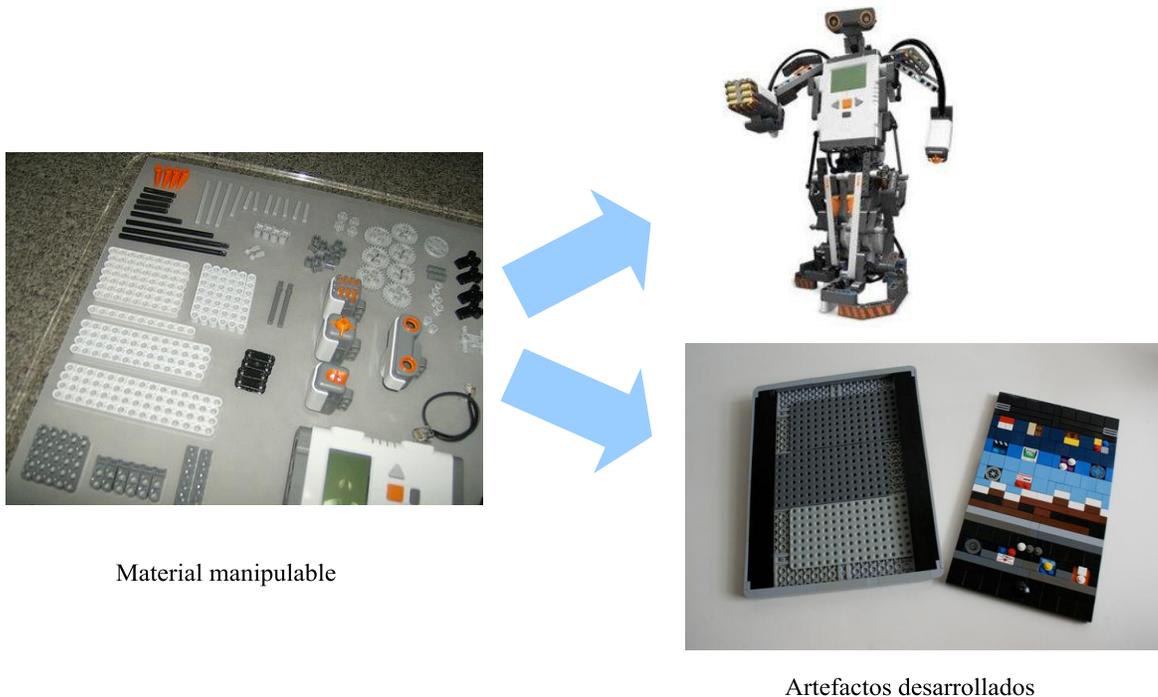


Figura 2.4. Aplicación del construccionismo.

De esta forma, el construccionismo que originalmente se aplicó a la enseñanza de conceptos matemáticos y geométricos, se ha utilizado en la exploración de diversos artefactos personalizados con base en materiales manipulables, realzando la motivación en obtener artefactos con un interés en específico (véase Figura 2.4).

2.2.3. Otros enfoques de aprendizaje

2.2.3.1. Aprendizaje auténtico

El uso de herramientas y la producción de artefactos durante el proceso de aprendizaje también es uno de los principales enfoques del aprendizaje auténtico presentado por John Brown en [Brown, 1991]. Brown define al aprendizaje auténtico como un proceso compuesto por diversas actividades auténticas, las cuales deben ser coherentes, significativas y propositivas para la

trascendencia del aprendizaje del estudiante. Así, Brown determinó que los estudiantes necesitaban mucho más que conceptos abstractos para el desarrollo de sus conocimientos, y al igual que Papert y Vygotsky, puntualizó en el uso de herramientas o artefactos de forma activa para la comprensión de conceptos al establecer que: *“Las personas que utilizan las herramientas de forma activa en lugar de tan solo adquirirlas, construyen de forma implícita un entendimiento cada vez más refinado sobre las herramientas en sí mismas y sobre el mundo en donde se utilizan”* [Brown, 1991]. De acuerdo a [Ogata, 2008], el aprendizaje auténtico se clasifica en cuatro tipos: situacional, incidental, experimental y por acción; donde sobresale el aprendizaje auténtico por acción, construido cuando los estudiantes aprenden creando, observando e imitando a un experto. Algunos ejemplos de la aplicación del aprendizaje auténtico son los trabajos presentados en [Ogata, 2008; Lu, 2008; Paraskakis, 2009].

Así, el objetivo del modelo de aprendizaje autentico no solo se enfoca en ayudar a los estudiantes a aprender el contenido de una materia, sino también en ayudar a interpretar, procesar y el conocimiento.

2.2.3.2. Aprendizaje Basado en Proyectos

De forma similar, el modelo de Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL, *Project Based Learning*) es otra de las perspectivas más importantes y utilizada para la innovación de estrategias educativas y la mejora de la calidad de la enseñanza. El modelo PBL se ha aplicado ampliamente en áreas como: Comunicaciones y Redes de Computadoras ([Basiri, 2010; Wang, 2010b]); Ciencias de la Computación ([Jie, 2009; Avery, 2010; Meng, 2010; Oliver, 2010]); Sistemas Empotrados ([Arias, 2010; Chyi-Shyong, 2010]); y Circuitos Eléctricos ([Lamar, 2010; Martínez, 2010; Price, 2010; Zabus, 2010]); entre otras.

El enfoque motivacional para el sustento y soporte del aprendizaje PBL presentado por Phyllis Blumenfeld [Blumenfeld, 1991], menciona que a lo largo del proyecto el estudiante afirma los conceptos aprendidos a través de la generación de artefactos tangibles, ya que éstos son una representación de su estado de comprensión. Los artefactos al ser tangibles pueden ser comparados y criticados, retroalimentando así el conocimiento emergente del estudiante dado que: *“PBL es un enfoque comprensivo de enseñanza y aprendizaje en las salas de clase, diseñada para animar a los estudiantes sobre la investigación de problemas auténticos”* [Blumenfeld, 1991]; además Blumenfeld, hace alusión al uso de herramientas tecnológicas para el apoyo en el proceso de aprendizaje afirmando que: *“...uno de los mayores desarrollos educativos es la creación y expansión de nuevas herramientas tecnológicas educativas que puedan respaldar a los estudiantes y profesores en la obtención, análisis e intercambio de información; también las herramientas ayudan a mantener la participación docente en la educación y a mejorar los conocimientos para una mejor competencia profesional”* [Blumenfeld, 1991].

2.3. Estado actual de la investigación

En la literatura actual, existen diversas propuestas de investigación que relacionan el uso de las teorías enfocadas a la práctica y destinadas a la enseñanza con las comunicaciones inalámbricas y los sistemas empotrados. Con el objetivo de determinar el estado actual de la práctica en relación al diseño de propuestas similares con esta tesis, en los siguientes apartados se presentará el análisis de las más significativas.

En ésta revisión de la literatura se han clasificado por su aportación: dos artículos relacionados a la implementación de laboratorios como complemento a cursos teóricos de comunicaciones inalámbricas (Sección 2.3.1 y Sección 2.3.2) y cuatro artículos relacionados a la construcción

de plataformas para el aprendizaje de sistemas empotrados basados en microcontroladores enfatizando la experiencia sobre la práctica (Sección 2.3.3, Sección 2.3.4 y Sección 2.3.5).

2.3.1. Laboratorio de comunicaciones inalámbricas

El trabajo realizado por Cassara “*Wireless Communications Laboratory*” [Cassara, 2006], muestra un curso y describe las prácticas para el laboratorio de comunicaciones inalámbricas de la Universidad Politécnica de Brooklyn, dada la necesidad de capacitar a sus estudiantes en el área de las comunicaciones inalámbricas. Cassara resalta la importancia de la experiencia en la motivación de los estudiantes, a través de la estimulación de su interés en esta disciplina específica. Así, el laboratorio fue diseñado como complemento del curso teórico de señales inalámbricas tomado por los estudiantes.

2.3.1.1. Descripción del curso y experimentos

Uno de los principales objetivos de este laboratorio es proporcionar a los estudiantes la experiencia de aprendizaje mediante la acción que incluye una revisión teórica profunda sobre temas como: Código de Pseudoruido (PN, *Pseudo-noise code*), Sistemas de Comunicaciones por Secuenciación Directa en el Espectro Ensanchado (DSSS, *Direct-Sequence Spread Spectrum*), Sistemas de Comunicación por Saltos de Frecuencia en el Espectro Ensanchado (FHSS, *Frequency-Hopping Spread Spectrum*), Método de Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, *Code-Division Multiple-Access*) en Sistemas Inalámbricos, Características de Propagación en Canales de Ultra Alta Frecuencia (UHF, *Ultra-High Frequency*), Medidas de Error en Tasas de bits y Método de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA, *Time-Division Multiple Access*). Además de las lecturas y los experimentos de laboratorio semanales (véase Tabla 2.1), a todos los estudiantes se les pide completar un proyecto enfocado a sistemas de redes inalámbricas y se les aplican tres exámenes escritos de 30 minutos y un examen final de temas relacionados con las prácticas de laboratorio.

Como proyecto final los estudiantes deben diseñar un sistema de comunicación inalámbrica, logrando así identificar problemas técnicos importantes a través del establecimiento de una estrategia de desarrollo y la resolución de sus respectivos problemas. De forma individual a cada estudiante se le solicita un reporte formal escrito por cada práctica de laboratorio, y solo en la presentación del proyecto final realizan una presentación oral. Así, el laboratorio refleja diferentes experiencias sobre los conocimientos técnicos, como las habilidades de comunicación entre los estudiantes.

Tabla 2.1. Laboratorio de redes inalámbricas [Cassara, 2006].

#Experimento	Título del experimento
1	Orientación del equipo
2	Código de PN
3	Sistemas de comunicación por DSSS
4	Sistemas de comunicación por FHSS
5	Método CDMA en comunicaciones inalámbricas
6	Medida de errores en tasas de bits
7	Características de los canales de propagación múltiple
8	Acceso por división de tiempo múltiple

Los experimentos propuestos se encuentran listados en la Tabla 2.1 y se resumen como:

- *Experimento 1 – Orientación del equipo:* En este experimento, los estudiantes se familiarizan con el equipo utilizado a lo largo del semestre en el laboratorio de comunicaciones inalámbricas. Los estudiantes analizan los pulsos RF en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo utilizando un generador de señales, un generador de señales RF, un mezclador doble de señales, un divisor de potencia, un osciloscopio digital, un analizador de espectro y una impresora, para determinar la relación entre el ancho de pulso y el ancho de banda para señales de banda base y pulsos RF. Consecuentemente, este experimento complementa el material aprendido por los estudiantes en los cursos teóricos referentes a los temas: la Transformada de Fourier de un Pulso, las Series de Fourier de un Tren de Pulsos y la Teoría de Modulación de Señales.
- *Experimento 2 – Secuencias de código PN:* El experimento 2 presenta las diferentes secuencias de código PN para examinar su comportamiento y sus propiedades en el espectro RF. Así, diferentes códigos para generar ruido en las señales son generados y examinados para interpretar la interferencia entre las señales. De esta forma, este experimento sirve como complemento de temas como: Potencia y Densidad de la Señal en el Espectro RF.
- *Experimento 3 – Sistemas de comunicaciones por DSSS:* Este experimento fue diseñado para mostrar la técnica de modulación por espectro ensanchado, altamente utilizada en los sistemas de comunicaciones inalámbricos. El experimento muestra las diferentes ventajas de emplear la técnica de espectro ensanchado por secuenciación directa como inmunidad relativa al ruido, habilidad de suprimir interferencias, densidad espectral baja y eficiencia en el uso de la banda RF.
- *Experimento 4 – Sistemas de comunicaciones por FHSS:* En el experimento 4, se muestran los principios de la técnica FHSS utilizada en equipos que incorporan la tecnología Bluetooth. En ésta práctica, los estudiantes construyen su propio sistema de comunicación con base en esta técnica, utilizando módulos y equipo proporcionado en el laboratorio.
- *Experimento 5 - Método CDMA en comunicaciones inalámbricas:* En este experimento, los estudiantes construyen una red inalámbrica para comunicar dos computadoras a través de canales de ondas de radio UHF.
- *Experimento 6 - Medidas BER:* En este experimento, los estudiantes diseñan un circuito contador de errores utilizado para monitorear la medida BER de un sistema de comunicación digital. Este circuito es capaz de tomar muestras y comparar dos trenes de pulsos en un instante de tiempo preestablecido para determinar si las señales son idénticas.
- *Experimento 7 - Características de la propagación por canales múltiples:* El experimento 7 se enfoca en las técnicas de medición para determinar las características de los canales de propagación en la banda UHF dentro del laboratorio. De manera similar, se observa como un canal es afectado típicamente por múltiples reflexiones provenientes de las paredes, estructuras de concreto, etc. Es necesario conocer cómo diseñar sistemas de comunicación inalámbricos y el entendimiento de la propagación de este tipo de señales a través de edificios y predecir los niveles de la intensidad de la señal.

- *Experimento 8 - TDMA*: El experimento 8 es formulado para analizar el mecanismo TDMA, donde se le asigna a cada dispositivo una ranura de tiempo específica para transmitir datos. Un control central de la red asigna las ranuras de tiempo y establece los tiempos de sincronización.

Para el proyecto final, estos experimentos deben ser aprobados previamente por el instructor del curso. Muchos de estos proyectos seleccionados fueron construidos a partir de las prácticas de laboratorio, y se acompañaron de un reporte escrito y la entrega de una presentación oral con diapositivas.

Al final del curso, los resultados alcanzados por el laboratorio de comunicaciones inalámbricas mostraron una clara tendencia por la motivación de los estudiantes en la construcción de circuitos diseñados para realizar sus experimentos, proporcionándoles así invaluable conocimientos sobre la experiencia [Cassara, 2006].

2.3.2. Curso de laboratorio de sistemas de comunicaciones inalámbricas

En el trabajo de investigación de los autores Güzelgöz et al. [Güzelgöz, 2010] “*A Wireless Communication Systems Laboratory Course*”, se presenta la definición de un nuevo curso de laboratorio para sistemas de comunicaciones inalámbricas en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica del Sur de Florida (USF, *University of South Florida*). Este curso enseña a los estudiantes a cómo diseñar, verificar y simular sistemas inalámbricos utilizando equipo de instrumentación.

El curso es el resultado de actividades de investigación del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la USF y de acuerdo [Güzelgöz, 2010] “*el objetivo principal de este curso es ayudar a los estudiantes a comprender los conceptos teóricos relacionados a los sistemas de comunicación inalámbricos a través de experimentos manuales que permitan mejorar su diseño y su análisis*”. El curso también realza la motivación e interés en los estudiantes de Ingeniería y otras tecnologías relacionadas; por lo que los experimentos de laboratorio fueron diseñados específicamente para fortalecer la parte de enseñanza teórica del curso.

El curso está orientado a estudiantes de los últimos niveles y/o graduados de Ingeniería Eléctrica. Así mismo, no es un requisito previo para el curso que los estudiantes estén familiarizados con los conceptos teóricos básicos acerca de señales y análisis de sistemas lineales, tales como: Teoremas de Muestro, Convolución, Series y Transformadas de Fourier. La familiarización con el Software MATLAB es deseada, pero no requerida.

De acuerdo a [Güzelgöz, 2010], la enseñanza de ciertos temas como las comunicaciones inalámbricas o las comunicaciones digitales, a menudo es impartida con cursos muy abstractos y complejos que requieren del soporte de la experiencia práctica. Este hecho se debe principalmente a que la relación directa entre causa y efecto no puede ser vista fácilmente a partir del estudio de la teoría pura. A diferencia de lo anterior, esta investigación considera que la eficiencia de un curso que cubre muchos aspectos teóricos puede ser incrementada a través de experimentos manuales, por lo que el curso fue dividido en dos partes principales: la *primera parte* del curso denominada *in-class-part*, aborda los aspectos teóricos de los sistemas de comunicaciones inalámbricos; mientras que la *segunda parte* del curso se enfoca a los ejercicios de laboratorio que pretenden ayudar a los estudiantes a adquirir experiencia práctica sobre el material teórico cubierto durante las horas de clase. De este modo, los estudiantes adquieren una comprensión profunda de la teoría en los sistemas de comunicaciones inalámbricas con experiencia en el laboratorio.

La teoría básica del curso cubre aspectos fundamentales como: Comunicaciones inalámbricas, Simulación de sistemas por Software, Modelado y evaluación Hardware, Sistemas de medición e interacción Hardware y Software.

Los experimentos en este curso fueron diseñados para mantener la motivación de los estudiantes de los últimos semestres; por lo tanto, muchos de estos experimentos incorporan el uso de diversos dispositivos relacionados a las comunicaciones inalámbricas. Por ejemplo, un teléfono celular fue utilizado para enseñar a los estudiantes el efecto de la pérdida de la señal inalámbrica a través de la medición de la potencia en la señal recibida. De forma similar, se incluyeron dispositivos con tarjetas que incluyen las tecnologías Bluetooth y Wi-Fi para realizar otros estudios sobre la frecuencia de operación y ancho de banda.

En palabras de los autores y en adición a los reportes de práctica y tareas asignadas “*los estudiantes son obligados a completar un proyecto final y demostrar su funcionamiento de forma exitosa en el laboratorio (enfrente de sus compañeros de clase) con el equipo proporcionado*”. Estos requerimientos del curso buscan mejorar las técnicas de los estudiantes en relación a sus presentaciones orales así como en la preparación de reportes.

2.3.2.1. Descripción del curso y experimentos

El curso de laboratorio de sistemas de comunicaciones inalámbricas fue diseñado para que los aspectos teóricos del curso fueran discutidos semanalmente durante las sesiones en el aula, con clases de aproximadamente 2 horas. Mientras que las sesiones de laboratorio cubren aproximadamente tres horas y media a la semana. El curso de laboratorio se encuentra basado en la finalización de ocho experimentos obligatorios, un experimento opcional y un proyecto final. El trabajo en equipo y la cooperación con otros estudiantes son aspectos fuertemente inculcados a través del curso. La Tabla 2.2 lista un resumen de los experimentos obligatorios.

Los reportes de laboratorio son parte esencial en el curso, y en el reporte final los estudiantes formulan una presentación de 30 minutos. Además, se aplican varios exámenes para evaluar el entendimiento del material estudiado.

Tabla 2.2. Resumen de experimentos obligatorios [Güzelgöz, 2010].

# Experimento	Título del experimento	Objetivos
Experimento I	Introducción básica a las comunicaciones digitales a través de la simulación por MATLAB	<ul style="list-style-type: none"> Familiarizarse con el paquete de Software MATLAB y con las funciones relacionadas a las simulaciones de comunicaciones inalámbricas Entendimiento de gráficas para cuantificar sistemas inalámbricos a través de simulaciones por MATLAB Desarrollo de un detector QPSK Entendimiento del nivel de señal <i>offset</i> en la frecuencia y su efecto
Experimento II	Entendimiento de las formas de onda y sus propiedades	<ul style="list-style-type: none"> Enseñar ciertas formas de onda y sus propiedades Aprender cómo capturar y transmitir formas de onda, utilizando procesos en MATLAB para llevarlos a cabo
Experimento III	Introducción a los dispositivos inalámbricos	<ul style="list-style-type: none"> Entender la funcionalidad de componentes Hardware como mezcladores, amplificadores y

		filtros
Experimento IV	Análisis de tipos de modulación	<ul style="list-style-type: none"> Estudio de tipos de modulación y sus características
Experimento V	Efectos de filtros en sistemas de comunicaciones inalámbricos	<ul style="list-style-type: none"> Estudio de varios filtros para formas de pulsos utilizados en los sistemas de comunicaciones inalámbricas
Experimento VI	Análisis de señales multidimensionales	<ul style="list-style-type: none"> Estudio de herramientas para análisis de diversos componentes a través de señales multidimensionales
Experimento VII	Sincronización en los sistemas inalámbricos	<ul style="list-style-type: none"> Estudio e implementación de sincronización de sistemas inalámbricos Aprender cómo afecta el efecto de la señal <i>offset</i> y su corrección Entendimiento y corrección de disminuciones en la amplitud y fase de las formas de onda por el canal inalámbrico
Experimento VIII	Impacto en los canales de comunicaciones inalámbricas	<ul style="list-style-type: none"> Observar la pérdida de los paquetes y selectividad en la frecuencia Aprendizaje sobre técnicas de los canales de sonido

A continuación se proporciona una breve descripción de los experimentos llevados a cabo durante este curso:

- Experimento I - Introducción básica a las comunicaciones digitales:* En este experimento se introducen varios conceptos fundamentales de las comunicaciones inalámbricas a través del entorno de simulación MATLAB y la observación de diferentes diagramas que son ampliamente utilizados en el montaje de sistemas inalámbricos. De esta manera, los estudiantes diseñan un esquema de modulación QPSK mediante MATLAB, para investigar diversos tipos de diagramas. En una segunda fase del experimento, la cual se deja como un paso opcional, se introduce el efecto del nivel de la señal *offset* en las formas de onda recibidas en las simulaciones. Así mismo, los niveles de la señal *offset* y sus efectos son estudiados para introducir impedimentos en los sistemas de comunicaciones inalámbricos.

De acuerdo con Güzelgöz et al. [Güzelgöz, 2010], los beneficios de utilizar el entorno de simulación MATLAB para enseñar los conceptos teóricos fundamentales son:

- Entender e interpretar los diagramas que son ampliamente utilizados en la comunidad inalámbrica y comprenden la importancia de evaluar la realización de los sistemas de comunicaciones inalámbricas.
 - Familiarizarse con diferentes aspectos relacionados a las comunicaciones inalámbricas para montar tareas simples, así como el desarrollo de un detector QPSK.
- Experimento II - Entendimiento de las formas de onda y sus propiedades:* El objetivo principal de este experimento es familiarizar a los estudiantes con las formas de ondas típicas y sus propiedades. Así, los estudiantes aprenden a generar diversas formas de onda, que van desde formas típicas (como la sinusoidal) a señales complejas utilizadas en los protocolos inalámbricos.

El análisis de las formas de onda se realiza con un Analizador Vectorial de Señales (VSA, *Vector Signal Analyser*), así los estudiantes pueden medir las señales de transmisión en los canales inalámbricos de propagación. Además de la generación de formas de onda, las señales son transmitidas a partir de teléfonos móviles, de esta manera y con la ayuda del VSA se puede medir la potencia de estas señales. En el experimento se enfatiza también en la interacción entre VSA y MATLAB; es decir, con el VSA se transmiten señales complejas y por medio de una interfaz con la computadora se analizan con MATLAB. Lo anterior se remarcó como una parte importante del curso y en los respectivos proyectos.

- *Experimento III - Introducción a los dispositivos inalámbricos:* El objetivo del experimento III es enseñar el funcionamiento y características de los dispositivos, además de observar su comportamiento no lineal. Se utilizan dispositivos como: Mezcladores, Filtros pasa banda, Amplificadores de Bajo Ruido (LNA, *Low Noise Amplifier*) y Osciladores de Voltaje Controlado (VCO, *Voltage-Controlled Oscillator*).

Dado que los mezcladores y el LNA son dispositivos no lineales que generan señales no deseadas en varias frecuencias armónicas, el experimento III estudia el comportamiento de estos dispositivos en el espectro de frecuencia. Se utilizan filtros pasa banda para suprimir las señales armónicas no deseadas y entender este funcionamiento.

- *Experimento IV - Análisis de tipos de modulación:* El objetivo se enfoca en la realización de un sistema de comunicación inalámbrica, dependiente fuertemente de los diferentes tipos de técnicas de modulación y demodulación utilizadas. Así, este experimento expone los diferentes tipos y formas de modulación caracterizadas y expresadas en términos de eficiencia del ancho de banda. Los tipos de modulación estudiados en este experimento son: QPSK, OQPSK, GMSK, 8-PSK, $\Pi/4$ -DQPSK, y 16-QAM.
- *Experimento V - Efectos de filtros en sistemas de comunicaciones inalámbricos:* El objetivo del experimento consiste en estudiar los efectos de filtros en sistemas de comunicaciones inalámbricas a través de herramientas proporcionadas por el VSA. De esta forma, se evalúan diversos tipos de filtros, midiendo la calidad de las señales enviadas y transmitidas entre los dispositivos inalámbricos.
- *Experimento VI – Análisis de señales multidimensionales:* La interpretación de diversos diagramas en el dominio de la frecuencia permite preparar a los estudiantes en el uso de herramientas para el estudio de señales como: NADC, GSM, CDMA y Bluetooth. Estas señales son generadas con los parámetros deseados por los estudiantes. Así, teniendo poco conocimiento de señales de transmisión los estudiantes utilizan adecuadamente las herramientas para evaluar las señales y características como frecuencia de operación, ranuras de tiempo y secuencias de saltos de frecuencia.
- *Experimento VII - Sincronización en los sistemas inalámbricos:* El objetivo del experimento VII es enseñar cómo los procesos de recepción capturan las formas de onda para extraer información útil. En este experimento se utilizan algunos procesos y funciones de MATLAB para la decodificación de las formas de onda. También se realizan pruebas de sincronización entre dispositivos para la correcta transmisión de datos entre éstos.
- *Experimento VIII - Impacto en los canales de comunicaciones inalámbricas:* El último experimento obligatorio enseña a los estudiantes el efecto de la propagación de

señales de transmisión en los canales inalámbricos, observando los problemas relacionados a estos canales como la latencia, la atenuación, la interferencia y otros parámetros de la transmisión y la recepción de las señales.

El diseño de los proyectos es uno de los aspectos más relevantes en el proceso de aprendizaje para este curso. En este sentido, los estudiantes son motivados a tomar un tema tan pronto como sea posible y trabajar en ello a lo largo del curso; así mismo, cada proyecto fue previamente aprobado por el instructor.

Las horas de trabajo en el laboratorio funcionan bajo el concepto de “laboratorio abierto”, donde los estudiantes pueden trabajar y tener acceso a las instalaciones del laboratorio en horas extras y agilizar las actividades para finalizar los proyectos. Al terminar sus respectivos proyectos, a los estudiantes se les solicita una demostración de sus proyectos en el laboratorio con equipo Hardware y Software; además, es necesaria la entrega de un reporte detallado que resuma el proyecto.

2.3.2.2. Resultados de la aproximación

Para mejorar el curso, los instructores aplican encuestas a los estudiantes para obtener una visión más objetiva de las necesidades que requiere el curso. La encuesta debe ser tomada antes del examen final del curso; para efectos de una demostración, la Tabla 2.3 resume las respuestas de un total de 20 estudiantes. Las cuatro preguntas mostradas se basan en afirmaciones que los estudiantes evalúan en un rango de: a) Fuertemente en Desacuerdo (FD); b) En Desacuerdo (D); c) Neutral (N); En Acuerdo (A); y Fuertemente en Acuerdo (FA).

La efectividad del curso no solo es medida por la retroalimentación de las encuestas, también se realiza un estudio comparativo relacionado con los estudiantes que toman este curso y su ayuda en otros cursos relacionados y tomados posteriormente, tales como Sistemas de Comunicaciones Digitales, donde los resultados muestran un incremento notable en su aprendizaje y en sus habilidades orales.

Tabla 2.3. Respuesta de encuestas [Güzelgöz, 2010].

Declaración	FD	D	N	A	FA
Este laboratorio ayudó a los estudiantes a entender los principios difíciles de las comunicaciones inalámbricas	0	0	0	8	12
Me siento más confiado con conceptos relacionados al diseño y análisis en comunicaciones inalámbricas	1	0	0	9	10
Los experimentos de laboratorio son complementarios al material cubierto en el curso	1		0	4	13
Mi interés en la ingeniería y la tecnología se incrementó después de tomar este curso	1	0	0	8	11

Güzelgöz et al. pretenden que el curso repercuta directamente en la vida profesional de los estudiantes graduados, a través de las características motivacionales y de interés aportadas en el curso. En teoría, este curso se diseñó para que pueda ser repetido por otras Instituciones similares que pretendan adoptar el beneficio del aprendizaje sobre la experiencia.

2.3.3. Laboratorio y metodología de enseñanza para SE inalámbricos y móviles

De acuerdo a Chenard et al. [Chenard, 2008], la propagación de los sistemas inalámbricos portátiles en diversos sectores de la industria y del entretenimiento es solamente el comienzo de una era nueva en el desarrollo de sistemas. En este contexto, un plan de estudios debe ser desarrollado considerando el cubrir dicha propagación. Así, el artículo titulado “A Laboratory Setup and

Teaching Methodology for Wireless and Mobile Embedded Systems”, muestra una metodología de enseñanza asociada al diseño e implementación de un laboratorio para sistemas empotrados inalámbricos. El curso permite a los estudiantes aplicar los conocimientos sobre el diseño de sistemas digitales, arquitectura de computadoras, circuitos eléctricos, redes inalámbricas e ingeniería de Software. Así mismo, a lo largo de éste laboratorio se desarrolló una plataforma Hardware flexible a través de una metodología de enseñanza específica para un desarrollo completo.

El laboratorio se encuentra basado en los sistemas de procesadores *McGumps*, que es un conjunto de herramientas diseñadas para expandir y prolongar relativamente el ciclo de vida de los proyectos realizados sobre éstos.

El rango de técnicas que se requieren en la industria y que se utilizan en el curso incluyen a: el trabajo en equipo, la gestión de proyectos, y la exposición de proyectos en tamaño real. En este sentido, la propuesta de este laboratorio es crear condiciones favorables para el desarrollo de dichas técnicas en el desarrollo de los sistemas empotrados inalámbricos.

Bajo la metodología descrita, se trabaja en equipos de cuatro estudiantes para que éstos cooperen en la realización de un proyecto final en un lapso de un semestre. El proyecto final de los estudiantes se realizó sobre una plataforma de desarrollo que incluye una Pantalla de Cristal Liquido (LCD, *Liquid Crystal Display*), una pantalla táctil (*touchscreen*) e interfaces inalámbricas.

2.3.3.1. Planeación del curso de laboratorio

Los cursos del laboratorio están dirigidos a estudiantes de los semestres más altos para que éstos aterricen el conocimiento de sus múltiples cursos y de esta forma mejoren sus habilidades para realizar proyectos reales en un corto periodo de tiempo.

Durante la primer parte del semestre, el laboratorio fue estructurado para ofrecer lecturas formales (con los respectivos exámenes) y ejercicios directos. Los ejercicios fueron realizados de forma progresiva véase Tabla 2.4) para familiarizar a los estudiantes con el conjunto de instrucciones del procesador, los periféricos asociados a la plataforma de desarrollo y las herramientas de desarrollo. Así, el curso introduce a la mayoría de los estudiantes en su primera experiencia en el desarrollo sobre una plataforma compleja, y reduce en lo posible la abstracción relacionada con ésta.

Tabla 2.4. Guía de temas del curso [Chenard, 2008].

Semana	Guía de temas
1,2	Lenguaje ensamblador, C y herramientas de desarrollo
3	Interrupciones básicas (temporizadores), señales de E/S y CPLD
4	Interfaz UART, uso de interfaces simples de usuario
5	Procesamiento de interrupciones avanzadas (múltiples fuentes)
6	Bus SPI, convertidores ADC y DAC
7-8	Usos de periféricos del proyecto (LCD, RF)
9-12	Trabajo de equipo

Los primeros ejercicios se realizan de forma individual y se enfocan en el conocimiento y arquitectura del microprocesador, así como en técnicas de programación de sistemas empotrados sobre lenguaje ensamblador y programación simple en C. De esta manera se realiza una introducción a la plataforma de desarrollo a través de ejercicios simples. En este contexto, los colaborado-

res del profesor realizan una demostración detallada y proporcionan tutoriales paso a paso para asegurar que todos los estudiantes tengan un entendimiento completo sobre las herramientas necesarias durante el semestre.

2.3.3.2. Aprendizaje colaborativo

Una vez que los estudiantes fueron instruidos en las técnicas básicas se les pide que formaran equipos de dos personas⁶. Los mismos estudiantes son los que seleccionan a su compañero. Este proceso de aprendizaje colaborativo da la posibilidad de que los estudiantes compartan sus ideas y se acerquen rápidamente a las soluciones de los problemas relacionados con los ejercicios.

Una de las características más importantes es que se pone en práctica la técnica de intercambio de código (*code sharing*), donde el código obtenido es comentado y realizado en módulos para su posible intercambio.

Los colaboradores del profesor están instruidos para formular preguntas a cualquiera de los miembros de los equipos en relación a la solución de los ejercicios, sin considerar cuál de éstos escribió el código. Dicho paso requiere de un entendimiento de la solución del ejercicio por ambas partes. En la parte final del semestre los grupos de dos personas se juntan con otro para afrontar el proyecto final. En este contexto, éste grupo con más cantidad de participantes ofrece a los estudiantes la oportunidad de discutir y definir sus objetivos individuales y compararlos con los del grupo.

2.3.3.3. Aprendizaje centrado en el estudiante

De acuerdo a Chenard et al., a medida que avanzó el semestre los requisitos asignados a los proyectos se tornaron cada vez menos detallados, por lo que los estudiantes tuvieron que “rellenar” las diferencias con las especificaciones formales, proponiendo de esta manera sus propias implementaciones a la solución de un ejercicio. Para cada ejercicio se solicitó un reporte por escrito, donde los estudiantes justificaron sus decisiones en la implementación. Dicha aproximación a la solución tiene sus raíces en el aprendizaje centrado en el estudiante y que se apoya en un conjunto de herramientas Hardware y pruebas asignadas, las cuales se encuentran diseñadas para remarcar y beneficiar al estudiante en el conocimiento de métodos de diseño, asegurando de esta manera sus posibles soluciones a los ejercicios propuestos.

2.3.3.4. Arquitectura del conjunto de herramientas de enseñanza

Chenard et al. realizaron diversos proyectos previos estudiando y adoptando diversos conjuntos de herramientas para sus correspondientes análisis y pruebas. Dos plataformas de desarrollo pertenecientes a cada categoría fueron estudiadas en al menos dos semestres previos utilizando voluntarios en los cursos. En este contexto, Chenard et al. dividen a las plataformas de desarrollo en las siguientes tres categorías:

- *Plataformas centradas en microprocesadores empotrados “Soft Core”*: La primera categoría de plataformas de desarrollo incluyen a los sistemas que emplean arreglos lógicos programables para implementar un microprocesador “ligero” o “suave”, tales como: Altera con NIOS y Xilinx con Microblaze. La experiencia mostrada en clase

⁶ Chenard et al. especifican que los grupos de tres estudiantes requieren de una dinámica interpersonal más compleja, por lo que solo fue permitido cuando el total de la lista de alumnos era un número impar.

determinó que este tipo de herramientas educativas se encuentran centradas a la comprensión de las funciones de los microprocesadores más que al desarrollo de sistemas empujados inalámbricos; por lo que, los temas inherentes a la programación de estas plataformas (p. ej., síntesis, ruteo y descarga), son los principales impedimentos para alcanzar los objetivos de enseñanza. Por lo tanto, la compleja implementación de un microprocesador en tiempo real sobre una plataforma de esta primera categoría, además de la relativa inexperiencia de los estudiantes en el entendimiento de las arquitecturas de computadoras, pueden hacer que las tareas se tornen abrumadoras y se enfoquen a un inevitable fracaso.

- *Plataformas centradas en microprocesadores*: El segundo tipo de plataformas de desarrollo incluyen a un microprocesador principal que sobresale en la eficiencia de las aplicaciones. Los ejemplos aplicados sobre las plataformas de esta categoría se ejecutan bajo procesadores ARM y PowerPC. Aunque las tarjetas muestran excelentes cualidades para estudios avanzados en el desarrollo de proyectos más elaborados, son demasiadas complejas para cursos iniciales en microprocesadores; por lo que, la configuración del Software de desarrollo de dichas plataformas requiere de una curva de aprendizaje insostenible para cursos de un único semestre.
- *Plataformas centradas en microcontroladores*: En esta categoría algunos ejemplos estudiados incluyeron plataformas de desarrollo con soporte para los microcontroladores de las firmas Motorola y Atmel. Los resultados mostraron que el uso de estas plataformas benefició a los estudiantes con el desarrollo simple; sin embargo, para que el curso mantenga una constante mejora e innovación en cuanto al diseño de sistemas, es necesario actualizar las herramientas de desarrollo para estas plataformas.

Con base en el análisis anterior, [Chenard, 2008] decidieron escoger el microcontrolador simple MSP430 de la firma Texas Instruments para el desarrollo de un conjunto de plataformas, logrando así la simplificación en la realización de los proyectos estimados por los estudiantes. También, se desarrolló un conjunto avanzado de herramientas denominado McZub utilizando un procesador ARM7TDMI, utilizado ampliamente en el desarrollo de plataformas inalámbricas de entrenamiento.

2.3.3.5. Manteniendo la flexibilidad

Las interfaces y periféricos que forman parte del conjunto de herramientas de enseñanza tuvieron gran impacto sobre el curso. Así, mucho de éstas interfaces requirieron de la inclusión de Hardware a través de protocolos como I2C y SPI; sin embargo, esta investigación indica que *“mientras este punto de vista era adecuado hace algunos años, la cantidad de cable requerido, así como el bajo rendimiento en los procesos de transmisión de datos, fueron la causa de lo principales inconvenientes en el laboratorio”* [Chenard, 2008]. Por lo tanto, se diseñó el prototipo de un subsistema para brindar el soporte en tecnologías inalámbricas y protocolos seriales de alta velocidad, preparando a los estudiantes recién graduados en el manejo de interfaces como Wi-Fi, Firewire, USB, etc.

2.3.3.6. Redes inalámbricas

Durante el curso los estudiantes mostraron gran interés en el uso de las tecnologías inalámbricas más recientes, adhiriendo de esta forma interfaces de bajo costo a sus sistemas empujados y expandiendo sus capacidades. Así, la adición de enlaces inalámbricos a sus respectivos proyectos dio como resultado la creación de interesantes proyectos finales a partir del uso de

los transceptores RF2401 de la firma Nordic y CC2420 de la firma Texas Instruments, otorgándoles conectividad inalámbrica a sus sistemas a través del protocolo IEEE 802.15.4. En este sentido, las tecnologías inalámbricas más complejas como Bluetooth y Wi-Fi fueron consideradas en la expansión de la funcionalidad de forma libre, pero indiscutiblemente los esquemas de conectividad y establecimiento de los enlaces relacionados a estas tecnologías, abrumó a los estudiantes originando errores evidentes en los sistemas. De forma contraria, la selección de la tecnología IEEE 802.15.4 permitió enviar y recibir paquetes de datos en tan sólo unos cuantos días de trabajo, centrando así los problemas en las interfaces de comunicación serial para comunicar los sistemas con los transceptores. Los estudiantes construyeron sistemas complejos incluyendo el monitoreo y control distribuido de sensores de temperatura, sistemas de gestión de conferencias y gestión de bases de datos distribuidas.

2.3.3.7. Ingeniería de Software en el diseño de las interfaces de usuario

De acuerdo con Chenar et al. [Chenard, 2008], es importante considerar el enfoque de Ingeniería de Software para realizar los proyectos. Así, con el uso del lenguaje de programación C, en contraste con el lenguaje ensamblador, se simplificó la realización de los sistemas debido a la complejidad de éste último. Algunas excepciones surgieron cuando los estudiantes deseaban manipular registros específicos o maximizar su rendimiento para una sección del código firmware en particular; por consiguiente, los estudiantes fueron instruidos en clase para utilizar tanto código C como lenguaje ensamblador sobre el mismo proyecto. A lo largo del semestre, los estudiantes mostraron el funcionamiento de sus respectivos prototipos ejecutando parte de sus códigos en C sobre sus computadoras, antes de la respectiva fase de integración sobre los microcontroladores.

El conjunto de herramientas McGumps fue diseñado a partir de consideraciones particulares a las herramientas de diseño que los estudiantes utilizaron en el curso. En este contexto, el entorno de desarrollo elegido fue CrossStudio para microcontroladores MSP430, debido a su muy intuitiva interfaz de usuario gráfica y su sencillo proceso de compilación. También, el mismo entorno de desarrollo es compatible con los procesadores basados en núcleos ARM y sus posibles actualizaciones. Uno de los requerimientos principales para la elección de dicho entorno de desarrollo fue que soporta el compilador GNU GCC en caso de que los estudiantes deseen construir el firmware sin herramientas comerciales.

Cada semestre, los estudiantes necesitaron construir interfaces de usuario robustas. Así, los requerimientos de uso se convirtieron en puntos importantes a considerar en los sistemas móviles inalámbricos. Una vez que se establecieron los requerimientos de las interfaces de usuario, los estudiantes desarrollaron la tarjeta de expansión McGuld, la cual incluía una pantalla táctil y una pantalla de cristal líquido para gráficos. A través de los componentes de interfaces de usuario para las plataformas de desarrollo McGumps, se obtuvo la experiencia práctica en el diseño de controladores de bajo nivel de Hardware y en el diseño de módulos de gestión de periféricos.

Se observó que los estudiantes con frecuencia subestimaban la complejidad y creación de una buena interfaz de usuario, ya que en el papel de desarrolladores, los estudiantes conocen el funcionamiento interno de sus sistemas prototipo, lo que conducía a una interfaz enigmática. En varios casos, los compañeros (estudiantes fuera del equipo) no entendían bien lo que tenían que hacer con el sistema prototipo. Así, la inclusión desde una perspectiva de Ingeniería de Software ha dado buenos comentarios y mejoras notables en la manera de cómo los estudiantes abordaron e interactuaron con los diversos proyectos finales.

Uno de los principales objetivos de este curso fue dejar que los estudiantes diseñaran un circuito electrónico simple sobre las herramientas de desarrollo; sin embargo, los autores indicaron que los estudiantes aún necesitaban experiencia para éste paso, por lo que se centraron en contar con una plataforma de desarrollo núcleo desde el primer día de clases para ahorrar tiempo y disminuir la frustración de los estudiantes.

2.3.3.8. Resultados de la aproximación

Los estudiantes tuvieron acceso a los diagramas esquemáticos completos de los circuitos impresos para producir las herramientas de enseñanza. Los técnicos universitarios estuvieron involucrados en los análisis para el reemplazamiento y actualización de las plataformas y se aseguraron que las herramientas pudieran ser utilizadas en semestres consecutivos. De esta manera, el enfoque principal del curso fue “no esconder nada a los estudiantes” en la realización de sus proyectos.

Como parte del enfoque de enseñanza a los estudiantes se les proporcionó un conjunto amplio de especificaciones. Cada equipo trabajó en sus propias especificaciones para sus proyectos finales por lo que necesitaron establecer sus propios criterios

Las herramientas con las que contaban los profesores antes del desarrollo de estas plataformas, tomaban alrededor de cuatro semanas para que los estudiantes se familiarizaran con éstas y con el entorno de desarrollo. Ahora con el beneficio de las nuevas plataformas se logró una integración entre el entorno de desarrollo y el microcontrolador en las dos primeras semanas del curso. Así mismo, el tiempo de desarrollo ahorrado por las plataformas en el semestre, permitió a los estudiantes ser más productivos y convertirse en expertos sobre el conjunto de instrucciones de las plataformas, mejorar sus técnicas de programación en ensamblador y código C en sistemas empotrados, y para mitad del semestre se le otorgo mayor tiempo en el aprendizaje de módulos inalámbricos que expandieran la funcionalidad de las plataformas utilizadas para sus proyectos finales.

Los estudiantes aprendieron en éste curso a cómo describir sus propias especificaciones y a refinarlas por medio de una metodología específica. A partir de presentaciones cortas de los estudiantes en determinadas fechas límites, se aseguró el progreso constante sobre los proyectos; además, el entrenamiento en el desarrollo en equipo y expansiones de la plataforma McGump constituyó un excelente aporte a los estudiantes en ingeniería en electrónica e ingeniería en computación.

2.3.4. Construcción de una plataforma para la enseñanza de microcontroladores

La investigación con título “*Constructing μ -Controller Teaching Tool with the Integration of Hardware and Software Technology*”, presentada por Chin-Ming y Hui-Meo [Chin-Ming, 2009], ejemplifica la construcción de un conjunto de herramientas para la enseñanza y aprendizaje del diseño y modelado de sistemas basados en microcontroladores 89S51 de la firma Intel véase Figura 2.5). La plataforma fue destinada a un curso otorgado por el Departamento de Ingeniería en Electrónica de la Universidad Tecnológica de Taiwan.

Durante el diseño y construcción de la plataforma propuesta se utilizó una metodología simple formada de cuatro fases: compilación y simulación del Software, descarga de código a la plataforma destino, control de entidades básicas de la plataforma, y control de un vehículo vía remota.

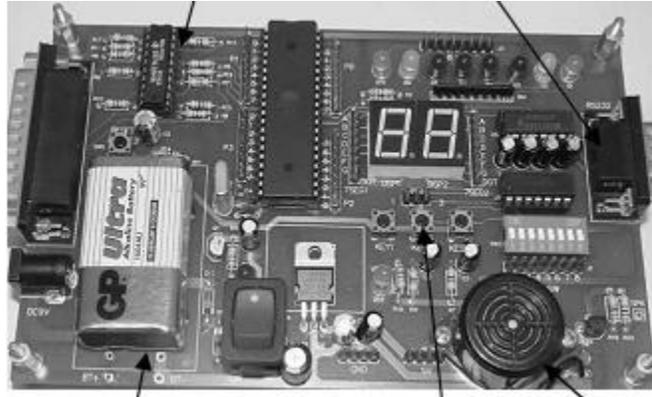


Figura 2.5. Plataforma de enseñanza bajo MCU 89S51 [Chin-Ming, 2009].

La fase de simulación y compilación de Software es utilizada para compilar, enlazar y depurar los códigos destinados a la plataforma. Durante la fase de descarga se enseñan los procesos de descarga y almacenamiento de los programas correspondientes en la memoria flash del microcontrolador 89S51. La fase de control básico de entradas y salidas de la plataforma se enfoca, a través de prácticas sencillas, en la experimentación sobre el control y la gestión de los puertos del microcontrolador. Por último, la fase de control de un vehículo vía remota se utiliza para ejemplificar y clarificar la metodología de diseño sobre los sistemas desarrollados utilizando el microcontrolador 89S51. De acuerdo a Chin-Ming y Hui-Meo se estableció una nueva investigación después de que los estudiantes terminaran el curso, producto del entusiasmo e interés adquirido al diseñar sistemas basados en microcontroladores de forma metodológica y modular.

Durante el curso se incluye una revisión e introducción a las especificaciones Hardware del microcontrolador AT89S5, así como el diseño del módulo de entrada/salida para establecer la comunicación de la plataforma con una computadora personal. A modo de resumen las fases del curso son:

- *Revisión general e introducción al MCU AT89S51:* La primera semana de clases se explica el objetivo, contenido y alcances del curso, así como una introducción al microcontrolador 89S51. En este sentido, el objetivo del curso es que los estudiantes aprendan a utilizar el microcontrolador bajo el enfoque de diseño de un “producto”. El curso incluye aspectos fundamentales y aplicaciones específicas del diseño, donde el 25% del curso se encuentra enfocado al estudio de la arquitectura del microcontrolador.
- *Compilación y simulación:* Esta fase del curso consiste en prácticas de simulación y depuración de los programas realizados en lenguaje ensamblador y en lenguaje C. Después de aprender a diseñar las interfaces de entrada/salida, se diseñan e implementan programas para la evaluación de las interfaces, de esta forma los estudiantes realizan la integración Hardware y Software para desarrollar un proyecto simple basado en el microcontrolador.
- *Diseño de la interfaz de entrada/salida:* En esta fase del curso se realizan prácticas de descarga de programas para evaluar el diseño de interfaces como: Interfaz LCD, módulo de comunicación serial RS232, módulo de visualizadores de siete segmentos, teclado matricial, entre otros módulos de entrada/salida.
- *Control de vehículo vía remota:* La fase del control de un vehículo de forma remota es utilizada para evaluar el trabajo de los estudiantes durante el curso. A los estudiantes

se les pide construir cada parte del circuito, programar y realizar la integración Hardware y Software correspondiente. Para motivar el desempeño eficaz, si los proyectos logran pasar las pruebas de verificación del instructor, los estudiantes adquieren una certificación otorgada por el gobierno de Taiwan y por industrias locales. Así para la valoración final, el objetivo es entrenar a los estudiantes en las capacidades de integración Hardware y Software

Para la fase de evaluación del curso a los estudiantes se les piden tres diagramas fundamentales para el desarrollo de sus proyectos: un diagrama modular del diseño de la interfaz de entrada/salida, un diagrama del modelado principal de la funcionalidad total del sistema y los códigos comentados para su implementación en sus respectivas plataformas.

Como se relata en [Chin-Ming, 2009], los estudiantes que se inscriben en el curso generalmente cuentan con bases sólidas de programación en lenguaje ensamblador y lenguaje C. Así, el Departamento de Ingeniería en Electrónica de la Universidad Tecnológica de Taiwan cuenta con veintiocho plataformas que los estudiantes pueden utilizar en el desarrollo de sus prácticas, y que están destinadas a equipos (formados por dos personas) y cubrir por lo menos 50 estudiantes.

2.3.4.1. Resultados de la aproximación

De acuerdo a [Chin-Ming, 2009], la herramienta de enseñanza propuesta es diferente en tres aspectos:

- Los estudiantes no solo aprenden el contenido esencial de las técnicas de programación de sistemas basados en microcontroladores, sino que también aprenden a diseñar e implementar un sistema con base en un método modular prestando especial atención el aspecto de integración Hardware y Software.
- Se realizan discusiones previas al desarrollo y diseño del sistema, que permiten otorgarle a los estudiantes la oportunidad de llevar a cabo las propuestas generadas con sus propias ideas.
- A los estudiantes se les permite construir sus propios módulos de entrada/salida para ampliar la funcionalidad de la plataforma propuesta, incrementando de esta forma la participación e interés en la construcción de sistemas empotrados a la medida.

Hasta ahora la construcción de las herramientas ha sido aplicada en tres años consecutivos, facilitando a los estudiantes el entrenamiento sobre las técnicas de depuración y de programación de sistemas basados en el microcontrolador 89S51, logrando que un 70% de los estudiantes obtengan el grado de certificación proporcionado por el Instituto de Desarrollo de Sistemas Empotrados en Microcontroladores de Taiwan (TEMI, *Taiwan Embedded Microcontroller Development Institution*), reconocimiento avalado por el gobierno de Taiwan e industrias locales.

2.3.5. Aprendizaje de SE con plataforma de evaluación para múltiples MCU

En el trabajo titulado “*Learning Embedded Systems with Multi-Microcontroller Evaluation Tool*” presentado por Selvakumar et al. [Selvakumar, 2011], los autores asumen que debido a la diversidad de planes de estudio en las Instituciones educativas, una parte clave para el éxito de los procesos de aprendizaje es la disponibilidad de herramientas de desarrollo donde los estudiantes puedan practicar y mejorar sus técnicas. De esta forma, se ha diseñado un entorno de aprendizaje y desarrollo de sistemas empotrados con base en los microcontroladores Freescale HC11, MCS51 y la familia PIC16 de Microchip.

La plataforma de desarrollo puede ser expandida y reajustada por módulos interconectados mediante un bus IDE. En este sentido, los módulos desarrollados permiten a los estudiantes realizar prácticas en temas relacionados a Sistemas digitales, Interfaces analógicas, Interfaces de usuario, Comunicaciones inalámbricas, y Conservación y administración de energía.

2.3.5.1. Arquitectura del sistema

De acuerdo a [Selvakumar, 2011], las actividades de investigación de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Malasia, involucran el diseño y el desarrollo de los sistemas empotrados. Así, cada año los cursos enfocados al desarrollo de sistemas empotrados en dicha Facultad, han entregado como resultado proyectos finales sobre plataformas de desarrollo con estructuras de diseño muy similares. En este sentido, el objetivo del curso es diseñar y desarrollar una plataforma adecuada para varios tipos de microcontroladores véase Figura 2.6).

La plataforma contiene los microcontroladores MC68HC11E1 de la firma Freescale, P89C51RD2HBA de la firma Philips y PIC16F877A de la firma Microchip para sistemas empotrados, lo que la hace de bajo costo y flexible.

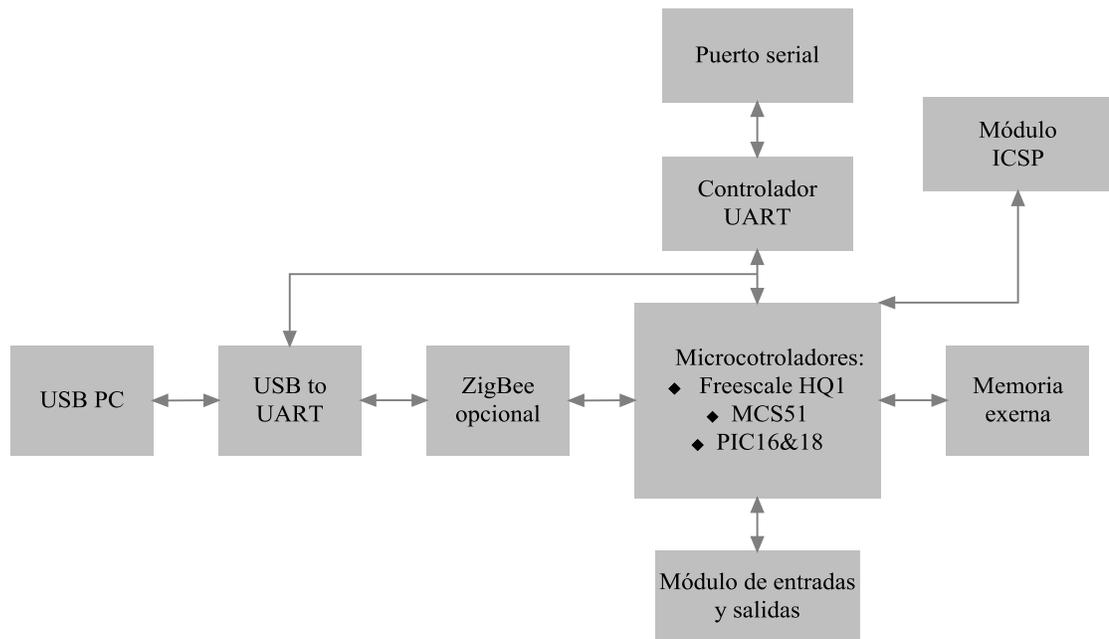


Figura 2.6. Diagrama a bloques de plataforma de desarrollo [Selvakumar, 2011].

La plataforma de desarrollo contiene un modulo de 5 VCD para la alimentación de energía, un modulo interfaz RS232, diversas entradas y salidas analógicas, varios LED, una Pantalla de Cristal Liquido para Gráficos (GLCD, *Graphic Liquid Crystal Display*), entre otros periféricos. Así mismo, todos los microcontroladores del sistema son previamente programados con un ejemplo de monitoreo de datos utilizando una interfaz ZigBee.

Se desarrollaron varias mejoras a la plataforma durante las etapas de desarrollo y pruebas, entre las cuales se encuentra el desarrollo de una interfaz por USB que es importante para trabajar con computadoras portátiles; además, se agregó un "zumbador" para generar sonidos y alarmas. Todas las ideas para mejorar a la plataforma fueron implementadas en el sistema de evaluación

final presentado en Abril del año 2011 como parte del proyecto de investigación de la Facultad de Ingeniería en Eléctrica y Electrónica de la Universidad Tecnológica de Malasia.

2.3.5.2. Evaluación

Para la evaluación de la plataforma desarrollada se desarrolló un programa monitor, el cual controla una interfaz entre la computadora y la plataforma de desarrollo. El programa fue escrito en lenguaje ensamblador, utilizado para ensamblar diferentes programas y almacenarlos en la ROM del microcontrolador seleccionado y ejecutarlos sin necesidad de desmontar los microcontroladores de la plataforma.

La Figura 2.7 muestra la conceptualización del programa monitor donde la función básica del programa es leer el dato de entrada proporcionado por el usuario desde un teclado matricial. Así, con base en este dato de entrada el programa monitor determina qué firmware se enviará a la plataforma de desarrollo para su ejecución.

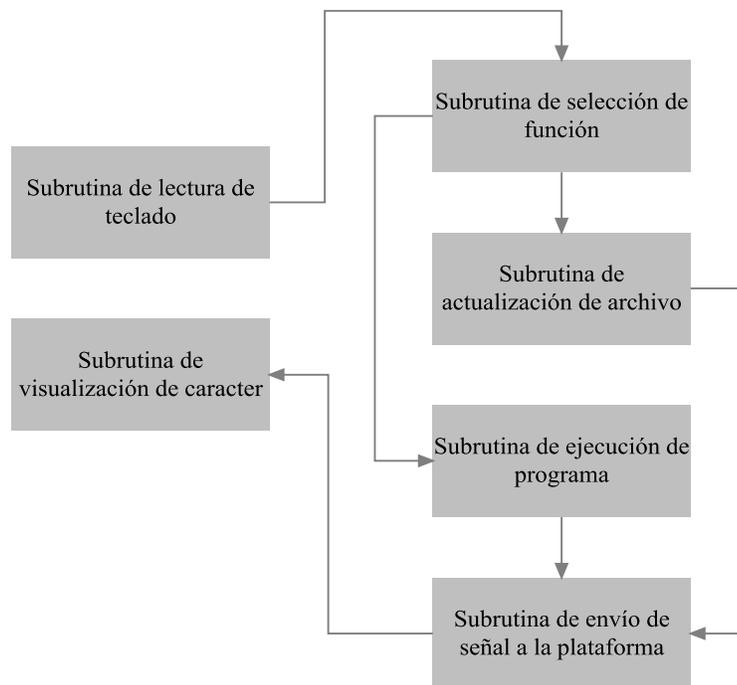


Figura 2.7. Concepto de programa monitor [Selvakumar, 2011].

De acuerdo con [Selvakumar, 2011], usualmente la ejecución de una subrutina de monitoreo requiere de un programa de comunicación como la *hyperterminal* del sistema operativo Windows. En este contexto, los autores desarrollaron un entorno de desarrollo amigable para integrar y enviar los diferentes programas a la plataforma de desarrollo.

El circuito final para la evaluación de la plataforma de desarrollo fue diseñado para realizar una interfaz por medio de un puerto serie RS232 con el dispositivo transceptor DS275; además, los puertos de entrada/salida de los microcontroladores se encuentran asociados a conectores tipo IDC para una fácil comunicación con dispositivos externos y expandir la funcionalidad de la plataforma.

También se efectuó una encuesta a los estudiantes para detectar los niveles de entendimiento del curso y obtener una retroalimentación con base al uso de la plataforma de desarrollo para multi-microcontroladores. De acuerdo al reporte final, la mayoría de los estudiantes en-

contró que la plataforma les resultó muy útil en la comprensión del conocimiento de sistemas empotrados.

2.3.5.3. Resultados de la aproximación

Después del diseño de la plataforma se realizaron diversos proyectos para probar los diferentes microcontroladores en la plataforma, y con la ayuda de módulos escritos en lenguaje C se proporcionó un alto nivel de portabilidad y de fácil adaptación entre las distintas familias de microcontroladores manejados en la plataforma. Desde este punto de vista, los autores manifiestan que se obtiene un bajo costo al manejar una sola plataforma para estudiar diversos microcontroladores y otorgar mayor flexibilidad; además, si alguno de los microcontroladores resulta dañado, el reemplazarlo por uno nuevo resulta una opción más factible que cambiar una plataforma de desarrollo completa.

Por último, este trabajo propuesto realiza una aproximación factible para desarrollar sistemas empotrados independientemente del microcontrolador seleccionado y bajo una arquitectura de especificación abierta.

2.3.6. Entorno Hardware escalable para la educación de sistemas empotrados

El trabajo realizado por [Goncalves, 2011] “*A Scalable Hardware Environment for Embedded Systems Education*”, presenta una plataforma escalable diseñada para la enseñanza de sistemas empotrados en el laboratorio.

La complejidad de la plataforma puede incrementarse para ofrecer más funcionalidad junto con el progreso y evolución del aprendizaje de los estudiantes. En este sentido, la conexión a través de un bus I2C garantiza la continua mejora de la plataforma a través de módulos de expansión.

2.3.6.1. Arquitectura del sistema

Como ya se ha mencionado, el desarrollo de un sistema empotrado se basa en un vasto y surtido conjunto de tecnologías que se encuentra en constante y rápida evolución. La plataforma propuesta busca mejorar la accesibilidad de los estudiantes a este conjunto de tecnologías dentro de un entorno educativo. De esta forma, se ha descartado el uso de plataformas de desarrollo comerciales debido a que éstas se desarrollan principalmente para observar las potencialidades y características de un producto específico, sin detallar en aspectos educativos.

La selección de la familia de microcontroladores MSP430, ha sido justificada por la cantidad de configuraciones disponibles, gran cantidad de periféricos, diferentes tamaños de memoria y popularidad del microcontrolador. Así, el desarrollo de la plataforma se realizó en cuatro módulos (véase Figura 2.8) para satisfacer las necesidades tanto de estudiantes experimentados como de principiantes. Los módulos fueron construidos a partir de los dispositivos MSP430F2112, MSP430FG4618 y MSP430F5419.

La plataforma presentada permite a los usuarios experimentar con diferentes tipos de interfaces como: Interfaz OLED, visualizadores de siete segmentos, botones, pantallas táctiles, LED convencionales, entre otros periféricos.

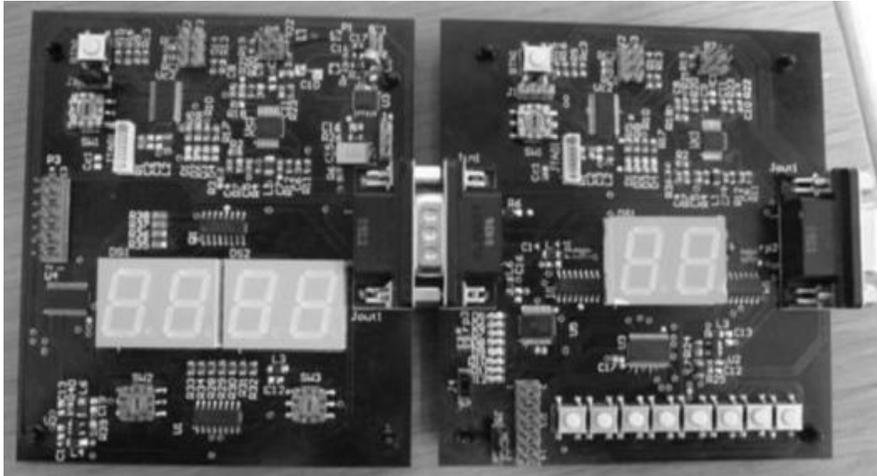


Figura 2.8. Ejemplo de configuración de la plataforma escalable [Goncalves, 2011].

Para la realización de forma estandarizada de los módulos de la plataforma, se adoptó un conjunto de especificaciones generales que permiten un acoplamiento entre los módulos de forma simple véase Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Estrategia adoptada para el diseño de la plataforma escalable [Goncalves, 2011].

Núm.	Descripción
1	Los módulos pueden intercambiar datos a través de un bus I2C
2	Un bus SPI conecta ambos microcontroladores en el mismo módulo
3	La energía consumida en cada módulo puede ser medida y visualizada en tiempo real
4	Todos los módulos tienen la misma dimensión de tamaño

Los módulos desarrollados en esta plataforma escalable son los siguientes:

- **Módulo 0 – Interfaz básica y energía:** Este módulo fue desarrollado para ayuda a los estudiantes en sus primeros pasos en la construcción de sistemas empotrados. Usualmente, estos estudiantes no cuentan con experiencia por lo que el propósito del *Módulo 0* es familiarizar al estudiante con la arquitectura del microcontrolador y su entorno de desarrollo. El *Módulo 0* se basa en el microcontrolador MSP430F2112.
- **Módulo 1- Interfaz básica:** Este módulo está enfocado a estudiantes que ya cuentan con conocimientos previos en sistemas empotrados, y al igual que el *Módulo 0* se basa en el microcontrolador MSP430F2112. Este módulo intenta desarrollar la comprensión de los estudiantes en relación a las interrupciones síncronas y asíncronas. Simultáneamente el estudiante puede explorar técnicas de programación y obtener las primeras aproximaciones relacionadas a las conexiones del microcontrolador con dispositivos externos.
- **Módulo 2 – Interfaz analógica y digital:** Los estudiantes con conocimientos más avanzados en el campo de los sistemas empotrados pueden utilizar este módulo para mejorar sus capacidades en el desarrollo de aplicaciones, donde aspectos como las interfaces de usuario, la conversión y el procesamiento digital de señales son temas relevantes. El diseño de este módulo fue montado con el microcontrolador MSP430fG4618, que cuenta con convertidores ADC y DAC, y protocolos de comuni-

cación SPI, UART, LIN, IrDA y I2C. Así mismo, el microcontrolador permite la conexión con un LCD de 160 segmentos. Sobre el módulo se encuentra un navegador de cuatro interruptores, un encoder rotacional con veinticuatro pulsadores, una bocina, un micrófono integrado, una pantalla de cristal líquido, E/S genéricas. De esta forma, el *Módulo 2* puede ser utilizado para mejorar el conocimiento relacionado a las interfaces de usuario.

- *Módulo 3 – Interfaz de comunicación:* Este es el módulo más avanzado por donde los estudiantes pueden tener acceso a un conjunto de dispositivos sofisticados que son incorporados normalmente en los sistemas empotrados. Los estudiantes pueden explorar con una pantalla OLED de 160 x 128 pixeles, tres acelerómetros, una tarjeta de memoria SD, una pantalla táctil, un puerto USB y dos interfaces PS2. El módulo también puede conectarse a los dispositivos Chipcon-RF y RF-EZ430 para otorgar conectividad inalámbrica IEEE 802.15.4.

2.3.6.2. Resultados de la aproximación

La presentación de la plataforma de desarrollo escalable permite ejecutar diversos tipos de experimentos relacionados a los sistemas empotrados, siendo una gran herramienta flexible para mejorar las técnicas de programación de microcontroladores, al mismo tiempo que se tiene acceso a las tecnologías que se utilizan actualmente en el desarrollo de los sistemas empotrados.

La incorporación del bus de expansión con base al protocolo I2C proporciona una versatilidad muy alta, permitiendo no solo el desarrollo de los módulos descritos, sino la investigación y desarrollo de nuevos módulos incorporando la posible expansión de la funcionalidad de la plataforma. El diseño modular de la plataforma escalable propuesta permite añadir mayor complejidad en función al nivel de los estudiantes, ideal para mejorar la dinámica durante un curso sobre sistemas empotrados.

2.3.7. Comparativa del estado de la investigación

Como resultado de la revisión del estado actual de la investigación es posible identificar un conjunto de características importantes, que son resumidas en la Tabla 2.6, tales como: Flexibilidad, Escalabilidad, Portabilidad, Seguimiento y Enfoque.

La característica de “Flexibilidad” se refiere a la facilidad de manipulación para cambiar la programación de los códigos implementados (tanto en Software como Hardware), ya sea en las plataformas de desarrollo destinadas a los cursos o en los proyectos finales realizados por los estudiantes. La característica “Escalable” se refiere a la capacidad de la plataforma desarrollada para ampliar su funcionamiento de forma modular y a partir del diseño de sus interfaces de comunicación serial. En cuanto a la “Portabilidad”, es la característica para soportar diversas familias de microcontroladores en una misma plataforma de desarrollo. La característica de “Seguimiento” se relaciona con la continuidad que se le ha dado a las plataformas y/o proyectos finales en los planes de estudios otorgados por las diferentes universidades donde se implementaron las herramientas. Por último, la característica de “Enfoque” hace referencia al tipo de orientación que se les dio a las herramientas y/o proyectos finales dentro de los cursos relacionados a los sistemas empotrados y comunicaciones inalámbricas.

Tabla 2.6. Características de los artefactos relacionados con el estado de la investigación.

Ítem.	Flexibilidad	Escalabilidad	Portabilidad	Seguimiento	Enfoque
[Cassara, 2006]	x	x	x	√	Práctico/Colaborativo
[Chenard, 2008]	√	√	x	√	Práctico/Colaborativo
[Chin-Ming, 2009]	x	x	x	√	Práctico/Individual
[Güzelgöz, 2010]	x	x	x	√	Práctico/Individual
[Selvakumar, 2011]	√	√	√	x	Práctico/Colaborativo
[Goncalves, 2011]	√	√	x	x	Práctico/Individual

A partir de análisis se han considerado algunas observaciones respecto al diseño de los sistemas empotrados basados en microcontroladores y aplicados en el proceso de aprendizaje en el área de las comunicaciones inalámbricas, que permiten identificar que una de las aproximaciones más relevantes para el entrenamiento de sistemas empotrados móviles es la de [Chenard, 2008].

Chenard et al. implementó una metodología específica aplicada al diseño de sistema empotrados y móviles, que se orienta a la aplicación de las tecnologías de la Ingeniería de Software, motivando así la obtención de diseños formales de UML. De esta forma los modelos obtenidos se utilizaron tanto para el diseño de las interfaces de usuario tanto en Hardware como en Software, y se aplicaron al diseño modular de la programación del código del microcontrolador. En este sentido, nuestra propuesta difiere de la de Chenard et al. en el enfoque de aprendizaje utilizado y en la metodología asociada al desarrollo de los sistemas empotrados; ya que, el presente trabajo de tesis propone el uso del enfoque constructorista para el entrenamiento sobre el diseño de los sistemas empotrados y su aplicación en tecnologías inalámbricas, además de que se propone el empleo de la metodología SPIES para el diseño e implementación del conjunto de sistemas empotrados. Lo anterior es explicado a detalle en el Capítulo 4 de la presente tesis.

3. Tecnologías Inalámbricas de Corto Alcance

Uno de los principales problemas al momento de diseñar un sistema empotrado portátil, es elegir adecuadamente el estándar inalámbrico. Cada uno de estos protocolos se han optimizado para realizar aplicaciones específicas; sin embargo, las tecnologías inalámbricas ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi pueden hacer frente a muchas aplicaciones similares (p.ej., el monitoreo de sensores inalámbricos, control de dispositivos electromecánicos, etc.).

Los protocolos o estándares inalámbricos cuentan con diversos principios para establecer una red inalámbrica. De acuerdo a [Hann, 2010], entre los parámetros a considerar en la elección de un estándar inalámbrico se encuentran:

- *Modelo de conexión y topología*: La manera en que los dispositivos se descubren mutuamente para establecer y mantener los enlaces, así como las diversas formas de configuración para establecer una red inalámbrica.
- *Latencia, alcance y rendimiento*: La transmisión inalámbrica de datos puede presentar cuellos de botella; ya que los datos transmitidos de un punto a otro no llegan de forma inmediata, ocasionando retrasos en la entrega de los datos.
- *Seguridad*: En muchas aplicaciones inalámbricas es necesario certificar la seguridad del sistema; así, un estándar inalámbrico debe garantizar que nadie pueda escuchar o capturar la información que se está transmitiendo. En este sentido, Bluetooth y Wi-Fi han tenido que evolucionar hacia esquemas de seguridad más complejos con base en los constantes ataques sufridos. Así, otras normas Como ZigBee han recibido menos atención de la comunidad, siendo necesario volver a evaluar sus implementaciones en cuestión de seguridad.

La Figura 3.1 muestra la arquitectura principal de los estándares inalámbricos que se componen básicamente de: La Capa Física de Radiofrecuencia, la Capa de Banda Base, la Capa de Controlador del Huésped, la Capa de Enlace, la Capa de Encapsulamiento y la Capa de Aplicación y de Perfiles de los protocolos.

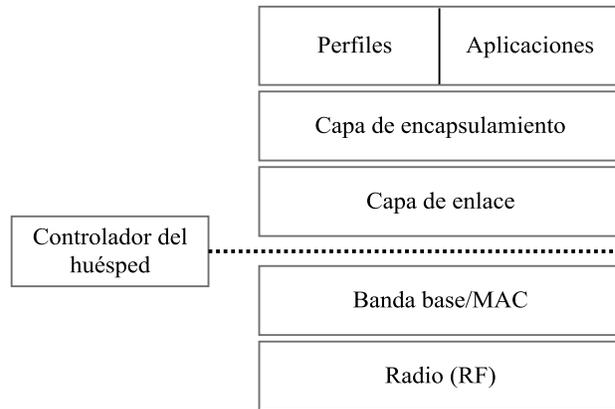


Figura 3.1. Arquitectura general de los protocolos inalámbricos [Hunn, 2010].

La Capa de Radiofrecuencia se encarga del transporte físico, donde la mayoría de las tecnologías inalámbricas de corto alcance utilizan la banda libre de operación ISM. De esta forma los radios deben ajustarse a ciertos requerimientos especiales respetando las diferentes entidades regulatorias, dependiendo del país en uso⁷.

De acuerdo a [Hunn, 2010], el rango de alcance del radio en uso es una de las primeras características para el diseño de un sistema empotrado basado en tecnologías inalámbricas; no obstante, para obtener el alcance real de una aplicación específica, no existe una definición formal acerca de los límites en los que se detiene la transmisión.

Mientras un dispositivo transmisor y un dispositivo receptor se encuentren más alejados, la fuerza de la señal que llega al dispositivo receptor disminuirá; además tan pronto como un radio esté operando, la señal se verá afectada por diversos factores de interferencia (p. ej., ruido, refracción, absorción, etc.), reflejados en el desvanecimiento de la señal y reduciendo su alcance⁸.

Dentro de las características que afectan a la transmisión de datos se encuentran la potencia de salida y la sensibilidad de recepción [Gratton, 2007]. A modo de ejemplo, la potencia de transmisión se refiere a qué tan fuerte puede “gritar” un dispositivo, mientras que la sensibilidad de recepción es lo bien que puede “escuchar” este dispositivo para poder mantener una conversación.

La potencia de transmisión se expresa comúnmente en dBm, que es la potencia medida en comparación con una referencia de 1 mW. Mientras que los valores típicos para la sensibilidad de recepción están en el rango de 110 dBm a 70 dBm (véase Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Valores de transmisión y sensibilidad de recepción [Hunn, 2010].

Potencia de transmisión(mW)	dBm	Señal mínima detectada (pW)	dBm
0.1	-10	0.01	-110
1	0	0.1	-100
4	6	1	-90

⁷ En algunos países se limita el uso de los estándares para determinadas aplicaciones o lugares; ya que, el radio puede afectar el rendimiento de algunos aparatos y afectar a personas con dispositivos electrónicos médicos.

⁸ Las hojas de datos de los diversos productos inalámbricos hacen referencia a un rango teórico conocido como “espacio libre” (*free-space*) o rango de “campo abierto” (*open-field*), muchas veces promovidos por los miembros de los estándares con fines mercadotécnicos.

10	10	10	-80
100	20	100	-70
1000 (1 W)	30		

La Banda Base se encarga de ensamblar los paquetes para su transmisión, controlar el acceso al medio indicando al radio cómo y cuándo enviar los datos a través del aire; además, la Banda Base establece las secuencias de los saltos para los estándares que utilizan la técnica de saltos en frecuencia, o fija los canales de radio a utilizar entre los dispositivos que empleen la técnica de secuenciación directa. Así, la Banda Base es responsable de la gestión y mantenimiento de los enlaces entre los dispositivos inalámbricos. El control de los canales de radio se considera como primera capa de seguridad en una conexión [Hunn, 2010]. En este sentido, la seguridad se relaciona con el alcance y colocación del dispositivo transmisor con respecto al dispositivo receptor en una interfaz aérea, permitiendo mantenerla sin necesidad de que un microprocesador la establezca mediante Software.

La mayoría de las normas inalámbricas definen por encima de la Banda Base, la capa denominada Capa de Interoperabilidad o de Controlador del Huésped para gestionar el radio y la misma Banda Base, proporcionando una interfaz física (p.ej., USB, RS-232, etc.).

Las capas altas de las pilas de protocolos inalámbricos proporcionan un enlace entre la aplicación destinada y la conexión inalámbrica, y tienen la función principal de proporcionar interoperabilidad entre los diferentes fabricantes de dispositivos inalámbricos. Así, se añaden los perfiles para asegurar un nivel de interoperabilidad entre aplicaciones, definiendo normas al fabricante sobre cómo usar el estándar inalámbrico en el desarrollo de una aplicación específica [Hunn, 2010].

En cuanto a la cuestión de seguridad, las tecnologías inalámbricas ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi realizan los siguientes procedimientos de seguridad:

- *Autorización*: La autorización es el proceso de encontrar otros dispositivos que desean establecer una conexión. Este proceso inicia con el descubrimiento, donde un dispositivo anuncia su presencia directamente o responde a un procedimiento de sondeo.
- *Autenticación*: Una vez que los dispositivos han autorizado el establecimiento de la conexión, éstos deben iniciar el proceso de autenticación. Este procedimiento permite probar su identidad mediante el intercambio de claves de seguridad para establecer la conexión entre los dispositivos.
- *Encriptación*: La encriptación de los datos se utiliza para protegerlos de dispositivos no autorizados, siendo únicamente legibles para aquellos dispositivos que hayan cubierto previamente los procesos de autorización y autenticación en el establecimiento de una conexión.

A continuación una breve revisión de las tecnologías inalámbricas de corto alcance: ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi.

3.1. IEEE 802.15.4/ZigBee

El estándar IEEE 802.15.4 y la especificación ZigBee han sido considerados como sinónimos, debido en gran parte a campañas de mercadotecnia llevadas a cabo por el grupo de alianza ZigBee [URL-3]. La especificación IEEE 802.15.4 define la capa PHY y la capa MAC, ZigBee define una pila de protocolos de alto nivel.

La especificación ZigBee define un conjunto de normas para proporcionar transmisiones de datos con bajo consumo de potencia y tiempo de duración prolongado dentro de una LR-WPAN [URL-3]. Por lo que, el estándar ZigBee define solo la Capa de Aplicación y la Capa de Seguridad del protocolo, y ha adoptado las capas PHY y MAC del estándar IEEE 802.15.4 como parte del protocolo de red ZigBee (véase Figura 3.2). Por lo tanto, cualquier dispositivo compatible con ZigBee lo es también para el protocolo IEEE 802.15.4; pero no inversamente.

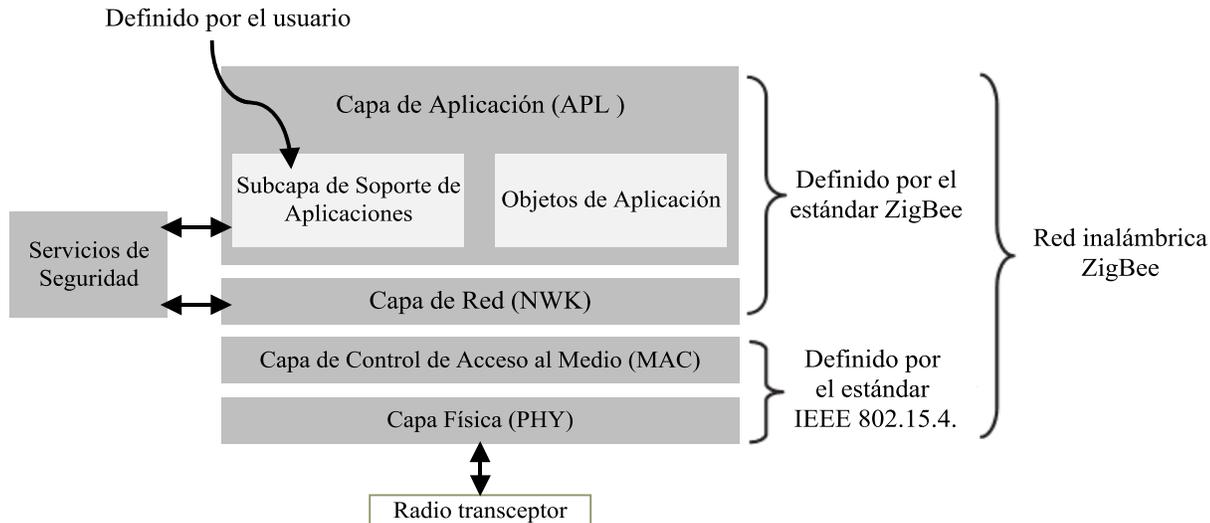


Figura 3.2. Arquitectura de protocolos ZigBee [Farahani, 2008].

El grupo de trabajo IEEE 802.15.4 fue formado con el propósito de desarrollar una capa de radio y acceso al medio que cumpliera los requerimientos de bajo costo y bajo consumo de energía, para ser utilizada por una amplia gama de capas altas de protocolos. La Tabla 3.2 y la Tabla 3.3 listan el historial de liberaciones para las especificaciones IEEE 802.15.4 y ZigBee respectivamente.

Tabla 3.2. Historial de liberaciones del estandar IEEE 802.15.4 [Farahani, 2008].

Versión	Principales características
802.15.4-2003	Liberación inicial, con frecuencia de operación a 868 MHz ó 815 MHz.
802.15.4-2006	Primera versión publicada.
802.15.4a	Corrección de errores.

Tabla 3.3. Historial de liberaciones de la especificación ZigBee [Farahani, 2008].

Versión	Principales características
ZigBee 2004	Liberación inicial, también conocida como ZigBee 1.0.
ZigBee 2006	Liberación Septiembre 2006 introducción del concepto librería <i>cluster</i> .
ZigBee 2007	Liberación Octubre 2008. Contiene dos clases de perfiles.
ZigBee PRO	ZigBee PRO es el nuevo perfil liberado en 2007 que incluye medidas de seguridad adicionales.
RF4CE versión 1.0	Estándar liberado por la alianza ZigBee en 2009 para control de dispositivos de forma remota.

El estándar IEEE 802.15.4 fue desarrollado independientemente del estándar ZigBee, por lo que es posible construir aplicaciones de redes basadas en tecnologías inalámbricas de corto alcance basadas, por ejemplo, solamente en el protocolo IEEE 802.15.4 sin implementar las capas de la especificación ZigBee. Así, la decisión de implementar el estándar ZigBee o solo las capas PHY o MAC depende de la aplicación que destine el desarrollador. Una de las principales ventajas de desarrollar aplicaciones personalizadas basadas en la especificación IEEE 802.15.4 es el bajo costo en cuanto a requerimientos de memoria.

El estándar IEEE 802.15.4 tiene una banda de uso obligatoria a 2.4 GHz y dos bandas de usos opcionales 868/915 MHz. Las bandas de frecuencias a 868 MHz y 915 MHz presentan ventajas en cuanto a un bajo consumo de energía y rango de alcance; aunque, éstas no son aceptadas a nivel global [Farahani, 2008]. En particular, las limitaciones de un simple canal en el continente Europeo es muy poco atractivo para los fabricantes; por lo tanto, la mayoría de los productos comerciales utilizan la opción a 2.4 GHz, donde se utiliza la técnica DSSS y con una velocidad de transferencia de datos a 250 Kbps. La velocidad de transferencia en la especificación IEEE 802.15.4 es normalmente irrelevante; ya que, los radios están optimizados para transmitir ocasionalmente tramas de bits con baja latencia.

Las aplicaciones que necesiten transmitir cantidades muy grandes de datos típicamente requieren de fuentes de alimentación de energía fijas o baterías recargables [Farahani, 2008].

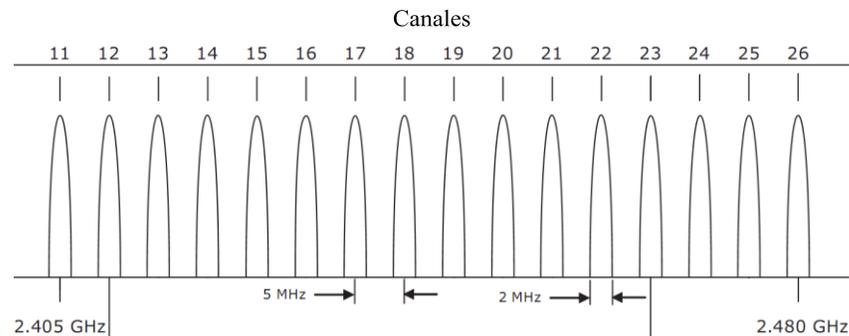


Figura 3.3. Uso del espectro por la especificación IEEE 802.15.4 [Hunn, 2010].

Los radios DSSS operan a una frecuencia fija, particularmente en la banda de 2.4 GHz, a través de 16 canales enumerados del 11 al 26; estos canales abarcan el rango en el espectro de 2.405 GHz hasta 2.480 GHz respectivamente, espaciados cada 5 MHz (véase Figura 3.3). Los canales son enumerados a partir del número 11 al 26 (de la frecuencia 2.405 GHz a 2.480 GHz, respectivamente) [Farahani, 2008].

Una de las principales desventajas del estándar es trabajar en una frecuencia fija, ya que es posible que el radio se vuelva muy susceptible a interferencias, especialmente las ocasionadas por transmisores cerca del radio de cobertura operando en el mismo canal (p. ej., puntos de acceso 802.11). De esta manera, el estándar IEEE 802.15.4 proporciona a las capas altas del protocolo herramientas para verificar qué frecuencias no se encuentran en uso.

La especificación IEEE 802.15.4 define dos tipos de dispositivos dentro de una red: Un Dispositivo de Función Completa (FFD, *Full-Function Device*) y un Dispositivo de Funciones Reducidas (RFD, *Reduced Function Device*)⁹ [URL-3]. Un RFD es un dispositivo final destinado

⁹ Los términos FFD y RFD, fueron inicialmente utilizados por ZigBee, pero las versiones más recientes utilizan descripciones más explícitas como Coordinador ZigBee, Encaminador (*Router*) ZigBee y Punto Final ZigBee.

a ser un aparato de monitoreo de datos, un dispositivo intercambiador de luz, etc. Un RFD sólo puede comunicarse con un FFD con la principal ventaja de que puede permanecer por largos periodos en estado de bajo consumo; debido a que no retransmite mensajes de la red.

Por otro lado, los FFD pueden actuar en una red como *retransmisores* o *encaminadores* y ser capaces de establecer los caminos que seguirán los paquetes de datos dentro de una red; aunque de igual manera los FFD pueden operar como dispositivos finales (RFD). Un perfil especial de FFD es el de Coordinador PAN; que además de las funciones de un FFD estándar, es el dispositivo responsable de configurar y administrar la red.

En la actualidad existen diversos debates acerca de la interferencia causada entre los estándares IEEE 802.15.4 y IEEE 802.11a/b/g/n, con análisis contradictorios sobre si existe o no un problema [BGR, 2007]; sin embargo y en el peor de los casos, si un nodo IEEE 802.14.5/ZigBee con un canal fijo asignado se encuentra situado junto a un punto de acceso IEEE 802.11a/b/g/n 802.11, operando en el mismo canal de radio, entonces es probable que existan complicaciones de interferencia [Farahani, 2008].

3.1.1. Topología IEEE 802.15.4

Existen dos tipos de topologías definidas para el protocolo IEEE 802.15.4: En estrella (*star*) y punto a punto (*peer-to-peer*). En la topología en estrella (véase Figura 3.4), un FFD programado como Coordinador PAN establece su red a través de un identificador único y se encuentra directamente conectado a diferentes nodos FFD o RFD. De la misma manera, todos los nodos FFD o RFD pueden conversar con el nodo Coordinador PAN; sin embargo, los nodos FFD o RFD no pueden hablarse de forma directa (inclusive si los dos nodos son FFD) [Farahani, 2008].

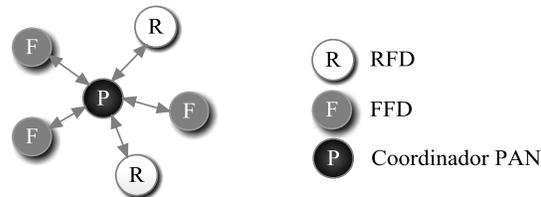


Figura 3.4. Topología de red en estrella IEEE 802.15.4 [URL-3].

La Figura 3.5 muestra el mismo arreglo de nodos, pero en este caso el Coordinador PAN ha configurado la red con una topología de punto a punto. De esta forma, todas las conexiones directas previas entre los nodos y el Coordinador PAN permanecen; y además se han aumentado las conexiones (marcadas con p2p) que permiten que los nodos FFD puedan comunicarse entre sí y de forma directa. Así, en una red punto a punto todos los dispositivos que participan en la retransmisión de mensajes son FFD.

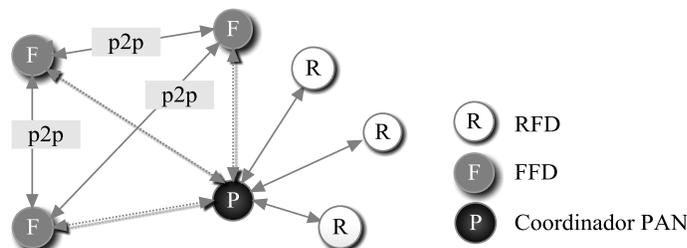


Figura 3.5. Topología punto a punto [Farahani, 2008].

Una red punto a punto puede tomar varias formas definiendo las restricciones sobre los dispositivos a comunicarse. Así, una red punto a punto puede tomar la forma en árbol (véase Figura 3.6), en la cual el Coordinador PAN establece la red inicial. Los FFD forman las ramas para retransmitir mensajes, y los RFD actúan como las hojas del árbol y no participan en el encaminamiento de los mensajes. Los FFD pueden expandir la red a través de la red inicial establecida por el Coordinador PAN. La Figura 3.6 muestra cómo la retransmisión de un mensaje puede ayudar a extender el rango de la red, inclusive a través de barreras. Por ejemplo, un dispositivo A necesita enviar un mensaje a un dispositivo B, pero existe una barrera entre estos que dificulta la propagación de la señal. Así, la topología en árbol ayuda llevar el mensaje enviado por el dispositivo A al dispositivo B. Lo anterior es a veces referido como multisalto (*multihopping*), debido a que el mensaje salta de un nodo a otro hasta llegar a su destino; sin embargo, la formación de un amplio rango de cobertura con una implementación en árbol resulta en una alta latencia entre dispositivos al compartir posibles mensajes [Farahani, 2008].

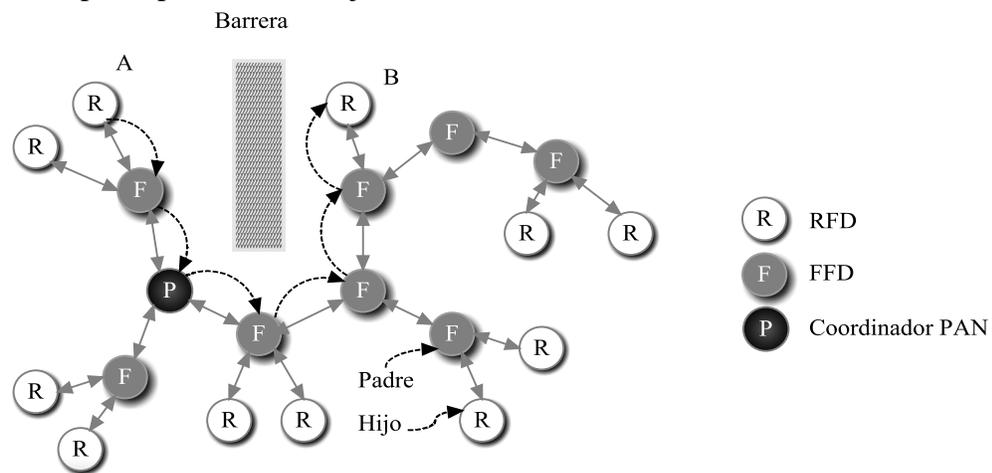


Figura 3.6. Topología en árbol [Farahani, 2008].

3.1.2. Fundamentos IEEE 802.15.4/ ZigBee

3.1.2.1. Mecanismo CSMA-CA

El estándar IEEE 802.15.4 implementa un método para permitir a múltiples dispositivos utilizar el mismo canal de frecuencia como medio de comunicación. Este mecanismo para acceder al canal es llamado Acceso Múltiple de Detección de Portadora con Prevención de Colisiones (CSMA-CA, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) [Labiód, 2007]. De esta forma si un dispositivo espera transmitir datos, primero debe realizar el proceso llamado Evaluación de Canal Despejado (CCA, *Clear Channel Assessment*), y asegurarse de que el canal a utilizar no está ocupado por ningún otro dispositivo. El mecanismo CSMA-CA establece si un canal se encuentra despejado o no con base en la medición de la energía del espectro del canal de frecuencia de interés o detectando el tipo de señal que se está ocupando en el canal.

Cuando un dispositivo planea transmitir una señal, éste primero entra al modo de recepción para detectar y estimar el nivel de energía en el canal deseado. Esta tarea es conocida como Detección de Energía (ED, *Energy Detection*), y en ésta el dispositivo receptor no intenta descifrar la señal, solo estimar el nivel de energía recibido [Farahani, 2008].

Una forma alternativa para declarar si un canal de frecuencia se encuentra despejado o no, es con el mecanismo Detección de Portadora (CS, *Carrier Sense*), que determina el tipo de señal

que ocupa el canal; si la señal pertenece al protocolo IEEE 802.15.4, entonces se considera que el canal se encuentra ocupado (incluso si la señal de energía recibida es baja). Por lo tanto, si el canal no está despejado el dispositivo espera un tiempo aleatorio e intenta una nueva evaluación. El tiempo de espera y el reintento del proceso de evaluación son repetidos hasta que el canal se reconozca como despejado o el dispositivo alcance un número máximo de intentos definidos por el usuario [Farahani, 2008].

3.1.2.2. *Red beacon y red nonbeacon*

Existen dos métodos para acceder al canal: contención base y libre de contención. En el método de contención base, todos los dispositivos que esperan transmitir en la misma frecuencia de canal utilizan el mecanismo CSMA-CA; y empieza a transmitir el primer dispositivo que encuentre un canal disponible. En el método libre de contención, el Coordinador PAN dedica una ranura de tiempo específica a un dispositivo en particular, llamada Ranura de Tiempo Garantizada (GTS, *Guaranteed Time Slot*) [Farahani, 2008]. Para proporcionar una GTS, el Coordinador PAN necesita asegurarse que todos los dispositivos en la red estén sincronizados a través del mensaje llamado “*beacon*”. El mensaje *beacon* contiene un formato específico que se utiliza para sincronizar los relojes de todos los nodos en la red. Así, un Coordinador PAN tiene la opción de transmitir señales *beacon* para sincronizar los dispositivos adjuntados a él (*beacon-enabled PAN*). Cabe mencionar que la desventaja de utilizar mensajes *beacon* en una red, es que todos los dispositivos deben encontrarse en modo de bajo consumo y despertar de forma normal al recibir un mensaje *beacon*, sincronizar sus respectivos relojes y regresar al estado de bajo consumo. Esto significa que los dispositivos no pueden llevar a cabo otras tareas que no sean de sincronización mientras despiertan y estén activos; por lo tanto, la vida útil de sus baterías es menor.

En una red *nonbeacon* no se utilizan GTS y por ende no hay periodos de contención libre debido a que los dispositivos no pueden sincronizarse unos con otros. Sin embargo, la vida útil de las baterías mejora debido a que los dispositivos que se encuentran en modo de bajo consumo despiertan en menos ocasiones.

3.1.2.3. *Transferencia de datos*

Existen tres tipos de métodos para transferir datos en IEEE 802.15.4¹⁰ [Farahani, 2008]:

- *Transferencia de datos de un dispositivo a un Coordinador PAN*: En una red *beacon*, cuando un dispositivo decide transmitirle datos a un Coordinador PAN, los dispositivos sincronizan sus relojes sobre una base y transmiten los datos al Coordinador PAN a través del método CSMA-CA. El Coordinador PAN reconoce la recepción de los datos, si así lo solicitara el dispositivo que transmitió los datos (véase Figura 3.7a). La Figura 3.7b muestra el diagrama de secuencia para la transferencia de datos en una red *nonbeacon*. En este escenario, el dispositivo transmite los datos tan pronto el canal esté despejado; y de la misma manera, la transmisión del mensaje de reconocimiento por el Coordinador PAN es opcional.
- *Transferencia de datos de un Coordinador PAN a un dispositivo*: La Figura 3.8a ilustra los pasos para la transmisión de un Coordinador PAN a un dispositivo en una red *beacon*. Si el Coordinador PAN necesita transmitir datos a un dispositivo en particu-

¹⁰ Los tres métodos pueden ser utilizados en una topología punto a punto; sin embargo, en una topología en estrella solo se permiten los dos primeros.

lar, éste indica en su mensaje *beacon* que un mensaje de datos está pendiente para el dispositivo. El dispositivo entonces envía una solicitud de mensaje al Coordinador de la PAN para indicar que está activo y listo para recibir el mensaje. El Coordinador PAN reconoce la solicitud de recepción de datos y envía los datos al dispositivo. Por último, el reconocimiento de recepción de los datos por el dispositivo final es opcional.

En una red *nonbeacon* (véase Figura 3.8b), el Coordinador de la PAN necesita esperar por la solicitud de datos del dispositivo. Si el dispositivo solicita datos y no hay datos pendientes para el dispositivo, el Coordinador de la PAN envía un mensaje de reconocimiento con un formato específico que le indica si hay o no mensajes pendientes para el dispositivo.

- *Transferencia de datos punto a punto*: En una topología punto a punto, cada dispositivo puede comunicarse directamente con cualquier otro dispositivo.

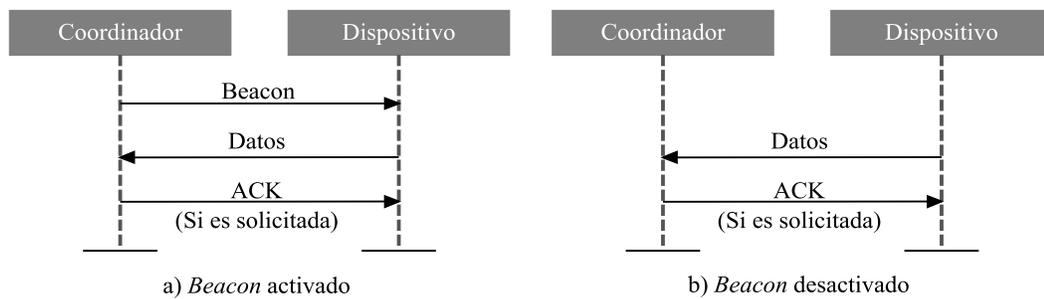


Figura 3.7. Transferencia de datos de un dispositivo a un Coordinador PAN [Farahani, 2008].

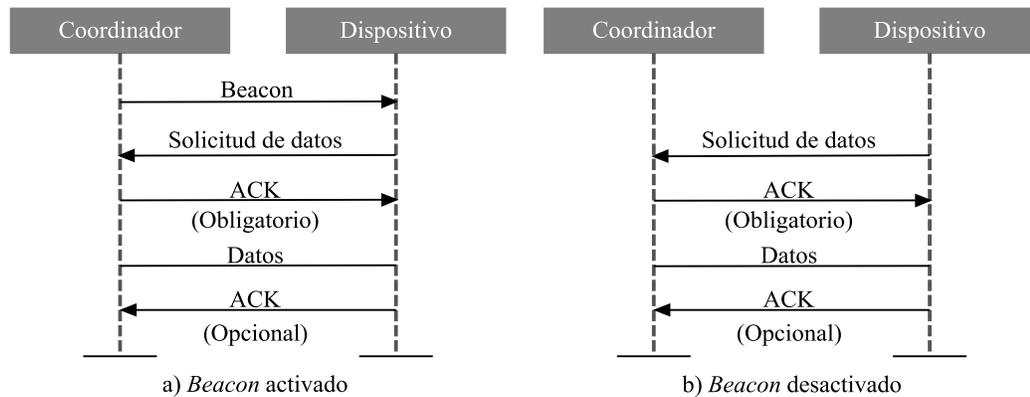


Figura 3.8. Transferencia de datos de un Coordinador PAN a dispositivo [Farahani, 2008].

3.1.2.4. Verificación de datos

El receptor necesita un mecanismo para verificar si los paquetes recibidos han recaído en un error. Así, el estándar IEEE 802.15.4 utiliza el Secuencia de Verificador de Trama (FCS, *Frame Check Sequence*) basado en el mecanismo de redundancia cíclica para la detección de posibles errores en los paquetes de datos [Gratton, 2007].

3.1.2.5. Direccionamiento

Cada dispositivo en una red necesita una dirección única. De esta forma el estándar IEEE 802.15.4 utiliza dos tipos de métodos de direccionamiento: Direccionamiento corto de 16 bits y direccionamiento extendido de 64 bits. Asimismo, una red puede elegir qué tipo de direcciona-

miento utilizar. Por ejemplo, el direccionamiento corto permite la comunicación con una red de una forma más simple y a través de mensajes de longitud corta; además junto con el identificador único de la PAN, resulta de mucha utilidad entre comunicaciones de redes independientes [Farahani, 2008]. La disponibilidad de un direccionamiento de 64 bits significa que, el máximo número de dispositivos en una red es de 2^{64} ; por lo que teóricamente en una red IEEE 802.15.4 no hay límite de dispositivos que puedan unirse a la red.

3.1.2.6. Asociación y disociación

Asociación (*association*) y disociación (*disassociation*) son servicios propuestos por el estándar IEEE 802.15.4, utilizados para permitir a los dispositivos unirse o dejar una red. Por ejemplo, cuando un dispositivo espera unirse a una PAN, este envía una solicitud de asociación al nodo Coordinador. El nodo Coordinador puede aceptar o rechazar esta solicitud. De la misma forma, un dispositivo utiliza la disociación para notificar al nodo Coordinador su intento por dejar la red [Farahani, 2008].

3.1.2.7. Enlazamiento

La tarea de enlazamiento (*binding*) crea un enlace lógico entre las aplicaciones que están relacionadas. Por ejemplo, un dispositivo ZigBee conectado a una lámpara controlada por otro dispositivo ZigBee a través de un interruptor, la información con respecto a estos enlaces lógicos se almacena en una tabla de enlazamiento (*binding table*). En el estándar ZigBee, la capa de aplicación proporciona el soporte para la creación y mantenimiento de tablas de enlazamiento. Así, los dispositivos lógicamente relacionados en una tabla de enlazamiento son llamados dispositivos unidos (*bound devices*), modelo similar en el estándar inalámbrico Bluetooth [Farahani, 2008].

3.1.2.8. Autoformación

Una red ZigBee se considera una red de autoformación (*self-forming*), ya que no se necesita de supervisión para establecerla; tan pronto los dispositivos se encuentren activos, se comienza a transmitir información. Por ejemplo en una red en malla, el primer dispositivo FFD que empieza la comunicación puede establecerse como un nodo Coordinador PAN, así los otros dispositivos que esperan unirse a la red le envían una solicitud de asociación.

ZigBee es considerada también una red inalámbrica descentralizada (*ad hoc*), donde los nodos inalámbricos están situados para enviar información a otros dispositivos. Así, la ruta que lleva un mensaje desde el nodo inicial al nodo destino se selecciona dinámicamente con base en la conectividad de la red

Para una investigación a detalle sobre las funciones de la capa de red para IEEE 802.15.4, se recomienda al lector la lectura [Farahani, 2008].

3.1.2.9. Seguridad en ZigBee

En una red inalámbrica ZigBee, los mensajes transmitidos pueden ser recibidos fácilmente por otro dispositivo ZigBee dentro del rango de cobertura, incluyendo a dispositivos intrusos. Dado lo anterior, existen dos tipos de medidas para evitar intrusiones. La primera es mediante la encriptación de los mensajes entre los dispositivos. Así, mediante un algoritmo de encriptación los mensajes pueden utilizar una cadena conocida como clave de seguridad y solo el dispositivo receptor puede conocer y descifrar el mensaje original (proceso conocido como confidencialidad de los datos). En este sentido, el protocolo IEEE 802.15.4/ZigBee soporta el uso del Estándar

Avanzado de Encriptación (AES, *Advanced Encryption Standard*) para encriptar los mensajes enviados entre dispositivo [URL-3].

La segunda medida de seguridad se utiliza cuando un dispositivo intruso modifica y reenvía uno de los mensajes (inclusive si los mensajes han sido encriptados). Por lo que, con la inclusión del MIC en cada trama saliente, se permite que el dispositivo receptor conozca si un mensaje ha sido cambiado en el transcurso de su envío (proceso conocido en ZigBee como autenticación de datos).

Para una investigación a detalle sobre las funciones de la capa de red para IEEE 802.15.4, se recomienda al lector la lectura [Farahani, 2008].

3.2. Bluetooth

La tecnología Bluetooth comenzó en 1998, cuando fue anunciada por el consorcio formado por cinco compañías: Ericsson, IBM, Intel, Nokia y Toshiba. Bluetooth se encontraba basada en el desarrollo preliminar de Ericsson, conocido como *MC-Link*, como una tecnología inalámbrica con el propósito inicial de conectar el mundo de la telefonía móvil con el de las computadoras personales, y con aspiraciones de encontrar implementaciones de bajo costo, resistencia a interferencia, de fácil uso, baja potencia, soporte de voz y una buena velocidad de transferencia de datos. A través de diferentes versiones desde su liberación inicial, Bluetooth ha madurado y se ha convertido en una de las principales tecnologías de corto alcance en la actualidad. La Tabla 3.4 lista las actualizaciones de la tecnología Bluetooth disponibles hasta el momento [BluetoothSIG, 2011].

A través de la participación de las firmas Ericsson y Nokia, Bluetooth se ha beneficiado en ser uno de los estándares inalámbricos más robustos en el mercado a 2.4 GHz; además de definir su propio radio. En este sentido, una de las claves del grupo de desarrollo Bluetooth SIG ha sido el desarrollo en seguir las reglas regulatorias alrededor del mundo; ya que la banda de los 2.4 GHz, aunque está disponible en todo el mundo, las técnicas de modulación y los límites de potencia varían entre países, lo que hace imposible enviar un producto único a nivel mundial (p. ej., en Francia la potencia de transmisión está limitada a 10 mW).

Tabla 3.4. Versiones de la especificación Bluetooth [BluetoothSIG, 2011].

Versión	Fecha	Principales características
1.0	5 de Julio de 1999	Versión preliminar
1.0a	23 de Julio de 1999	Primera versión publicada
1.0b	Diciembre de 1999	Corrección de errores
1.0b+CE	Noviembre de 2000	Tecnología de tratamiento de errores críticos añadida
1.1	Febrero de 2001	Primera versión sólida con base al crecimiento de la norma y certificada por el estándar IEEE 802.15.1
1.2	Noviembre de 2003	Incluye el método adaptativo de frecuencias AFH y la tecnología eSCO para aplicaciones mejoradas de voz
2.0	Noviembre de 2004	Incluye la tecnología para el mejoramiento de la velocidad de transferencia de datos, incrementándose a 3 Mbps
2.1	Julio de 2007	Incluye el método de emparejamiento simple para mejorar el procedimiento de seguridad y usabilidad de ésta
3.0+HS	Abril de 2009	Incluye al estándar IEEE 802.11 como un canal de alta velo-

idad de transferencia, impulsándola hasta 10 Mbps

4.0+HS

Diciembre de 2009

Incluye la especificación de Bluetooth de baja energía

A diferencia de otros estándares inalámbricos, que se basan en las especificaciones externas, el Bluetooth SIG ha elaborado normas que abarcan desde la capa de radio hasta la capa de aplicación (véase Figura 3.9).

3.2.1. Radio Bluetooth

Cuando Bluetooth surgió, ya estaba claro que la banda de 2.4 GHz iba a ser usada para una gran diversidad de aplicaciones. Para asegurar que la tecnología Bluetooth fuera robusta se decidió que utilizaría la técnica por saltos de frecuencia. Esto fue principalmente importante para un estándar que pretendía soportar la transmisión de voz en tiempo real y que no retransmitiría los paquetes en caso de error.

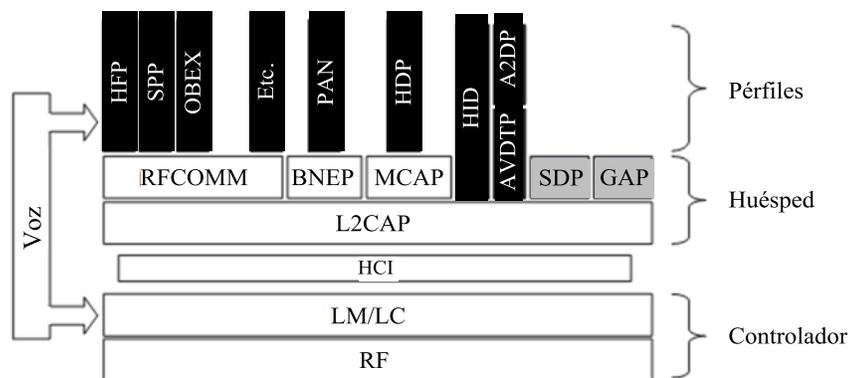


Figura 3.9. Arquitectura de protocolos Bluetooth [Farahani, 2008].

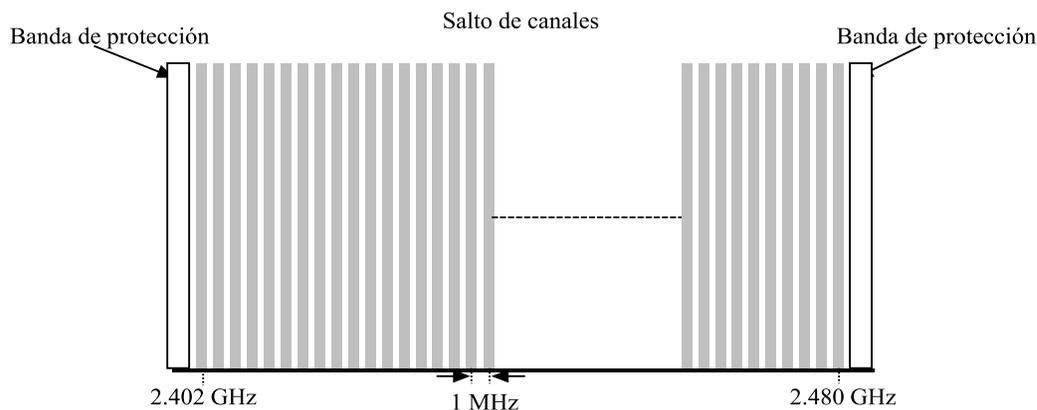


Figura 3.10. Uso del espectro de Bluetooth [Farahani, 2008].

Dentro de la banda de 2.400 GHz a 2.480 GHz, los dispositivos Bluetooth dividen el espectro en 79 canales espaciados a 1 MHz (véase Figura 3.10). El radio salta a través de los 79 canales con una frecuencia de 1600 saltos por segundo con una secuencia pseudoaleatoria preestablecida, la cual se deriva de la dirección Bluetooth del dispositivo Maestro. En la primera versión de Bluetooth, la velocidad de transferencia del radio era de 1 Mbps, lo que proporcionaba una transferencia real de datos máxima de 723 Kbps [BluetoothSIG, 2011].

Los saltos en frecuencia utilizan ranuras de tiempo de 625 μ s para controlar la comunicación entre los dispositivos Bluetooth. Dada la frecuencia de los saltos (1600 saltos por segundo),

se establecen requerimientos muy estrechos de tiempo para asegurarse de que todos los dispositivos están sincronizados entre sí.

En las versiones iniciales del estándar se utiliza la Modulación por Desplazamiento de Frecuencia Gausiana (GFSK, *Gaussian Frequency-Shift Keying*), proporcionando así una velocidad de transmisión de 723 Kbps.

Debido a que fue prevista una amplia gama de aplicaciones con base en el estándar Bluetooth, la especificación define tres clases para los radios Bluetooth con diferentes rangos y requerimientos de consumo de energía (véase Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Clases de dispositivos Bluetooth [BluetoothSIG, 2011].

Clase de dispositivo	Potencia máxima (dBm)	Potencia máxima (mW)	Control de potencia
1	20	100	Obligatorio
2	6	4	Opcional
3	0	1	Opcional

El control de potencia para los dispositivos de clase 1 es de carácter obligatorio. Una vez que dos dispositivos están conectados, se negocia y se establece el modo de consumo de energía apropiado con base en el Indicador de Intensidad de la Señal Recibida¹¹ (RSSI, *Received Signal Strength Indication*). De esta forma, si la medida RSSI cae durante una conexión, el dispositivo puede solicitar que el nivel de energía se incremente.

En la versión 2.0 de Bluetooth fue introducida la Velocidad de Transferencia de datos Mejorada (EDR, *Enhanced Data Rate*), agregando dos modos de Modulación por Cambio de Fase (PSK, *Phase-Shift Keying*): $\pi/4$ -DQPSK y 8DPSK. Los modos de modulación por cambio de fase introducidos aumentaron la velocidad de transferencia de datos a 2 Mbps y 3 Mbps, respectivamente.

Sin embargo, un radio Bluetooth no soportaba mayores velocidades de datos, por lo que en la versión 3.0 del estándar se introduce el concepto de una capa MAC alternativa, lo que permitió actuar en conjunto con otra tecnología, permitiendo así que Bluetooth realizara los procedimientos de vinculación inicial y de seguridad, y si era necesario cambiar a un radio alternativo para una mayor velocidad de transferencia. En este contexto, la versión 3.0 define un método para que Bluetooth trabaje de forma cooperativa con un radio 802.11g y proporcionar la conectividad *ad hoc* a través del aire e incrementando la velocidad de transferencia hasta 25 Mbps. Así, en la actualidad los fabricantes de circuitos integrados ofrecen la integración y combinación de los radios para las tecnologías Bluetooth y 802.11 en estas aplicaciones.

3.2.2. Topología Bluetooth

La topología básica para Bluetooth es la denominada picored (*piconet*), donde un dispositivo actúa como nodo Maestro, el cual a su vez puede administrar hasta un máximo de siete nodos Esclavo. La Figura 3.11 muestra que una picored puede estar formada por un enlace punto a punto (*point-to-point*) o por un enlace punto a multipunto (*point-to-multipoint*); además la especificación soporta el concepto de red dispersa¹² (*scatternet*), donde un dispositivo Bluetooth puede

¹¹ En muchos casos el RSSI no tiene unidades, siendo un valor que es dependiente del proveedor y normalmente se encuentra entre una medida de 1 a 10 ó de 0 a 255.

¹² Las redes dispersas raramente suelen aplicarse en la industria; debido a las restricciones en cuanto a sincronización de los relojes utilizados por los dispositivos Bluetooth participantes y su respectivo almacenamiento en memoria.

fungir como nodo Esclavo en una picored y en otro instante de tiempo puede fungir como nodo Maestro en otra picored (véase Figura 3.11).

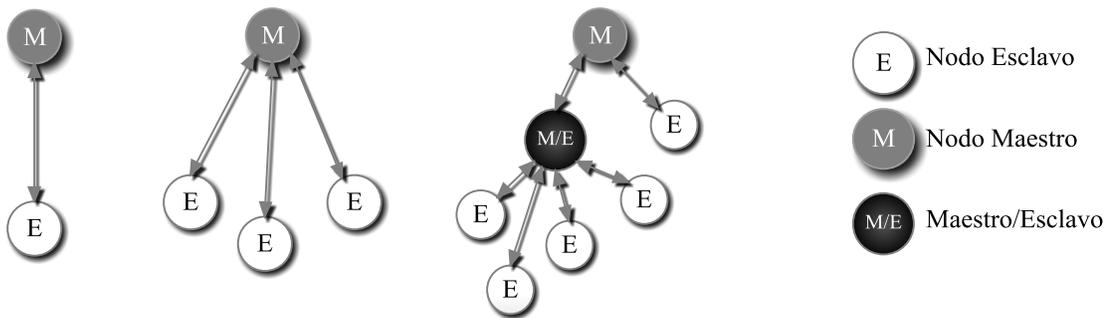


Figura 3.11. Topologías Bluetooth [BluetoothSIG, 2011].

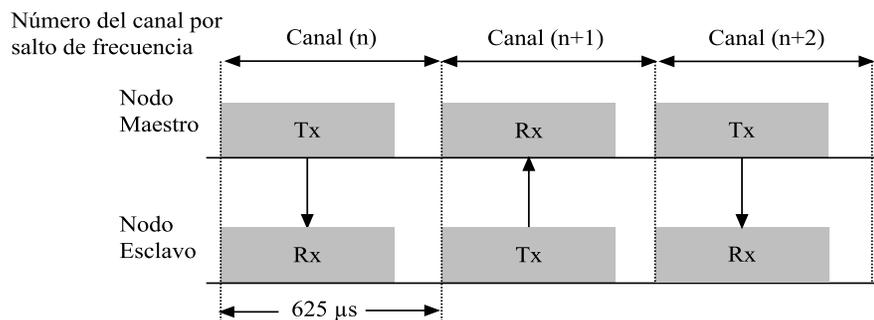


Figura 3.12. Conversación a través de los saltos [BluetoothSIG, 2011].

El número de conexiones activas en una picored se deriva de la limitación en cuanto a dispositivos Bluetooth participantes en una picored (un nodo Maestro y hasta siete nodos Esclavo), donde el nodo Maestro le asigna a cada nodo Esclavo participante una dirección de dispositivo activo formada por tres bits.

Los saltos en frecuencia dividen la transmisión en ranuras de tiempo (cada ranura equivalente a un salto). De esta forma, el esquema de conexión empieza a partir de 1600 saltos por segundo, resultando en una ranura de tiempo base de 625 μ s. En la primera ranura, el nodo Maestro envía un mensaje al nodo Esclavo y en la siguiente ranura el nodo Esclavo regresa un mensaje de reconocimiento al nodo Maestro. En ranuras posteriores de tiempo, el nodo Maestro puede seguir conversando con el mismo nodo Esclavo, o empezar una nueva conexión con otro nodo Esclavo e indicarle al nodo Esclavo anterior que entre al modo de bajo consumo de energía.

Para permitir una transmisión más eficiente de paquetes, la especificación Bluetooth permite transmisiones de tres y cinco ranuras de tiempo sin la necesidad de saltar en frecuencia (véase Figura 3.13). En un espectro saturado de dispositivos, particularmente con radios trabajando en una frecuencia fija (p. ej., Wi-Fi o ZigBee), inevitablemente habrá canales que son más propensos a interferencias. En este sentido, en la versión 1.2 de Bluetooth se introdujo el sistema de adaptación de saltos de frecuencia para mejorar el rendimiento de un enlace y ayudar a mitigar la interferencia entre canales.

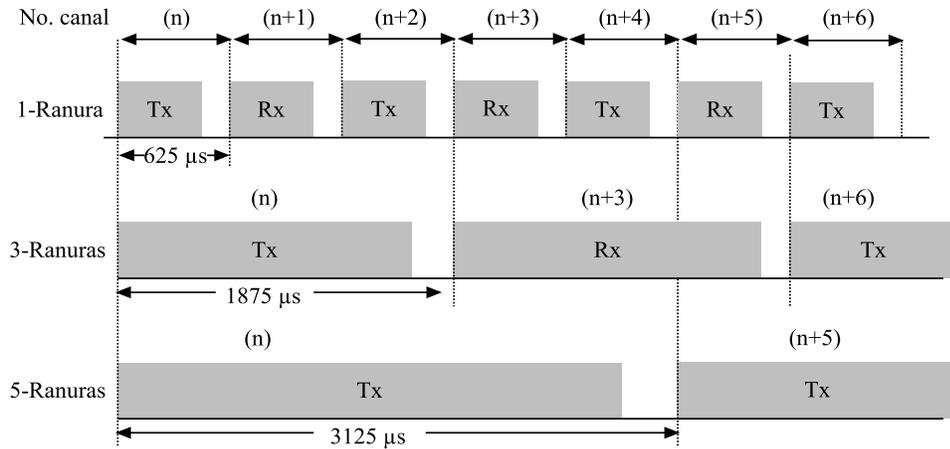


Figura 3.13. Saltos extendidos [BluetoothSIG, 2011].

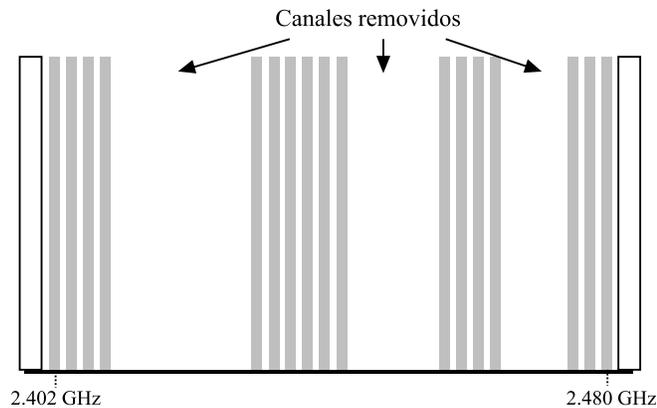


Figura 3.14. Adaptación de saltos de frecuencia [Farahani, 2008].

El AFH trabaja escaneando todos los canales en busca de actividad y modifica la secuencia de los saltos de los dispositivos Bluetooth conectados a una picored para evitar los canales en uso. De esta forma, el mecanismo AFH puede reducir el número de canales utilizados a 20 de los 79 canales originales (véase Figura 3.14).

3.2.3. Banda base

La banda base realiza los procesos de búsqueda y vinculación entre los dispositivos Bluetooth, así como también determina los roles del nodo Maestro y del nodo Esclavo. En un nodo Maestro, la banda base establece la secuencia de los saltos a utilizar entre los dispositivos Bluetooth de una picored y administra las transmisiones de datos de los nodos Esclavo. De esta forma, la banda base administra los estados de operación de un dispositivo Bluetooth. La especificación define tres estados de operación y siete subestados (véase Figura 3.15):

- *Conectado (connected)*: Un dispositivo Bluetooth se encuentra en estado conectado cuando es miembro de una picored.
- *Espera (standby)*: Se dice que un dispositivo Bluetooth se encuentra en estado de espera cuando no pertenece a ninguna picored (estado por defecto para todo dispositivo Bluetooth).

- *Estacionario (park)*: Estado de operación utilizado cuando un dispositivo no necesita participar en una picored, pero permanece sincronizado a ésta para su posterior ingreso.

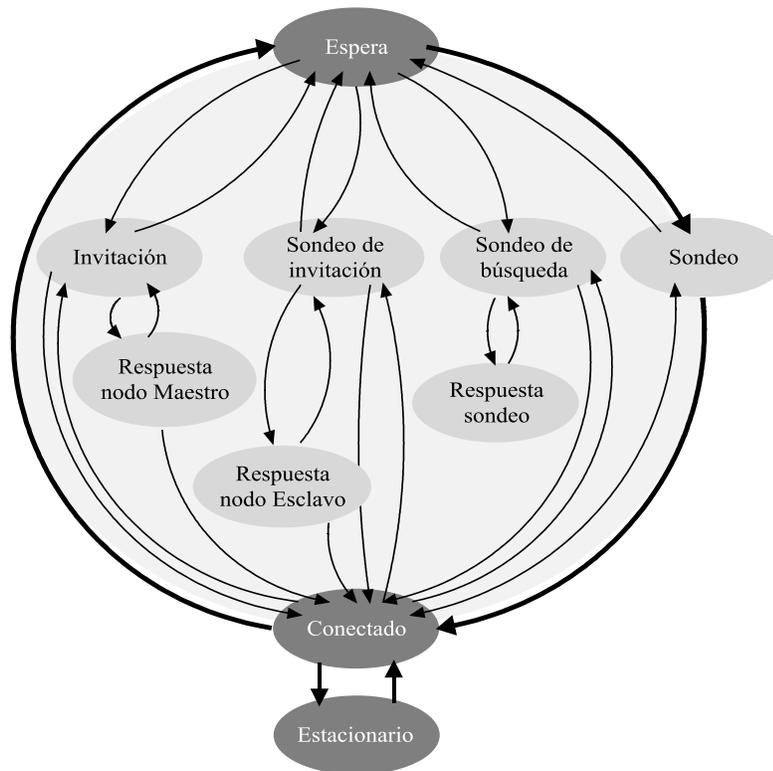


Figura 3.15. Estados y subestados de un dispositivo Bluetooth [BluetoothSIG, 2011].

Existen tres elementos principales asociados al intercambio de paquetes de banda base entre dispositivos Bluetooth:

- *Dirección del dispositivo Bluetooth (BD_ADDR, Bluetooth Device Address)*: La dirección de cada dispositivo Bluetooth es única y está formada por 48 bits (véase Figura 3.16). La BD_ADDR se divide en tres partes: Dirección Baja (LAP, *Lower Address Part*), Dirección Alta (UAP, *Upper Address Part*) y Dirección no Significativa (NAP, *NonSignificat Address Part*)¹³.
- *Reloj del dispositivo Bluetooth*: El reloj dentro de un dispositivo Bluetooth decide cuándo un dispositivo puede transmitir o cuándo escuchar, a qué frecuencia transmitir o recibir, qué tipo de paquetes se recibirán o se transmitirán. El reloj se compone de 28 bits y se incrementa cada 312.5 μ s, representado una frecuencia de operación de 3.2 KHz.



Figura 3.16. Formato de la dirección de un dispositivo Bluetooth [BluetoothSIG, 2011].

¹³ Los 8 bits de la UAP y los 16 bits de la NAP constituyen el Identificador Único de la Organización (OUI, *Organization Unique Identifier*), el cual es asignado por la autoridad regulatoria y la LAP es asignada por el SIG.



Figura 3.17. Formato general de los BB_PDU [BluetoothSIG, 2011].

- *Secuencia de salto de frecuencia:* Los dispositivos Bluetooth utilizan secuencias para comunicarse en la misma frecuencia de operación. Para ello cuentan con un Módulo Seleccionador de Frecuencias (FSM, *Frequency Selection Module*) que genera el orden de los saltos. Existen seis tipos de secuencias para los saltos, cinco tipos de secuencia para el sistema base y un tipo de secuencia AFH [BluetoothSIG, 2011].

3.2.4. Conexiones Bluetooth

Las conexiones son realizadas entre el nodo Maestro y el nodo Esclavo y se mantienen hasta que de forma deliberada un nodo decide desconectarse, o cuando el enlace se rompe (por lo general, debido a que un dispositivo queda fuera del rango de alcance). En este contexto, la especificación define cuatro canales de conexión que cubren el comportamiento de un enlace Bluetooth [BluetoothSIG, 2011]:

- *Canal básico para una picored:* Utilizado cuando un dispositivo Bluetooth salta a través de los 79 canales.
- *Canal adaptativo de la picored:* Canal utilizado por el mecanismo AFH, los canales de la picored son los únicos canales que pueden ser usados para transferir datos.
- *Canal de sondeo:* Canal donde un nodo Maestro encuentra otros dispositivos Bluetooth en modo descubrible.
- *Canal de vinculación*¹⁴: Canal donde un nodo Maestro y un nodo Esclavo realizan una conexión física.

La realización de la conexión en Bluetooth es un poco más compleja que las conexiones en tecnologías con radios fijos; debido a que en Bluetooth, los dispositivos involucrados en la conexión se encuentran saltando a través de los 79 canales con su propia secuencia, y los saltos pueden no estar sincronizados unos con otros. Por lo tanto, para encontrarse los dispositivos Bluetooth necesitan utilizar el proceso de sondeo de dispositivos. Debido a que, si un dispositivo Bluetooth se enciende por primera vez, este no sabe nada acerca de la secuencia de saltos de los otros dispositivos en el rango de cobertura. Así, cada equipo elige una secuencia aleatoria de saltos establecida a partir de los 48 bits de su propia dirección Bluetooth (BD_ADDR).

3.2.4.1. Procedimiento de sondeo

De acuerdo con [BluetoothSIG, 2011], para establecer una conexión entre dos dispositivos Bluetooth, éstos primero deben encontrarse. Para esto, un dispositivo Bluetooth debe tomar el rol de nodo Maestro y entrar al modo de sondeo utilizando el canal de sondeo. Una vez dentro del modo de sondeo, el nodo Maestro debe entrar al subestado de sondeo, para poder enviar una solicitud de búsqueda a los dispositivos Bluetooth que se encuentren dentro del rango de cobertura. Los dispositivos Bluetooth que se encuentran dentro del rango del nodo Maestro que envió la solicitud, deben encontrarse de la misma forma en el subestado de sondeo para recibir la solicitud;

¹⁴ En esta tesis las palabras “vinculación” y “vínculo”, representan a los términos anglos “*paging*” y “*page*” respectivamente.

además, estos puede estar configurados para responder o no a la solicitud de sondeo (modo visible y modo oculto, respectivamente)¹⁵.

El modo de sondeo y el subestado de sondeo, utilizan secuencias especiales de saltos para asegurarse de que dos dispositivos puedan encontrarse en la misma frecuencia y al mismo tiempo (con saltos relativamente muy cortos). De esta forma cuando un nodo Maestro comienza a transmitir la solicitud de búsqueda, lo hace en forma de paquetes que contienen un Código de Acceso al Sondeo (IAC, *Inquiry Access Code*).

Es probable que durante el procedimiento de sondeo existan colisiones causadas por la respuesta a la solicitud de sondeo de varios dispositivos Bluetooth dentro del rango de cobertura del nodo Maestro. Para evitar este tipo de colisiones, un dispositivo que recibe con éxito una solicitud de sondeo, no responde de forma inmediata sino entra en modo de espera en un periodo aleatorio, y al salir de este, vuelve a entrar al subestado de sondeo para esperar una segunda solicitud de búsqueda e inmediatamente responder con el paquete de Salto de Frecuencia Sincronizado (FHS, *Frequency-Hopping Synchronisation*). El paquete FHS contiene la información de la secuencia de saltos en frecuencia, así como la dirección Bluetooth (BD_ADDR) del dispositivo encontrado; además, contiene la información sobre qué tipo de dispositivo es (p. ej., un teléfono móvil, un dispositivo de manos libres, una computadora portátil, etc.). El proceso de sondeo se encuentra representado en la Figura 3.18.

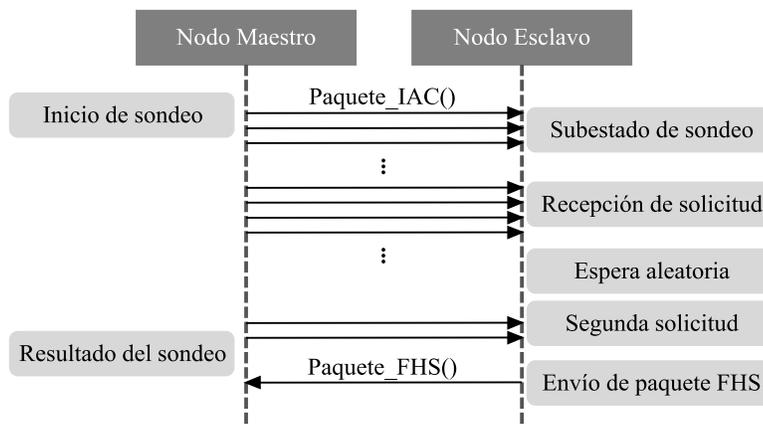


Figura 3.18. Proceso de sondeo.

3.2.4.2. Procedimiento de vinculación

Si el nodo Maestro decide conectarse con uno de los dispositivos Bluetooth encontrados, es necesario utilizar el canal de vinculación e iniciar el proceso de vinculación (véase Figura 3.19). El proceso de vinculación es muy similar al proceso de sondeo, pero con algunas diferencias principales; ya que el proceso de vinculación, es un proceso dirigido donde el nodo Maestro conoce al dispositivo con el cual establecer este procedimiento, y ambos dispositivos deben iniciar una secuencia de saltos especiales para establecer el vínculo. De esta manera el nodo Maestro envía al nodo Esclavo un Paquete de Identificación (*ID packet*) que contiene su BD_ADDR; una vez que el nodo Esclavo recibe este paquete, responde con otro paquete de identificación con un código de acceso. Enseguida, el nodo Maestro envía un paquete FHS con la información que

¹⁵ Es común que los dispositivos Bluetooth se configuren de manera que permanezcan en modo visible por un tiempo limitado, proporcionando un grado mayor de seguridad.

requiere el nodo Esclavo, para ajustar los relojes a la misma secuencia de saltos del nodo Maestro. Por último, el nodo Maestro recibe a través de otro paquete de identificación ACK proveniente del nodo Esclavo, entonces ambos dispositivos salen del modo de vinculación para comenzar a saltar en frecuencia de forma ya sincronizada. Una vez que el nodo Maestro recibe este reconocimiento, se inicia un intercambio de paquetes entre los Protocolo de Administración de Enlaces (LMP, *Link Manager Protocol*) de ambos dispositivos vinculados, para negociar los parámetros de la conexión.

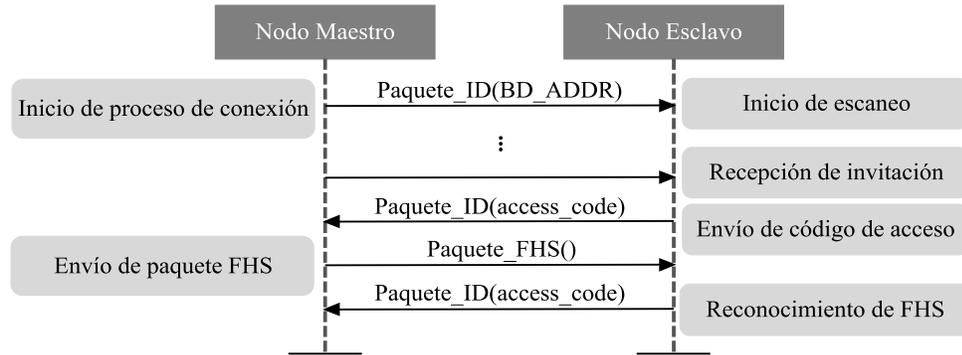


Figura 3.19. Proceso de vinculación.

3.2.5. Transferencia de datos

En la especificación de Bluetooth el transporte de los datos se realiza a través de dos diferentes tipos de enlaces: Enlaces asíncronos y enlaces síncronos [Farahani, 2008].

3.2.5.1. Enlaces asíncronos

Las conexiones por Enlaces Asíncronos (ACL, *Asynchronous Link*) se utilizan para transportar paquetes de datos que son presentados por una aplicación al Canal de Control de Enlace Lógico y Adaptación de Protocolos (L2CAP, *Logical Link Control and Adaptation Protocol*). La mayoría de formatos ACL incorporan el mecanismo FEC y HEC,.

Las conexiones ACL proporcionan la mayoría de enlaces para aplicaciones de Bluetooth; debido a que soportan los perfiles que permiten entregar los datos con el mismo formato a la capa de aplicación del dispositivo Bluetooth opuesto. La velocidad de los datos en un enlace ACL es de hasta 723 Kbps y hasta 2.1 Mbps usando el mecanismo EDR; además los enlaces ACL conceden la Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) para configurar los parámetros asociados al canal de L2CAP.

3.2.5.2. Enlaces síncronos

Las conexiones por Enlaces Síncronos (SCO, *Synchronous Links*) se utilizan cuando los datos necesitan ser transmitidos de forma continua. En este sentido, un dispositivo Bluetooth Maestro puede soportar hasta tres canales SCO de forma simultánea (ya sea con tres nodos Esclavo diferentes o con uno solo) y cada canal proporciona un ancho de banda de 64 Kbps. Los paquetes en un enlace SCO no pueden ser retransmitidos, por lo que si un paquete de datos se daña o interrumpe, éste se pierde y es decisión de la aplicación en curso qué hacer.

Los enlaces Síncronos Extendidos (eSCO, *Synchronous Links Extended*) se incorporaron a partir de la versión 1.2 de la especificación, para hacer el tráfico de voz más robusto sobre canales SCO, ya que proporciona una mayor fiabilidad al permitir un número limitado de retransmi-

siones. El principio fundamental es que las retransmisiones sobre canales eSCO sólo se permiten hasta la llegada de la siguiente ranura de tiempo, momento en el que los paquetes dañados puedan ser reemplazados.

3.2.6. Capa baja de protocolos (el controlador)

El controlador Bluetooth está conformado por el radio Bluetooth y por el administrador del dispositivo (*device manager*). El HCI es una interfaz que proporciona el estándar Bluetooth con un conjunto definido para realizar llamadas a las aplicaciones. La definición de la interfaz HCI permite el control entre diferentes proveedores de circuitos integrados a través de transportes físicos definidos como interfaz UART o interfaz USB. En este sentido, la interfaz más comúnmente utilizada por el HCI es la interfaz USB, siendo esta la interfaz Bluetooth por defecto en los circuitos integrados empotrados dentro de las computadoras portátiles.

3.2.7. Capa alta de protocolos (el huésped)

La capa baja de protocolos que forman el controlador Bluetooth, se ocupan de las conexiones entre dispositivos sin necesidad de utilizar los protocolos de la capa alta. Por encima de ellas, se encuentra la capa alta de protocolos también conocida como el Huésped Bluetooth (*Bluetooth host*) y es la responsable de la interacción entre las aplicaciones y el controlador Bluetooth. Los componentes principales de la capa alta de protocolos que son fundamentales para todos los perfiles y medios de transporte que les prestan servicios son: Protocolo de Control y Adaptación del Enlace Lógico (L2CAP, *Logical Link Control and Adaptation Protocol*), Protocolo de Descubrimiento de Servicio (SDP, *Service Discovery Protocol*) y Perfil de Acceso Genérico (GAP, *Generic Access Profile*).

3.2.7.1. Protocolo de Control y Adaptación del Enlace Lógico

L2CAP es responsable de comunicar los datos con todas las aplicaciones que utilicen los enlaces ACL; ya que contiene el servicio de intercambio de protocolos para la capa alta de protocolos. De esta forma, múltiples servicios pueden compartir los mismos enlaces de la capa baja de protocolos; además de proporcionar segmentación y reensamblado de paquetes, de modo que los paquetes (generalmente muy grandes) de aplicaciones de las capas altas, se pueden dividir dentro de los límites de los paquetes de la capa baja de protocolos.

3.2.7.2. Protocolo de Descubrimiento de Servicio

El SDP es esencial para una red descentralizada, ya que a diferencia de una red cableada donde la comunidad de dispositivos conectados permanecen de forma estática, en Bluetooth se construye bajo la premisa de que los dispositivos están en movimiento y pueden formar muchas conexiones descentralizadas. En este sentido, es necesario trabajar con una amplia gama de dispositivos y aplicaciones posibles y conectarse, por lo que es importante que exista un mecanismo para descubrir las capacidades de cada uno de los dispositivos participantes.

La especificación de Bluetooth define una base de datos dentro de cada dispositivo Bluetooth y muestra lo que un dispositivo es capaz de hacer; además contiene la información sobre los perfiles y protocolos que admiten el dispositivo Bluetooth.

3.2.7.3. Perfil de Acceso Genérico

GAP es el perfil más básico en Bluetooth, y éste define la forma en que los dispositivos se descubren unos a otros y cómo realizar las conexiones. El GAP es utilizado por todos los perfiles

en Bluetooth como base para establecer los enlaces; ya que el GAP permite establecer a un dispositivo Bluetooth uno de los tres modos de descubrimiento definidos en la especificación: modo no detectable, modo detectable limitado, y modo detectable general.

El GAP controla el establecimiento de la seguridad a través de los procesos de unión y emparejamiento. Por esta razón, si un dispositivo se encuentra en modo no conectable, este rechazará cualquier intento por parte de otro dispositivo Bluetooth de emparejarse con él.

3.2.7.3.1. Unión y emparejamiento

De acuerdo con [BluetoothSIG, 2011], en la parte de la especificación Bluetooth, referente al perfil GAP, el procedimiento de unión se define como: “*Procedimiento dedicado para realizar la primera autenticación, donde se crea una clave común para el enlace y se almacena para su uso futuro*”. Mientras que el procedimiento de emparejamiento es el proceso que culmina la unión: “*Cuando un dispositivo Bluetooth posee una clave de enlace que ha intercambiado*”¹⁶.

Para la mayoría de los usuarios, el procedimiento de emparejamiento es donde ambos dispositivos requieren de un código de Identificación Personal (PIN, *Personal Identifier*). En el modo de seguridad tradicional¹⁷, el código PIN se utiliza para comparar ambos códigos entre los dispositivos. Así, el proceso de seguridad¹⁸ consiste básicamente en establecer una clave para el enlace, para que ésta pueda ser comparada por ambos dispositivos. En este contexto, para maximizar el establecimiento de la seguridad en el enlace, la especificación de Bluetooth recomienda que el código PIN sea de 16 caracteres alfanuméricos.

El modo de Seguridad por Emparejamiento Simple (SSP, *Secure Simple Pairing*) se introduce a partir de la versión 2.1 de la especificación Bluetooth. Este sistema utiliza algoritmos de cifrado avanzado para generar las claves del procedimiento de unión, eliminando la necesidad de introducir un código PIN.

3.2.8. Protocolos de transporte de datos

La especificación ha definido una serie de protocolos de transporte para mover los datos entre las aplicaciones y L2CAP. En este contexto, existen tres protocolos principales para realizar esta tarea:

- *RFCOMM*: El Protocolo de Comunicación por Radiofrecuencia (RFCOMM, *Radio Frequency Communication*) es por mucho el protocolo más ampliamente utilizado. El RFCOMM es esencialmente una emulación de puerto serie que permite que los datos u órdenes se envíen desde un perfil de la capa superior a la capa L2CAP.
- *AVDTP*: El Protocolo para el Transporte de Audio y Video (AVDTP, *Audio Video Data Transport Protocol*) se utiliza para la transmisión de audio y vídeo codificados sobre un enlace ACL.
- *MCAP*: El Protocolo de Adaptación de Multicanales (MCAP, *Multi-Channel Adaptation Protocol*) se encuentra dentro del perfil para los dispositivos de salud, permitien-

¹⁶ Para el usuario, los procesos de sondeo de dispositivos, vinculación y unión, son normalmente englobados en un solo término denominado como *emparejamiento*.

¹⁷ Versión del modo de seguridad antes de la implementación por emparejamiento simple en la versión 2.1 y posteriores.

¹⁸ En la especificación de Bluetooth, el procedimiento de unión es sinónimo de *autenticación*.

do múltiples canales de datos robustos utilizados para la transferencia de datos de acuerdo con el protocolo de transporte IEEE 20601 en dispositivos médicos.

Para una investigación a detalle sobre los paquetes majejados por el protocolo Bluetooth y los tipode perfiles, se recomienda al lector la lectura [Muller, 2008].

3.3. IEEE 802.11 abgn/Wi-Fi

Las redes inalámbricas de área local basadas en el estándar IEEE 802.11 constituyen una de las soluciones más prácticas e interesantes sobre conexiones de red, ofreciendo movilidad, flexibilidad, bajo costo de desarrollo y facilidad de uso.

El comité IEEE 802, a lo largo de su existencia ha definido diversos estándares LAN tales como: IEEE 802.3 (*Ethernet*), IEEE 802.5 (*Token Ring*), IEEE 802.3u (*100BASE-T Fast-Ethernet*), entre otros. En 1990 este comité formó el grupo de trabajo IEEE 802.11, dedicado específicamente a las redes inalámbricas de área local.

El estándar IEEE 802.11 se ha convertido en el protocolo más popular en la provisión de conectividad a Internet sobre dispositivos portátiles; sin embargo, en sus inicios no fue pensado para el acceso a Internet, sino como un sustituto inalámbrico para los cables de Ethernet que se encontraban empotrados en la misma pila de protocolos IEEE 802 [Gratton, 2007].

La primera especificación del estándar IEEE 802.11 definió tres tipos de interfaces inalámbricas: FHSS a 2.4 GHz, DSSS a 2.4 GHz y una interfaz por conexión mediante infrarrojos. En sus inicios, las velocidades de transferencia de datos entre dispositivos rara vez superaban los cientos de Kbps. La Tabla 3.6 lista muestra la lista de versiones más importantes del estándar IEEE 802.11.

Tabla 3.6. Versiones más importantes del estándar IEEE 802.11 [Farahani, 2008].

Versión	Principales características	Año
802.11	La versión original del estándar IEEE 802.11 especifica dos velocidades de transmisión teóricas de 1 Mbps y 2 Mbps. El estándar original también define el mecanismo CSMA-CA como método de acceso.	1997
802.11a	El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5.1 GHz con una velocidad máxima de 54 Mbps.	1999
802.11b	Mejora del estándar con una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps a 2.4 GHz	1999
802.11g	Mejora de la versión 802.11b con la incorporación del mecanismo OFDM y el incremento de la velocidad de transferencia a 54 Mbps.	2003
802.11n	Especificación para una alta transferencia de datos mediante la técnica de Múltiples Entradas y Múltiples Salidas (MIMO, <i>Multiple-Input and Multiple-Output</i>), disponible en las bandas a 2.4 GHz y 5.1 GHz.	2009

La inminente maduración del estándar IEEE 802.11 ha llevado al crecimiento y creación de diversos grupos de trabajo relacionados e identificados por un sufijo en su terminación. La Tabla 3.7 lista los grupos de trabajo más relevantes del estándar IEEE 802.11¹⁹, aparte de los ya mencionados.

¹⁹ Para evitar confusiones no existe las versiones y grupos de trabajo correspondientes 802.11o y 802.11l.

Tabla 3.7. Grupos de trabajo más relevantes del estándar IEEE 802.11 [Farahani, 2008].

Grupo	Actividades	Estado
802.11d	Grupo dedicado a la mejora del servicio de extensión de conectividad internacional (<i>roaming extension</i>).	Especificación publicada en el año 2002
802.11e	Grupo dedicado a mejorar la calidad de servicio en el estándar.	Especificación publicada en el año 2005
802.11h	Grupo dedicado a la administración del espectro de radiofrecuencia (mediante control de potencia y selección dinámica de frecuencia) para la banda a 5.1 GHz en el mercado europeo.	Especificación publicada en el año 2004
802.11i	Grupo de desarrollo de los procesos de seguridad en la norma, grupo base del método de Acceso Inalámbrico Protegido (WPA, <i>Wireless Protected Access</i>).	Especificación publicada en el año 2004
802.11j	Grupo de regularización de cobertura en Japón.	Especificación publicada en el año 2004
802.11p	Grupo dedicado al desarrollo del estándar en las bandas de operación a 5.8 GHz y a 5.9 GHz, destinadas a comunicaciones de vehículo a vehículo. Variante también conocida como Comunicación Dedicada de Corto Alcance (DSRC, <i>Dedicated Short Range Communication</i>) que incluye el Acceso Inalámbrico para Entornos Vehiculares (WAVE, <i>Wireless Access for the Vehicular Environments</i>).	Especificación en desarrollo
802.11s	Grupo dedicado al soporte para redes en malla.	Especificación en desarrollo
802.11u	Grupo destinado a desarrollar mecanismos de coexistencia entre los dispositivos.	Especificación en desarrollo

Debido a los problemas asociados a las primeras especificaciones de la norma, diversos fabricantes formaron la alianza Wi-Fi para corregir problemas de incompatibilidad entre productos y constantes reportes de vulnerabilidad. De esta forma, la alianza Wi-Fi revisó la especificación IEEE 802.11b corrigiendo errores e inconsistencias y liberó su propio estándar junto con un programa de calificación y especificación de pruebas [URL-7]. En este contexto, a lo largo de su existencia la alianza Wi-Fi ha trabajado en paralelo con los grupos de trabajo del estándar IEEE 802, tomando de forma selectiva el trabajo generado de estos grupos y concentrándolos en nuevas versiones del estándar Wi-Fi (véase Tabla 3.8).

Tabla 3.8. Versiones del estándar Wi-Fi [Gratton, 2007].

Versión	Principales características	Año
Wi-Fi 'b'	Certificación de la alianza Wi-Fi para la versión 802.11b.	2000
Wi-Fi 'a'	Certificación de la alianza Wi-Fi para la versión 802.11a.	2002
Wi-Fi 'g'	Certificación de la alianza Wi-Fi para la versión 802.11g.	2003
WPA	Especificación de seguridad Wi-Fi basada sobre 802.11i.	2003
WPA2	Segunda versión de WPA obligatoria para los productos certificados por la alianza Wi-Fi.	2004
WMM	Extensión del servicio de multimedia Wi-Fi que incorpora el mecanismo QoS.	2004
Wi-Fi 'Direct'	Especificación Wi-Fi para conectar de forma directa dispositivos Wi-Fi sin la necesidad del uso de puntos de acceso.	2010

Así, la alianza Wi-Fi ha desarrollado un conjunto de normas y reglas para reducir los problemas de incompatibilidad y asegurar la interoperabilidad de los productos regidos bajo la especificación IEEE 802.11. De esta forma, se otorga el término de “producto Wi-Fi” a los dispositivos que cumplan con los procesos de verificación establecidos por la alianza. Algunas pruebas de certificación otorgadas por la alianza Wi-Fi se resumen en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Pruebas de certificación de productos Wi-Fi [Farahani, 2008].

Tipo	Descripción
Obligatoria	Interoperabilidad de las capas MAC/PHY entre las versiones 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n.
Obligatoria	Implementación del método WPA versión 2.
Opcional	Extensión para dispositivos que operen en la banda de frecuencia a 5.1 GHz.
Opcional	Incorporación de calidad de servicio y ahorro de consumo de energía para el servicio Wi-Fi multimedia (WMM, <i>Wi-Fi Multimedia</i>).
Opcional	Incorporación de la especificación de configuración protegida Wi-Fi para facilitar la habilitación y configuración de los procesos de seguridad en pequeñas oficinas y redes Wi-Fi de uso común.

El estándar IEEE 802.11 considera dos tipos de componentes: una estación cliente inalámbrica (p. ej., una computadora personal equipada con una tarjeta de interfaz inalámbrica) denominada Nodo Estación (SN, *Station Node*), y un dispositivo que funciona como puente retransmisor entre una red fija y la red inalámbrica, denominado nodo Punto de Acceso (AP, *Access Point*). En este sentido, un nodo AP generalmente se compone de un transceptor y receptor de radio y una tarjeta de red (p. ej., una tarjeta Ethernet).

A modo de ejemplo, la Figura 3.20 muestra la interacción existente entre las especificaciones antes mencionadas con el protocolo Ethernet (802.3), para comunicar una aplicación alojada dentro de una infraestructura u oficina con un SN (p. ej., un teléfono o una computadora portátil) a través de un nodo AP [Hunn, 2010].

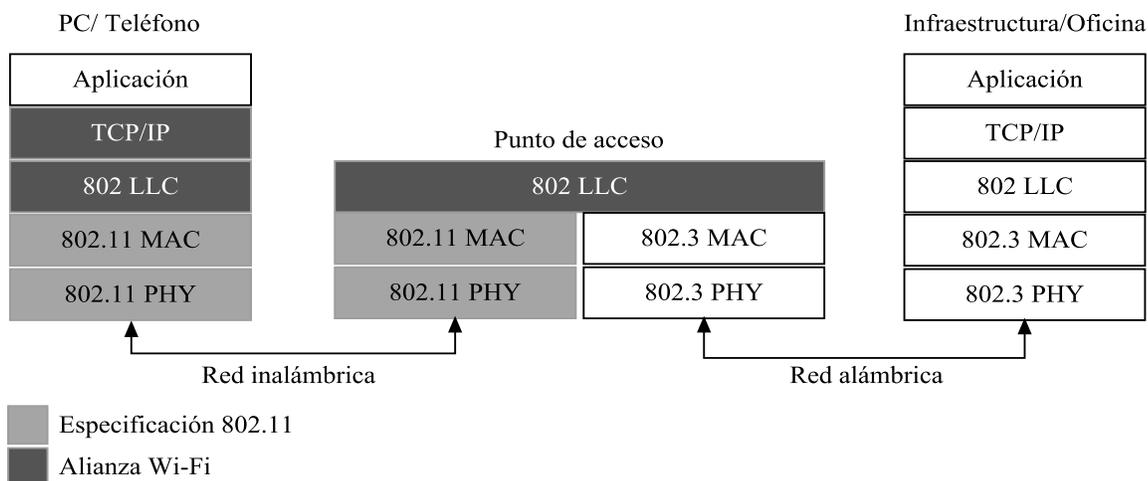


Figura 3.20. Relación entre especificaciones 802.03, 802.11y Wi-Fi [Hunn, 2010].

El estándar Wi-Fi y sus programas de evaluación han resuelto la mayoría de los problemas de interoperabilidad entre productos en la misma frecuencia de operación; y recientemente la alianza Wi-Fi ha centrado su investigación sobre una nueva certificación denominada Wi-Fi Di-

rect. Los nuevos dispositivos Wi-Fi bajo esta certificación pueden conectarse de forma directa sin la intervención de un Punto de Acceso (no necesitan unirse a una red LAN para establecer comunicación), por lo que el uso entre dispositivos se torna más simple e intuitivo [URL-7].

3.3.1. Topología 802.11

La especificación IEEE 802.11 define tres tipos de topologías (véase Figura 3.21): modo de infraestructura, modo descentralizado (*ad-hoc*) y el modo en malla (*mesh*).

Dentro del modo de infraestructura, la red inalámbrica consiste de al menos un nodo AP conectado a una red de infraestructura y un conjunto de SN. En este contexto, esta configuración se encuentra basada sobre una arquitectura celular donde el sistema se divide en células. En IEEE 802.11 cada célula se denomina como Conjunto de Servicio Base (BSS, *Base Service Set*) y es controlada a su vez por una estación base denominada simplemente AP. En este sentido, en el modo de infraestructura, un nodo AP realiza la administración de la red y además se encuentra conectado a un sistema de distribución de banda ancha.

Para que los SN puedan unirse a una infraestructura de red, un nodo AP debe transmitir un Identificador del BSS (SSID o BSSID, *Service Set ID*). De esta forma y si lo desean, los SN pueden unirse a la red.

Por su parte, las redes descentralizadas o Conjunto de Servicio Base Independiente (IBSS, *Independent Base Service Set*) tienen el mismo principio; sin embargo, ningún dispositivo se encuentra conectado a un distribuidor de funciones de banda ancha y el SN que comience una transmisión de datos recibe el nombre de Iniciador. El modo de configuración descentralizada no se encuentra cubierto por los esquemas de certificación Wi-Fi actuales; debido a que a través de las diferentes versiones del estándar 802.11 se cuenta con diversos grados de robustez, seguridad e interoperabilidad.

La esencia de las redes 802.11 se enfoca a cubrir los entornos corporativos y escolares, donde los usuarios puedan moverse dentro de un amplio rango de cobertura; sin embargo, esto implica romper la conexión varias veces al momento de desplazarse de un lugar a otro. De esta forma, se ha desarrollado el concepto de Conjunto de Servicios Extendidos (ESS, *Extended Service Set*) (véase Figura 3.22), donde diversos nodos AP se encuentran conectados a la red principal, denominada Sistema de Distribución (DS, *Distribution System*), y comparten el mismo SSID [Farahani, 2008].

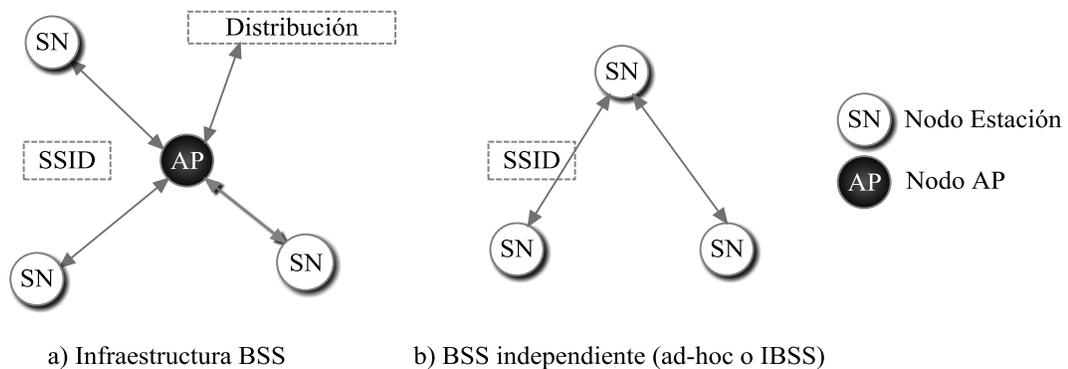


Figura 3.21. Topología IEEE 802.11 [Farahani, 2008].

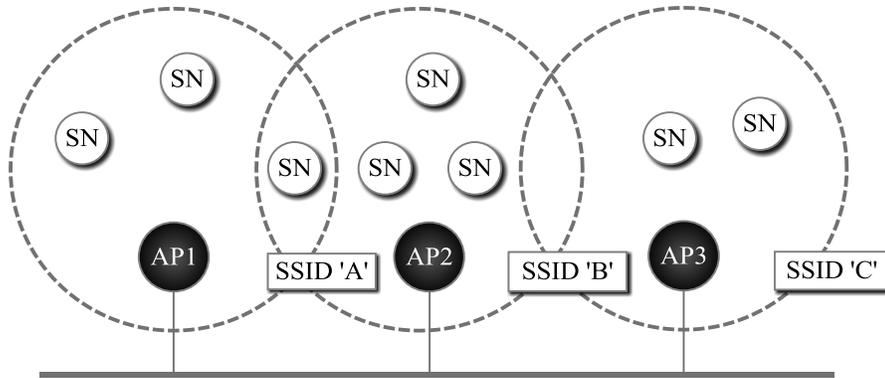


Figura 3.22. Conjunto de Servicio Extendido 802.11.

3.3.2. Servicios 802.11

Los servicios del estándar IEEE 802.11 permiten formar las topologías y establecer características de seguridad entre los dispositivos a través de un conjunto de servicios; los servicios se clasifican en estacionarios y distribuidos [Gratton, 2007].

Los servicios estacionarios son utilizados en los dos modos de topología y se dividen en:

- *Autenticación*: Este servicio se utiliza para establecer las credenciales de una estación a un punto que está atendiendo la conexión, e involucra un simple intercambio entre direcciones MAC entre los dos dispositivos (procedimiento necesario antes de establecer un proceso de asociación).
- *Desautenticación*: Procedimiento que termina el proceso de autenticación. Este servicio es muy importante para establecer la seguridad en las redes 802.11; debido a que este servicio se encarga de limpiar todas las claves almacenadas y relacionadas a las conexiones.
- *Encriptación*: Servicio para prevenir que intrusos descubran el contenido de los paquetes transmitidos entre dispositivos.
- *Liberación de MSDU*: Servicio de unidad de datos MAC encargado de las tareas de transferencias de datos entre dispositivos.

Existen cinco servicios de distribución asociados para mover los datos de una red y para integrar una red inalámbrica dentro de otra. Estos servicios de distribución son:

- *Asociación*: Servicio que se ejecuta después de una autenticación y se encarga de registrar a una estación con un nodo AP o con un nodo Iniciador (en el caso de una red descentralizada).
- *Disociación*: Servicio opuesto, donde una estación de la red se remueve por sí misma de un nodo AP.

Una disociación debe ser llevada a cabo antes de remover a un SN, ya sea como resultado de una pobre calidad en la señal del enlace o porque haya sido apagado.

- *Reasociación*: Servicio utilizado por un SN cuando desea moverse a un nuevo nodo AP dentro de un ESS.
- *Distribución*: Servicio que se encarga de transmitir cada trama de los datos asegurando que lleguen al nodo destino.

- *Integración*: Servicio que permite la integración de los servicios de distribución con otros servicios.

3.3.3. Radio 802.11

La especificación original del estándar IEEE 802.11 dirigida a reemplazar de forma inalámbrica la capa PHY asociada a la MAC del estándar IEEE 802.3, proporcionó tres diferentes alternativas: un transceptor infrarrojo, un radio operando mediante saltos de frecuencia a 2.4 GHz y un radio con secuenciador directo en los 2.4 GHz; no obstante, la industria se unió para dirigir las futuras mejoras a la especificación sobre el radio con secuenciador directo. Por esta razón, todas las versiones de la norma incluyen la técnica DSSS. La técnica DSSS trabaja para reducir el ruido originado por otros emisores pero a costo de un mayor consumo de energía al transmitir una señal. Los transmisores DSSS no saltan en frecuencia, sino trabajan con una frecuencia fija [Hunn, 2010].

En la banda de 2.4 GHz donde residen la mayor parte de los productos 802.11, existen 13 canales con un ancho de banda de 22 MHz espaciados 5 MHz. Los canales se enumeran del 1 al 13 empezando a 2.412 GHz y terminando en los 2.472 GHz.

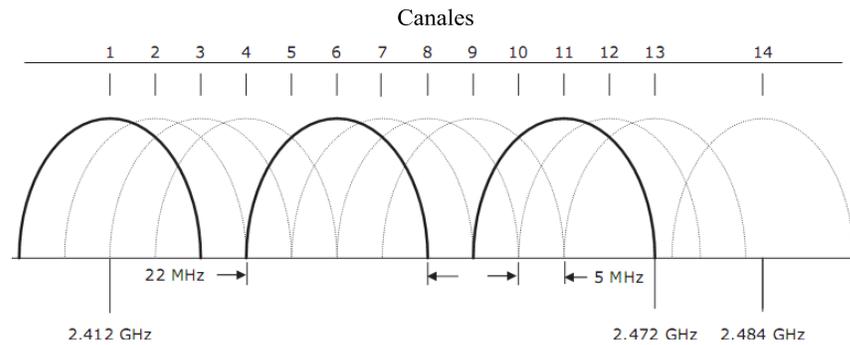


Figura 3.23. Uso del espectro por la especificación IEEE 802.11 [Hunn, 2010].

El ancho de banda de los canales con 22 MHz y espaciados 5 MHz, representa que existe un solapamiento de la señal como lo indica la Figura 3.23. Debido a lo anterior, la disponibilidad global de los canales no se encuentra estandarizada. Por ejemplo, en Japón se permiten 14 canales, no obstante no todos los canales pueden ser utilizados si el radio opera con la técnica OFDM; en el Continente Europeo se permiten 13 canales; sin embargo, Francia limita la potencia de transmisión a 10 mW para su uso en espacios libres. En los EEUU solo operan los canales del 1 al 11, con la ventaja de que en los canales 1, 6 y 11 no existe solapamiento entre ellos (véase Figura 3.23). Así, la mayoría de los productos fabricados se encuentran configurados en uno de estos canales.

En la banda de los 5.1 GHz existe un núcleo similar de 12 o 13 canales disponibles alrededor del mundo que tiene la principal ventaja de que se encuentran espaciados por 20 MHz, lo que significa que éstos ya no se superponen y se permite el uso de todos los canales. Incluso aunque esté más restringida, se cuadruplican los BSS que se pueden utilizar en la misma área; sin embargo la mayor parte de los dispositivos desarrollados bajo el estándar IEEE 802.11 operan a 2.4 GHz, esto a consecuencia de los inicios de la especificación IEEE 802.11 a, donde resultaba técnicamente muy difícil (y por ende costoso) agregar la compatibilidad en la banda de 5.1 GHz.

Existe una variante más en el estándar utilizada para comunicaciones específicas entre vehículos definida por la versión IEEE 802.11p, la cual se encuentra situada en la banda de 5.8 GHz y 5.9 GHz en el espectro²⁰.

El estándar IEEE 802 define la misma subcapa de enlace de datos para todas las LAN. En este sentido y con referencia al sistema OSI (véase Figura 3.24), la capa de enlace de datos en el estándar IEEE 802.11 se compone de la capa LLC y la capa MAC. La capa LLC utiliza las mismas propiedades que una capa LLC 802.2 y permite conectar una WLAN a cualquier otra LAN. De esta manera, el estándar IEEE 802.11 solo define la capa PHY y la capa MAC.

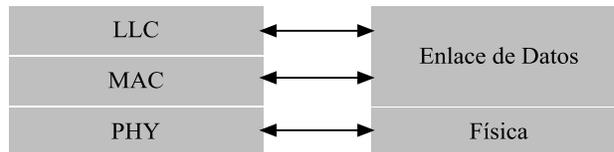


Figura 3.24. Comparación con el modelo de referencia OSI [Labiód, 2007].

3.3.4. Capa Establecimiento de la conexión en IEEE 802.11

Para formar una red, el estándar IEEE 802.11 define la forma en la que los dispositivos se encuentran unos a otros. Partiendo de la hipótesis de que el nodo que desea establecer la red posea un SSID, éste puede ser un nodo AP operando en modo de infraestructura o uno o más SN configurados para ser parte de una red descentralizada [Hunn, 2010].

El proceso de conexión siempre es iniciado por el SN que desea unirse al BSS; sin embargo, el proceso de conexión está determinado por el modo de administración de energía que en el momento esté utilizando el nodo al que se desea unir.

De acuerdo a [Hunn, 2010], existen dos maneras para que un SN se una a una red:

- *Exploración activa:* En la exploración activa, el SN que desea unirse a una red envía una solicitud de sondeo sobre cada canal disponible del espectro. Esta solicitud puede estar dirigida a un BSS en específico (determinado por su SSID) o a todos los BSS que se encuentren dentro de su rango de cobertura. Al final de este procedimiento, el SN iniciador contendrá una lista de todos los BSS que encontró dentro de su rango, junto con sus parámetros, y decidir a qué BSS conectarse.
- *Exploración pasiva:* En la exploración pasiva, el SN no transmite ningún tipo de solicitud para unirse a un BSS (lo cual ahorra energía). En cambio, el SN escucha por mensajes *beacon* transmitidos por un nodo AP o por un nodo Maestro (en una red descentralizada); sin embargo, la desventaja de este tipo de exploración es que los tiempos de intervalo entre los mensajes *beacon* pueden ser muy grandes, por lo que un SN necesita escuchar por un período extendido, y tan pronto éste reciba el mensaje *beacon* (el cual contiene la información necesaria para empezar una conexión) debe empezar su procedimiento de conexión.

Para una investigación a detalle sobre los paquetes mapeados por el protocolo IEEE 802.11, se recomienda al lector la lectura [Hunn, 2010].

²⁰ Esta nueva variante no se encuentra actualmente cubierta por la alianza Wi-Fi.

4. Planteamiento de la solución

Como se examinó en el Capítulo 2, el uso de artefactos desempeña un rol facilitador en el proceso de aprendizaje y en la realización de proyectos, garantizando el éxito y soporte de los conocimientos. Así, las perspectivas de enseñanza mencionadas anteriormente fomentan el aprendizaje con base en la producción y al uso activo de herramientas o artefactos, motivando al estudiante en el desarrollo de su habilidad cognitiva mediante la práctica y reforzando los conocimientos obtenidos por los métodos clásicos de lectura. Estas perspectivas proporcionan la clave para la innovación en las estrategias de enseñanza y aprendizaje sobre el diseño de sistemas empujados basados en microcontroladores, donde se abarcan puntos de vista de Hardware y de Software para la implementación de la funcionalidad de este tipo de sistemas.

Con esta percepción, el presente trabajo de investigación busca mejorar el aprendizaje de los protocolos de comunicación inalámbrica ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi, con base en la construcción, uso y estudio del conjunto de herramientas IronBlue.

4.1. Conjunto de herramientas IronBlue

El conjunto de entrenamiento IronBlue está destinado al aprendizaje de los protocolos ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi bajo un enfoque constructor. De esta forma, el conjunto de herramientas IronBlue está formado por los siguientes sistemas (véase Figura 4.1):

- Sistema DreamBee.
- Sistema DreamBlue.
- Sistema DreamFi.
- Plataforma Iron.

Los sistemas DreamBlue, DreamBee y DreamFi, son las herramientas Firmware de entrenamiento para los protocolos Bluetooth, ZigBee y Wi-Fi, respectivamente (véase Figura 4.2). Mientras que la Plataforma Iron es el medio Hardware donde se implementan dichos sistemas.

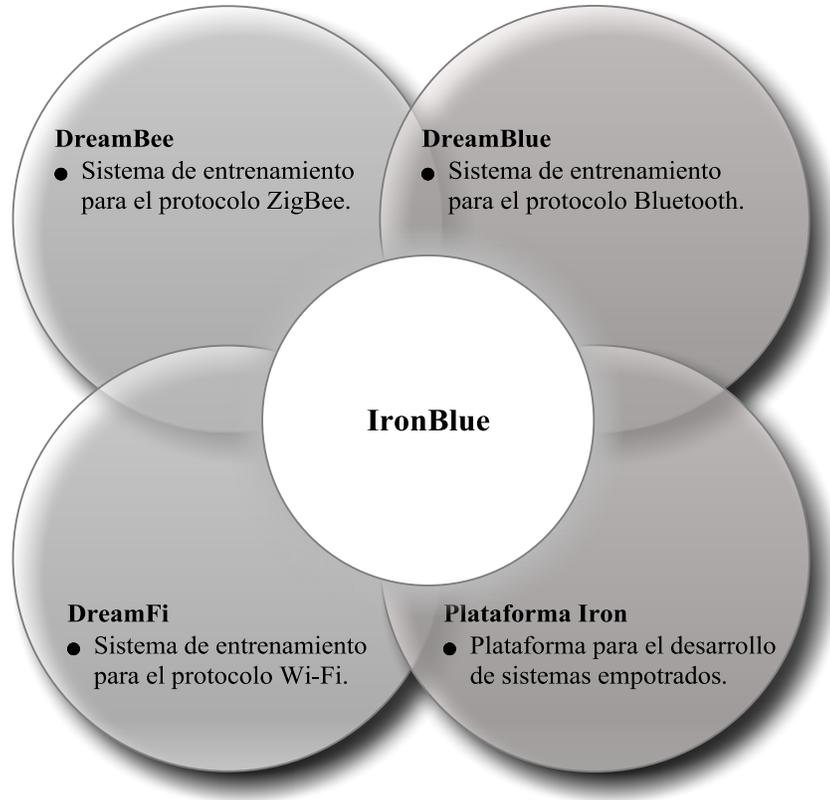


Figura 4.1. Conjunto de herramientas IronBlue.

Transmisión inalámbrica

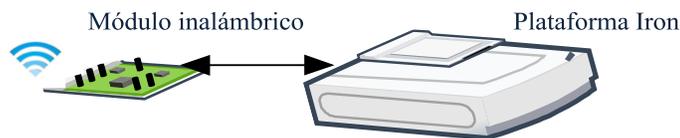


Figura 4.2. Diagrama a bloques del conjunto de herramientas IronBlue.

Como primer acercamiento, cada uno de los sistemas consiste de la integración de los siguientes módulos:

- *Plataforma Iron*: A través de la Plataforma Iron el usuario configura los módulos inalámbricos y visualiza los mensajes enviados o recibidos a otros dispositivos. Dentro de la Plataforma Iron se encuentran los siguientes componentes:
 - *MCU*: La configuración de cada nodo se establece a través de un conjunto de órdenes AT²¹ (*Command Attention*) enviadas de la Plataforma Iron al módulo inalámbrico por medio del MCU que se encarga de gestionar la funcionalidad de cada sistema.

²¹ Cada sistema de entrenamiento cuenta con sus propios conjuntos de órdenes AT de acuerdo al protocolo en función.

- *Teclado matricial*: Por medio del teclado matricial, el usuario puede seleccionar las diferentes opciones del menú o escribir texto.
- *Display de cristal líquido para gráficos (GLCD, Graphic Liquid Cristal Display)*: Por medio del GLCD, el usuario visualiza los diferentes menús del sistema y puede visualizar también los mensajes provenientes de dispositivos.
- *Transceptor RS232*: El transceptor RS232 convierte los niveles de voltaje RS232 (-12V y 12V) a niveles de voltaje UART (5V y 0V) y comunica a la Plataforma Iron con el módulo inalámbrico.
- *Pulsador*: El pulsador se encarga de reiniciar el MCU de la Plataforma Iron.
- *Módulo inalámbrico*: El módulo inalámbrico se encarga de realizar los diferentes enlaces según el protocolo empleado, y de acuerdo a las especificaciones solicitadas por el usuario a través de la Plataforma Iron.

4.2. Modelo constructorista como enfoque de aprendizaje

De acuerdo con [Dubinsky, 2001], [Hadjerrouit, 2005] y [Losilla, 2011], un sistema de aprendizaje no puede depender únicamente del enfoque técnico y éste debe sustentarse en un modelo pedagógico. Por esta razón, para el uso en un curso donde se aplique el conjunto de herramientas IronBlue, se propone la combinación del enfoque de aprendizaje constructorista con la metodología SPIES [García, 2010b].

Cabe recalcar que a diferencia de los modelos de enseñanza como PBL o el método tradicional, el enfoque constructorista además plantea que el conocimiento sea reconstruido por los estudiantes a través de la práctica y la experiencias; por lo tanto, el enfoque de aprendizaje constructorista contiene de forma implícita al modelo PBL [Han, 2007], además de fomentar el desarrollo de un artefacto de interés para el estudiante. Por su parte, la metodología SPIES guía al estudiante en el diseño y desarrollo de sistemas empotrados a través de sus diferentes fases de desarrollo (véase Figura 4.3). De forma complementaria, tanto el enfoque de aprendizaje constructorista como la metodología SPIES pueden auxiliar a los procesos de enseñanza y aprendizaje en cursos relacionados con los sistemas empotrados.

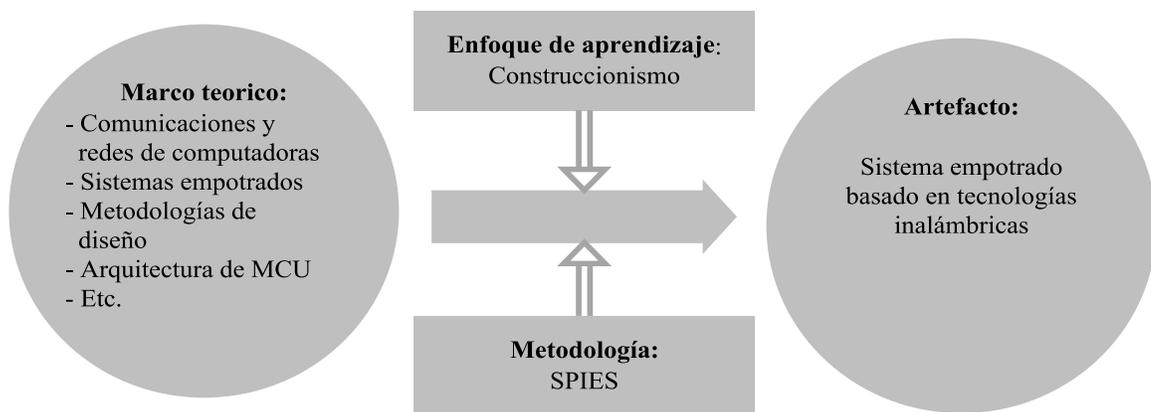


Figura 4.3. Adaptación del entorno de entrenamiento.

El principio básico del constructorismo proviene del aprendizaje activo, donde los estudiantes deben de participar activamente en actividades en lugar de permanecer de manera pasiva observando lo que se les explica.

El aprendizaje en el construccionismo es activo, no pasivo, con la suposición básica de que los sujetos aprenden cuando pueden controlar su aprendizaje y están al corriente del control que poseen. Esta teoría apoya al proceso de aprendizaje enfatizando en actividades que resultan intrínsecamente interesantes para el alumno y con mayor valor que una puntuación en un examen.

De acuerdo a [Beynon, 2005], el modelo de aprendizaje construccionista se resume idealmente como la unificación de tres roles de conocimiento: el rol del Estudiante, el rol del Maestro y el rol del Desarrollador (véase Figura 4.4). En el rol de estudiante, el alumno explora y trata de relacionar los conocimientos recién adquiridos; en el rol de maestro, identifica conceptos y objetivos para especificar y diseñar modelos que permitan direccionar su exploración inicial a un objetivo en particular; y por último, en el rol de Desarrollador implementa artefactos reconstruyendo y reforzando el conocimiento inicial.

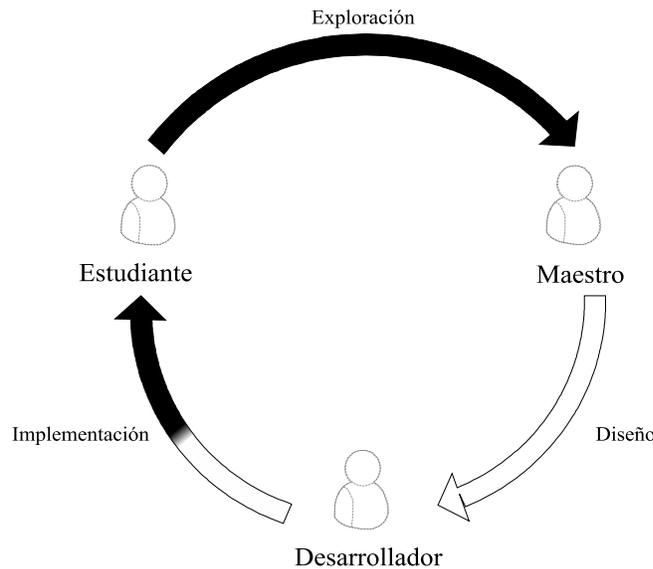


Figura 4.4. Roles del aprendizaje construccionista.

4.3. Perspectiva construccionista en un curso de sistemas empotrados

Los sistemas empotrados son parte de una área multidisciplinaria con diversas aplicaciones en la industria; por lo que es de suma importancia incorporar gradualmente el conocimiento para el diseño. Así, el propósito del conjunto de herramientas IronBlue es dar una perspectiva de soporte a cursos de sistemas empotrados (y materias afines). Esta perspectiva consiste en la introducción de modelos, prácticas y procedimientos sobre el diseño de los sistemas empotrados, para ser implementados por los estudiantes de Ingeniería en Electrónica, Ingeniería en Computación y/o Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

En el reporte de investigación “*The experience of interacting with technological artefacts*” [Collier-Reed, 2009], se describen algunos resultados aplicados a cursos introductorios de ingeniería sobre el enfoque de aprendizaje construccionista, para proponer lineamientos formales y ofrecer entornos que faciliten el proceso de aprendizaje. De esta forma, el reporte muestra diferentes formas para adquirir conocimiento a través de la interacción con artefactos tecnológicos, obteniendo así, una mejor comprensión del curso a través de la experiencia.

El modelo propuesto para situar el enfoque construccionista en un curso, se basa en un núcleo que actúa como un patrón para apoyar el ciclo de aprendizaje construccionista (véase Figura 4.5); de esta manera y mediante el uso de cualquiera de las herramientas del sistema Iron-

Blue, como núcleo, se plantea proporcionar un alto grado de sinergia, producto de la interacción de los roles del construccionismo con el núcleo.

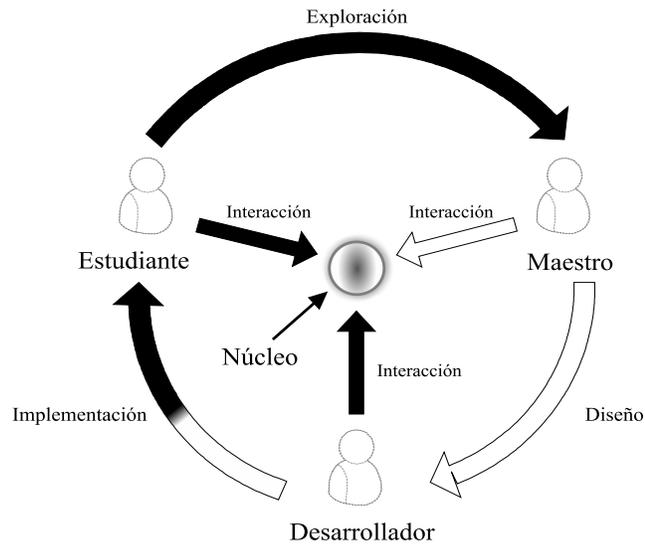


Figura 4.5. Enfoque de entrenamiento basado en un núcleo.

Los objetivos planteados por el conjunto de herramientas IronBlue en apoyo a un curso real de sistemas empotrados son:

- Mostrar y enseñar los aspectos básicos en el desarrollo de sistemas empotrados y basados en tecnologías inalámbricas (a criterio del profesor).
- Realizar un diseño modular del sistema independiente de la plataforma de desarrollo.
- Generar una plataforma modular con especificación abierta.
- Obtener un artefacto de interés para los estudiantes.
- Motivar a los estudiantes en la creación de futuros proyectos de investigación utilizando como base al sistema desarrollado en el curso.

Para cubrir esta perspectiva es necesario adoptar un marco de trabajo con el cual se establezcan procedimientos que conduzca al proceso de aprendizaje (véase Figura 4.6).

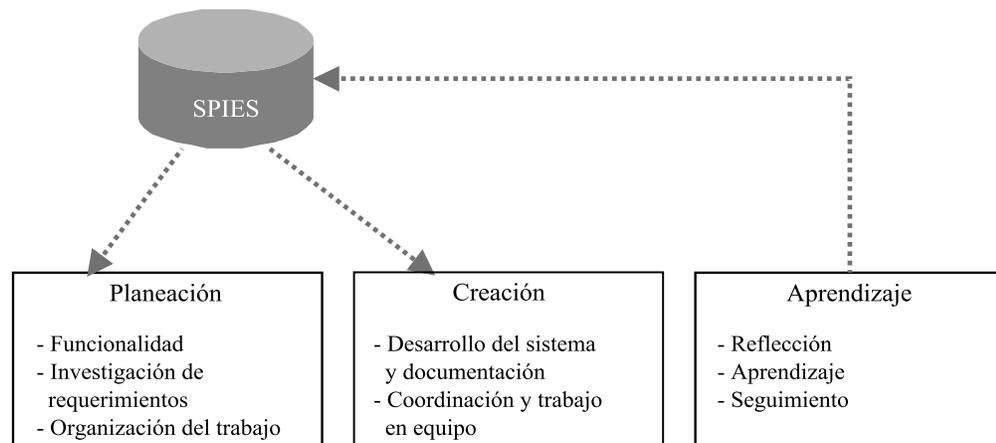


Figura 4.6. Marco de trabajo bajo el enfoque construccionista.

La Figura 4.6 muestra las fases del marco de trabajo que se aplica a un grupo de trabajo. Las fases se definen de la siguiente forma:

- *Planeación*: El grupo de trabajo recibe instrucciones sobre el uso del núcleo, para explorar y localizar los requerimientos y efectuar posibles modificaciones de acuerdo a los intereses del grupo, después éste organiza las actividades a realizar analizando previamente los riesgos del proyecto.
- *Creación*: Esta fase incluye actividades de implementación y documentación, donde la documentación se genera a partir de las actividades de diseño y modelado en UML. El proceso de creación es controlado por la metodología SPIES que enfatiza el trabajo colaborativo y formaliza el proceso de diseño para los sistemas empotrados.
- *Aprendizaje*: Las actividades de la fase de aprendizaje incluyen el seguimiento de los proyectos, donde los artefactos generados se respaldan en un repositorio para su futura utilización.

Durante el apoyo al curso de sistemas empotrados y bajo el criterio del profesor, los estudiantes pueden trabajar en grupos con el fin de obtener un aprendizaje colaborativo sobre el diseño de los sistemas empotrados y utilizar una réplica del modelado de cualquier herramienta del conjunto IronBlue (p. ej., el sistema DreamBlue) para crear sus réplicas. De acuerdo con Göl y Nafalski [Göl, 2007], los grupos colaborativos son pequeños, normalmente no exceden los 5 miembros, y se crean para que sean conducentes de alcanzar un resultado satisfactorio de aprendizaje que puede ser demostrado mediante la adquisición de conocimiento y de habilidades o la terminación de un conjunto de tareas.

A pesar de reconocer su importancia, la literatura actual varía en la definición de un método para la formación de un equipo de estudiantes. De acuerdo con Clarke *et al.* [Clarke, 2005], dos de los métodos más comunes son el Análisis del Comportamiento, de Bass y Duntzman [Bass, 1963], que identifica tres tipos importantes de personalidad: orientada a la tarea, orientada a uno mismo y orientada a la interacción; y el perfil de Myers-Briggs [Myers, 1998] que clasifica a las personas en dieciséis diferentes tipos de personalidad, de acuerdo a sus preferencias, y en cuatro dimensiones: grados de extroversión contra la introversión, sensatez contra intuición, razonamiento contra presentimiento, juicio contra percepción. Hogan y Thomas [Hogan, 2005], también investigan el establecimiento de interacciones y compromisos sanos para trabajar en equipo, concluyen que éstos son factores principales a considerar al desarrollar un equipo de estudiantes.

El presente trabajo de investigación, se centra en las perspectivas de trabajo colaborativo enfocados a proyectos Software de [Delaney, 2003; Acuña, 2004; Beck, 2009; Andre, 2011], donde se especifica la formación de equipos combinados de no más de cinco estudiantes. Así, el profesor debe integrar a los equipos analizando las habilidades de los estudiantes y/o su desempeño anterior al desarrollar proyectos de otras clases. En este punto, es posible aplicar uno de los dos criterios siguientes:

- En primer lugar, si la Plataforma Iron se utiliza dentro de un nuevo curso, el profesor clasificaría a los estudiantes a través de un examen teórico/práctico sobre la clase en cuestión, y
- En segundo lugar, si la plataforma se utiliza dentro de un curso donde los estudiantes han desarrollado más de un proyecto utilizándola, sus expedientes serían utilizados para formar los equipos.

Así, el profesor debe considerar el desempeño del estudiante, su participación, y sus habilidades de liderazgo. De esta manera, los miembros de cada equipo son seleccionados de modo que los estudiantes con menos habilidades en el área sean combinados con sus pares más hábiles.

Independientemente de esto, a los estudiantes se les debe hacer hincapié en la obtención de un sistema funcional; por lo que es importante indicarles cómo construir una herramienta de forma simple, en lugar de construir una herramienta con funcionalidad muy compleja y que probablemente no llegue a implementarse durante el tiempo limitado del curso. De esta forma, los estudiantes serán conscientes del significado de desarrollar proyectos reales en un tiempo límite.

En el caso de implementar extensiones a la funcionalidad del núcleo, el profesor que imparte el curso debe supervisar y delimitar las extensiones del grupo de trabajo con el fin de no caer en riesgos innecesarios que provoquen el fracaso en la construcción de los sistemas (véase Figura 4.7).



Figura 4.7. Supervisión a expansiones del núcleo.

En apoyo al curso de sistemas empotrados con duración de aproximadamente 15 semanas, repartidas en 5 horas de clase y una de laboratorio a la semana, se plantean dos principios fundamentales:

- Motivar a los estudiantes a proponer ampliaciones con respecto a la funcionalidad ya establecida por alguno de los sistemas IronBlue. De esta forma, empezarán a construir sus propias replicas personalizadas.
- No es necesario indicar de forma obligatoria con qué partes Hardware y Software se deben construir los sistemas, sino con ejemplos se les muestra cómo implementar el núcleo. Esto con el fin de no limitar el desarrollo de la creatividad y otorgar la posibilidad de realizar trabajos bajo un enfoque y filosofía apegada a las comunidades *open Software* y *open Hardware*.

Durante las primeras semanas del curso, a los estudiantes se les explica en qué consiste el sistema IronBlue, y se les otorga una breve introducción y revisión del estado del arte sobre plataformas y herramientas donde puedan implementar su artefacto. Posteriormente se establecen las bases para el desarrollo de sistemas utilizando UML a través de la herramienta IBM Rhapsody [URL-15]. Este paso es muy importante para establecer los requerimientos necesarios que debe cumplir el sistema a nivel Hardware y Software, y poder reconstruir la plataforma deseada; en este punto, los estudiantes pueden ser motivados a proponer sus propias ideas sobre posibles expansiones en la funcionalidad de sus respectivas plataformas. Cada equipo puede explicar sus posibles propuestas discutiendo con el profesor y con el resto del grupo. Este proceso enriquece el

aprendizaje en la clase, ya que al exponer las ideas, se crea un ambiente idóneo para desarrollar habilidades de comunicación y crítica. En este escenario, el papel del profesor consiste en ayudar a los estudiantes a delimitar las expansiones en la funcionalidad de las réplicas; una vez que las propuestas de cada equipo han sido aprobadas, se deberán desarrollar cada una de las fases establecidas por la metodología SPIES a lo largo del curso.

En cada sesión de práctica de laboratorio, a cada grupo de estudiantes se le indica la necesidad de realizar un reporte individual y responder a las preguntas orales del profesor. En los reportes se debe reflejar el entendimiento de un ejercicio en particular, además de responder a preguntas orales acerca del firmware y de los modelos del sistema.

Como apoyo al proceso de aprendizaje, se plantea la idea de utilizar un *repositorio colaborativo*²² donde a criterio del profesor, se alberguen diferentes ejemplos de los artefactos a desarrollar (p. ej., prácticas de programación de MCU, ejemplos de modelado UML, diagramas esquemáticos de circuitos, etc.). La idea del repositorio colaborativo es tomada del enfoque del constructivismo social de Lev Vygotsky, donde la interacción social toma un papel relevante en el proceso de aprendizaje del individuo (véase Figura 4.8).

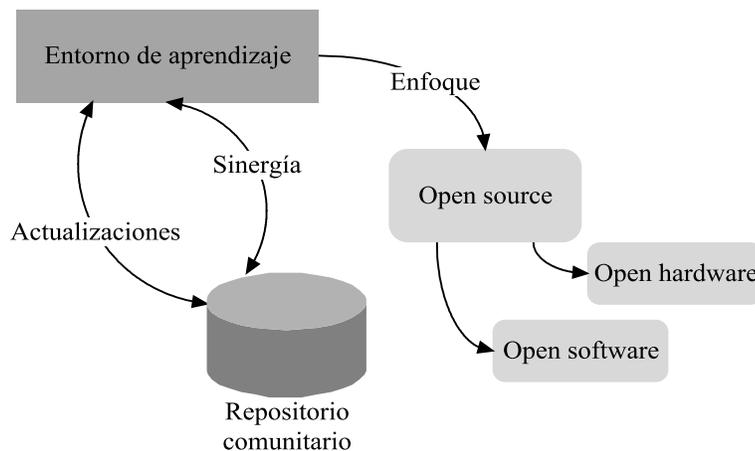


Figura 4.8. Repositorio colaborativo en el entorno educativo.

En cuanto al repositorio colaborativo, éste se introduce a un grupo pequeño de aprendizaje donde sus miembros retroalimentan el repositorio activamente, facilitando el proceso de aprendizaje de otro grupo o miembros. Dentro del aprendizaje colaborativo, este tipo de repositorios proporciona a los estudiantes la oportunidad de establecer la discusión como medio de aprendizaje y ejerce una influencia positiva en los resultados del grupo al asumir la responsabilidad de su propio aprendizaje. Para la educación en ingeniería, la transición hacia un esquema de aprendizaje flexible²³ requiere, como un principio, el acceso flexible a los recursos de experimentación y de colaboración; en nuestro contexto particular, la Plataforma Iron.

²² No confundir con el repositorio de conocimientos especificado por la metodología SPIES; ya que éste funge como parte del proceso de aprendizaje individual del sujeto.

²³ De acuerdo con [Gillet, 2005], desde una perspectiva pedagógica, el aprendizaje flexible proporciona a los estudiantes la accesibilidad extendida a los recursos de aprendizaje, la libertad incrementada para organizar sus actividades de aprendizaje, y la mejora de la participación, la autonomía y la colaboración.

La Tabla 4.1 especifica cómo la metodología SPIES controla a través de sus diferentes fases las dos primeras etapas del marco de trabajo propuesto.

Tabla 4.1. Control de las etapas del marco de trabajo.

M. T.	SPIES	Actividades	Hrs	Descripción	
Planeación	Fase 1	Descripción de la funcionalidad del conjunto de herramientas IronBlue	1	Se presenta el conjunto de herramientas IronBlue a los estudiantes, realizando demostraciones sobre la utilidad de las herramientas.	
		Revisión del estado del arte de plataformas de desarrollo	2	Se realiza una breve revisión acerca de las plataformas ya existentes para el aprendizaje de las tecnologías inalámbricas de corto alcance, así como de las plataformas para el desarrollo de sistemas empotrados.	
		Marco teórico de tecnologías inalámbricas de corto alcance	5	Se lleva a cabo una revisión de las tecnologías inalámbricas tratadas por el conjunto de herramientas IronBlue.	
		Introducción de modelado UML	5	Se realiza una revisión sobre el modelado UML que servirá de apoyo a lo largo del proceso de desarrollo del sistema.	
		Desarrollar el plan del proyecto y mejoras	1	En el desarrollo del plan de proyecto se limitan las mejoras o nuevas aplicaciones de sistemas con base en la Plataforma Iron.	
		Investigación de requerimientos del sistema	2	Se establecen los requerimientos en forma escrita para definir la funcionalidad de las replicas con base en la Plataforma Iron.	
		Organización de actividades	1	Se establecen los diagramas de actividades con base en los requerimientos propuestos y aprobados; además se determina el número de integrantes por equipo.	
		Planteamiento de los componentes del sistema	1	Se determinan los principales componentes que integrarán al sistema total.	
		Fase 2	Diseño de la interfaz	3	A través de los requerimientos se establecen las diferentes interfaces con las que contará el usuario para interactuar con el sistema.
			Diseño de casos de uso	3	Se modelan los diferentes diagramas de casos de uso que definen la funcionalidad interna y externa del sistema.
Diseño de la arquitectura	2		Se identifican los diferentes subsistemas y se diseña la arquitectura del sistema para modelar de forma estática la funcionalidad total del mismo.		
Fase 3	Diseño de diagramas de secuencia		3	A partir de la definición de distintos escenarios (3 por subsistema), se realizan los correspondientes diagramas de secuencia.	
	Diseño de máquinas de estado	3	Las máquinas de estado son utilizadas para modelar la interacción del usuario y el sistema de forma dinámica.		
	Desarrollo de prototipo Software	2	Se elaboran las primeras aproximaciones de la funcionalidad Software del sistema.		
	Simulación de prototipo	2	Se realizan las simulaciones correspondientes al prototipo Software, antes de llevar a cabo la construcción del prototipo Hardware.		
Fase 4	Diseño de prototipo PCB	3	Se realiza el diseño del prototipo PCB.		
	Diseño detallado PCB	3	Se verifica que el diseño del PCB no contenga errores (p. ej., corto circuito, sistema flotado, etc.).		
	Desarrollo de prototipo Hardware	3	Se monta una versión prototipo inicial del sistema con base en el diagrama de PCB.		

Fase 5	Integración de componentes	2	Se integran los componentes Software y Hardware asociados al sistema.
	Pruebas de integración	2	Se realizan pruebas preliminares de Software y Hardware de forma unitaria dependiendo del caso (subsistemas y módulos Hardware).
Fase 6	Inspección del prototipo	2	Se llevan a cabo inspecciones Software y Hardware para encontrar posibles errores del sistema prototipo.
	Validación del prototipo	2	Se llevan a cabo pruebas para mostrar que el sistema satisface los requerimientos planteados.
	Verificación del prototipo	2	Se realizan pruebas para mostrar que el sistema efectúa de manera correcta las aplicaciones destinadas.
Fase 7	Entrega y pruebas del prototipo	1	Se libera una versión para su entrega final y se prueba realizan pruebas de funcionamiento.
	Pruebas de aceptación	1	Los equipos realizan pruebas de funcionamiento de sus prototipos con el profesor.
Fase 8	Construcción del sistema final	5	Se construye en circuito impreso el prototipo final
	Seguimiento del sistema final	5	Se lleva a cabo la aplicación final para la que se destino el sistema.
	Mantenimiento	2	En caso de ocurrir un error en la aplicación o del sistema cómo tal, se realizan las correspondientes correcciones Software y si es posible Hardware.

El repositorio colaborativo constituye el mecanismo para la colaboración que facilita la distribución de la información entre estudiantes, la integración del conocimiento, y la distribución de documentos. Este repositorio es introducido en la Plataforma Iron para apoyar las actividades de colaboración entre estudiantes comprometidos y motivados para terminar en grupo una asignación específica a través de la realización de diversas prácticas.

Bajo el concepto de “repositorio o librería”, los estudiantes conceptualizan la idea de compartir conocimiento con otros estudiantes que puedan poseer un diferente nivel de conocimiento. De acuerdo con Gillet *et al.* [Gillet, 2005], “*los beneficios de compartir activos electrónicos en la educación en Ciencias e Ingeniería son incluso mayores cuando el repositorio es compartido entre un grupo de colaboradores*”. Así, el repositorio colaborativo se ha diseñado como una extensión de la Plataforma Iron para facilitar las actividades de experimentación y de colaboración en un contexto de aprendizaje flexible, y para proporcionar un espacio de trabajo común donde los estudiantes puedan almacenar, recuperar, compartir, e intercambiar los documentos de sus equipos cuando preparan y realizan una práctica. A través de éste, los estudiantes pueden colaborar con otros estudiantes, con los profesores y con sus propios compañeros de equipo.

Lo anterior es una medida para reducir en lo posible la idea y el concepto del individualismo y competencia heredadas del aprendizaje PBL; ya que el repositorio comunitario funge como una herramienta colaborativa y apegada a la filosofía del código abierto (*open source*). De esta forma, los estudiantes tienen la oportunidad de ampliar su experiencia de aprendizaje al utilizar el repositorio colaborativo que les proporcionan diferentes opciones para lograr que el aula tradicional se convierta en un nuevo espacio, en donde tienen a su disposición actividades innovadoras de carácter colaborativo y con aspectos creativos que les permiten afianzar lo que aprenden.

Las características anteriores proveen como resultado que el alumno sea capaz de construir su conocimiento con el profesor como un guía y mentor, otorgándole la libertad necesaria para que explore el ambiente tecnológico.

El desarrollo y uso de los sistemas del conjunto pretende ser de especificación abierta y a consideración del profesor que imparta el curso. De esta forma, se busca que el experto pueda decidir si los estudiantes deben implementar o no el sistema a desarrollar, ya sea en una tarjeta de prototipos, en una placa de circuito impreso (una réplica de la Plataforma Iron), o bien indicar que el sistema se implemente sobre alguna plataforma comercial existente (véase Figura 4.9).

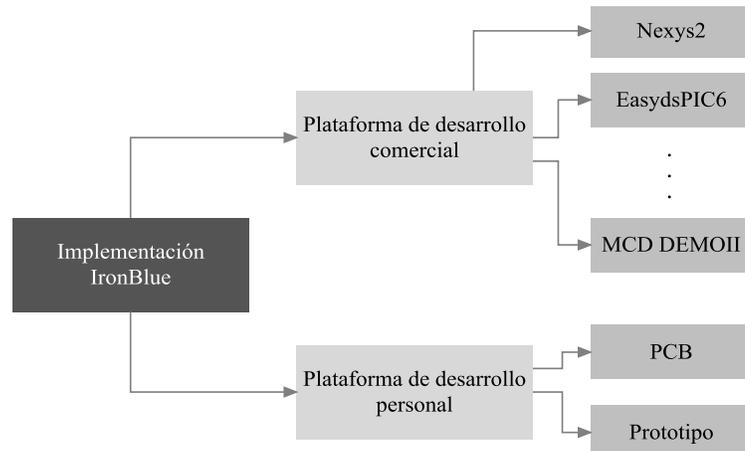


Figura 4.9. Especificación abierta para el desarrollo.

En caso de que el experto decida llevar a cabo el conjunto de herramientas IronBlue sobre una plataforma comercial, la Tabla 4.2 lista algunas opciones de plataformas el mercado de sistemas empujados disponibles para implementar los sistemas DreamBee, DreamBlue y DreamFi.

Tabla 4.2. Plataformas comerciales para el desarrollo de sistemas empujados.

Plataforma	Características	Módulos inalámbricos asociados	IDE	Precio por componente (dólares)
Arduino UNO [URL-16]	<ul style="list-style-type: none"> - Regulador para alimentación de energía de 7VCD a 12VCD - 14 terminales de entradas y salidas externas - MCU ATmega328 - Memoria Flash de 32k - Oscilador interno de 16 MHz 	XBee Shield BT Mate Gold WiFly Shield	Wiring	Arduino UNO: \$ 29.95 XBee Shield: \$ 24.95 BT Mate Gold: \$ 64.95 WiFly Shield: \$ 89.95
EasyPIC6 [URL-17]	<ul style="list-style-type: none"> - Módulo de alimentación de energía seleccionable a 5VDC o 3.3VDC - Soporte para MCU PIC con encapsulado de 18, 28 y 40 terminales. - Módulo para sensor de temperatura DS18B20 - Módulo de comunicación RS232 - Módulo de comunicación PS2 	EasyBee EasyBluetooth EasyWiFi	mikroC	EasyPIC6: \$ 139.00 EasyBee: \$ 39.95 EasyBluetooth: \$ 46.80 EasyWiFi: \$ 59.00

-
- Módulos para pantallas: COG 16x2, LCD 16x2, GLCD 128x64 y pantalla táctil
 - Módulo convertidor A/D con 2 potenciómetros para su ajuste
 - Interruptor de restauración
 - Módulo de teclado 4x4 para introducir caracteres alfanuméricos
 - Módulo de 36 interruptores para excitar entradas digitales a los MCU PIC
 - Módulo de 41 LED de propósito general
 - Módulo de teclado 4x4 para introducir caracteres alfanuméricos
 - Módulo de 5 interruptores en forma de cruz para una fácil y rápida navegación sobre el sistema a desarrollar
-

- Módulo de alimentación de energía seleccionable a 5VDC o 3.3VDC
 - Soporte para MCU dsPIC con encapsulado de 18, 28 y 40 terminales.
 - Módulo para sensor de temperatura DS18B20
 - Módulo de comunicación RS232
 - Módulo de comunicación CAN
 - Módulo de comunicación SPI
 - Módulo de expansión de 16 bits MCP23S17
 - Módulo zumbador
 - Módulos para pantallas: COG 16x2, LCD 16x2, GLCD 128x64 y pantalla táctil
 - Módulo convertidor A/D con 2 potenciómetros para su ajuste
 - Interruptor de restauración
 - Módulo de teclado 4x4 para introducir caracteres alfanuméricos
 - Módulo de 44 interruptores para excitar entradas digitales a los MCU PIC
-

EasydsPIC6
[URL-18]

EasyBee
EasyBluetooth
EasyWiFi

mikroC
dsPIC

EasydsPIC6: \$ 129.00
EasyBee: \$ 39.95
EasyBluetooth: \$ 46.80
EasyWiFi: \$ 59.00

	<ul style="list-style-type: none"> - Módulo de teclado 4x4 para introducir caracteres alfanuméricos - Módulo de 5 interruptores en forma de cruz para una fácil y rápida navegación sobre el sistema a desarrollar 			
MCD DE-MOII [URL-19]	<ul style="list-style-type: none"> - Diversas terminales para entradas y salidas externas - 1 Zócalo para MCU de las familias PIC16F y PIC18F de 28 y 40 terminales - 1 Módulo de alimentación de energía - 1 Interfaz para simulación ICSP compatible con MPLAB IDC2 - 1 Módulo para sensor de temperatura DS18B20 - 1 Módulo de comunicación RS232 - 1 Módulo de comunicación SPI - 1 Módulo de comunicación I2C - 1 Módulo para LCD 16x2 y GLCD 128x64 - 1 Módulo convertidor A/D - 1 Interruptor de restauración - 1 Módulo de teclado 4x4 - 1 Módulo receptor de control remoto y decodificador - 1 Módulo con seis displays de 7 segmentos - 1 Módulo de 8 LED independientes - 1 Módulo para motor a pasos de 4 terminales - 1 Módulo zumbador - 1 Módulo para por interrupciones externas - 1 Módulo independiente de 4 botones 	Genéricos	MPLAB mikroC PIC C	\$45.99
EasyAVR M16	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación de energía normalizada a 5 VCD (soporta fuentes de entrada entre 7 VCD y 12 VCD) - Diversas interruptores para habilitar y deshabilitar los puertos de entradas y sali- 	Genéricos	AVR Studio WINAVR CodeVision	\$59.60

	<ul style="list-style-type: none"> das del MCU - 1 interfaz para simulación ISP - 1 interfaz para conector JTAG - 1 interfaz de comunicación USB 1.1 - 1 interruptor de restauración - 1 módulo de 8 LED independientes - 1 módulo de 10 botones independientes - 1 módulo de comunicación RS232 - 1 módulo de comunicación RS485 - 1 módulo de comunicación I2C - 1 módulo para LCD 16x2 y GLCD 128x64 - 2 potenciómetros de referencia para ajuste de la pantalla LCD y para el convertidor ADC - 1 interruptor de restauración - 1 módulo con 4 displays de 7 segmentos - 1 módulo zumbador - 1 módulo para por interrupciones externas 			
Cerebot II [URL-21]	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación de energía múltiple - Soporte para MCU AT-mega64 - 5 puertos para módulos Pmod de 12 terminales - 3 puertos para módulos Pmod de 6 terminales - Módulo de 4 LED - Módulo controlador para 8 servomotores 	PmodRF2 PmodBT PmodWiFi	AVR STUDIO WINAVR	Cerebot II: \$ 39.95 PmodRF2: \$ 19.99 PmodBT: \$ 54.99 PmodWiFi: \$ 59.99
Adaptador de Puerto Serie RS232 OEM III	<ul style="list-style-type: none"> - 1 puerto de comunicación RS232 - 1 módulo de alimentación de energía de 5VCD - 1 interruptor de restauración - 1 interruptor de funciones - 1 LED RGB 	OZ311i OBS433i OWS451i	-	OEM RS232 Adapter 3: \$ 110.60 OZ311i: \$ 39.00 OBS433i: \$ 59.00 OWS451i: \$ 59.00

4.4. Arquitectura básica de los sistemas empotrados

El diseño de los sistemas empotrados requiere de diferentes aspectos tanto Software como Hardware, incluyendo el dispositivo que controlará el sistema (p.ej., MCU, FPGA, CPLD, etc.). De acuerdo con [Goncalves, 2010], la funcionalidad y complejidad de un sistema empotrado dependen de la solución planteada para el problema.

La arquitectura básica de los sistemas empotrados se puede resumir en la Figura 4.10; donde se observa que en la capa física se encuentra la plataforma de desarrollo, la cual contiene todos los componentes Hardware del sistema; en la capa de Software se almacenan todas las herramientas de diseño y de programación del firmware; y por último, la capa de aplicación se destina para la utilidad del sistema empotrado desarrollado.

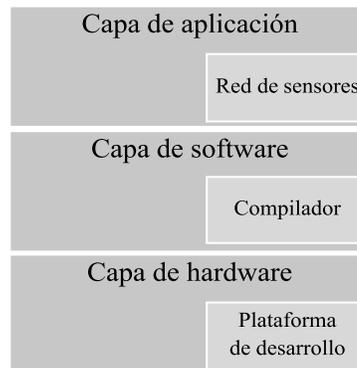


Figura 4.10. Modelo de arquitectura para sistemas empotrados.

En la capa de Hardware una de las principales características a considerar para el diseño o compra de una plataforma de desarrollo es, tomar en cuenta su dependencia al dispositivo que se encargará de realizar las operaciones (p. ej., MCU, microprocesador, FPGA, CPLD, etc.). Así como, el dispositivo que controlará los tipos de periféricos con los que el sistema interactuará con su entorno (p. ej., pantalla LCD, teclado matricial, zumbador, LED, etc.) (véase Figura 4.11).

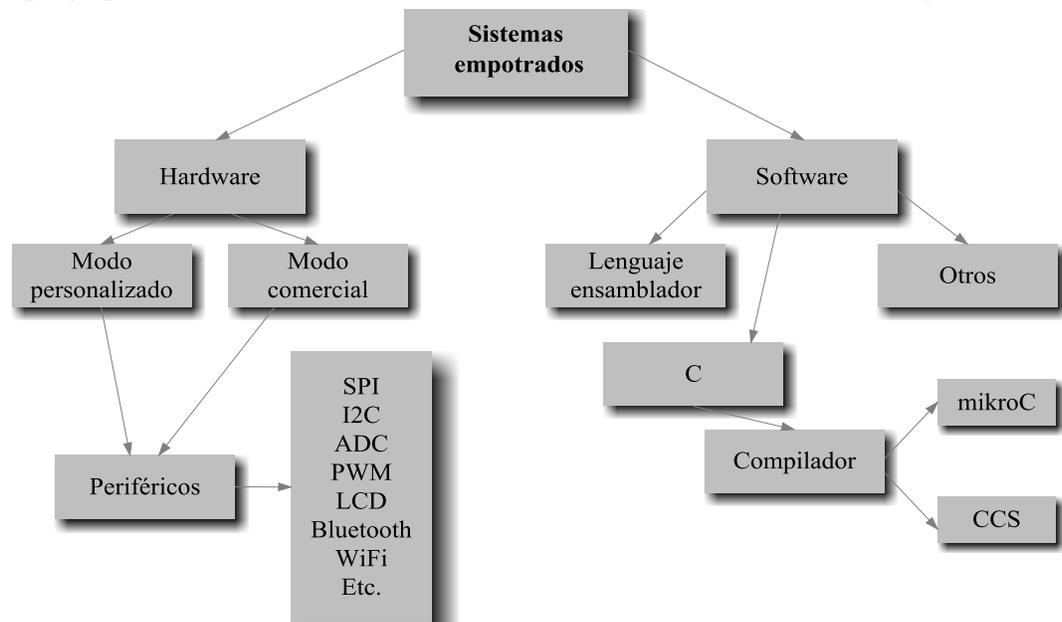


Figura 4.11. Selección de herramientas Hardware y Software.

La decisión depende de la complejidad del sistema y de posibles factores de riesgo en el ciclo de vida de desarrollo del mismo, tomando en cuenta que los problemas del firmware son por lo regular más fáciles de resolver que los problemas en Hardware.

Los sistemas del conjunto de herramientas IronBlue pueden implementarse (dependiendo del criterio del profesor y del objetivo del curso) en dispositivos FPGAs, DSP o MCU; sin embargo, la categoría de plataformas de desarrollo basadas en los microcontroladores de 8 bits y 16 bits (véase Sección 2.4.4), cubren de manera adecuada los requerimientos para el desarrollo del conjunto de herramientas IronBlue (véase Figura 4.12).

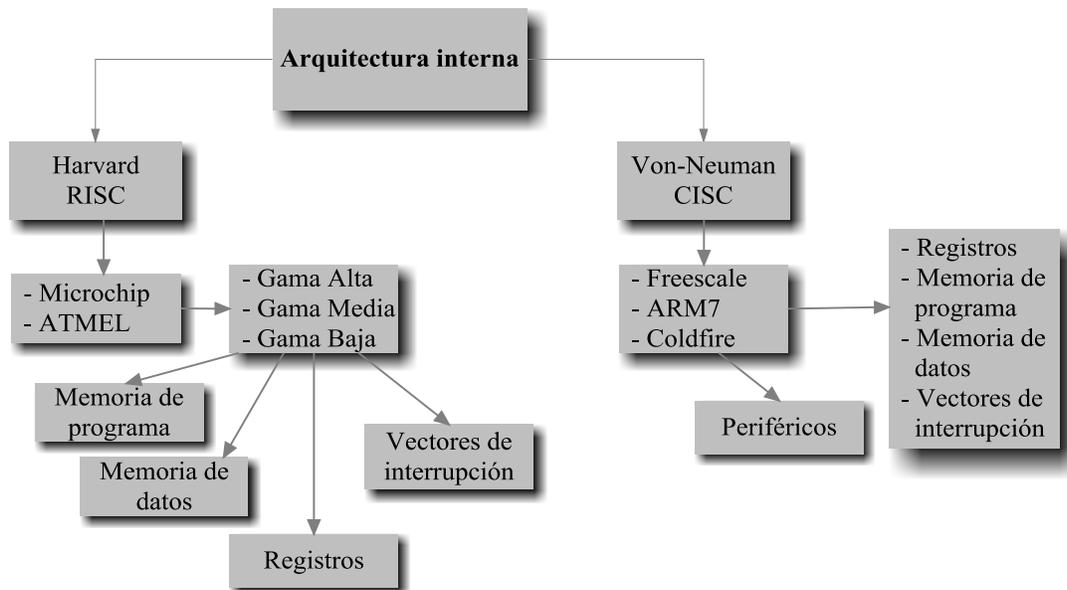


Figura 4.12. Elección del MCU.

En cuanto a la elección de un MCU y de acuerdo a [Gupta, 2008], los factores más importantes a considerar para dicho proceso son los siguientes:

- *Popularidad:* La popularidad de un dispositivo incluye aspectos de gran soporte a nivel técnico, tanto por la comunidad de desarrolladores como por los fabricantes; característica esencial para la elección de un MCU.
- *Disponibilidad:* Condición de unidades distribuibles en el mercado. En este aspecto y desde un punto de vista práctico, si hay poca disponibilidad de algún producto, entonces es difícil incorporar dicho dispositivo en el entrenamiento, afectando el plan de trabajo para realizar prácticas.
- *Precio:* En la mayoría de los entornos educativos, se cuenta con escasos recursos para la realización de proyectos; debido a esto, el dispositivo elegido debe ser utilizado para maximizar los beneficios educativos.
- *Instrucciones y periféricos:* El conjunto de instrucciones de un dispositivo, así como sus capacidades, se refleja en la facilidad de aprendizaje de un MCU en particular. En este sentido, si un MCU contiene un conjunto de instrucciones muy complejo, puede ser muy difícil para los estudiantes aprender el lenguaje. En cuanto a los periféricos, en muchos microcontroladores éstos están determinados por la cantidad de puertos disponibles y en las capacidades de expansión del MCU.

- *Capacidad de expansión de funcionalidad*: Característica indispensable para un MCU dada la constante necesidad de ampliar la funcionalidad del sistema en desarrollo. Para el soporte de esta característica se pueden usar diversos tipos de protocolos (p. ej., I2C, SPI, USB, UART, etc.) para la adaptación de dispositivos externos (p. ej., módulos inalámbricos, sensores, servomotores, etc.).
- *Memoria*: Referente al tamaño para el desarrollo del sistema sobre el MCU.
- *Herramientas Hardware y Software*: Debe contar con un repertorio adecuado de herramientas Hardware y Software como: entornos de desarrollo, simuladores, compiladores, depuradores en tiempo real, etc.

Respecto a la capa Software, existen diversas herramientas SW que permiten el desarrollo del firmware en lenguaje C o ensamblador.

La elección del lenguaje de programación del firmware depende de la complejidad, precisión y hasta en términos de comodidad para un grupo de desarrolladores. Por ejemplo, el programar en lenguaje C tiene ventajas de desarrollo grupal, ya que éste es universal en el sentido de obtener la posibilidad de migrar el código C entre microcontroladores con un mínimo de cambios en la configuración de terminales relacionados a la arquitectura; sin embargo, el uso del lenguaje C para programar el firmware lleva de forma inherente restricciones entre los diferentes tipos de recursos (p.ej., memoria, registros, terminales E/S, etc.) asociados a dispositivos como los microcontroladores de 8 y 16 bits, con recursos limitados. En este contexto, un paso importante para decidir si programar el firmware en lenguaje C, consiste en observar si el MCU cuenta con módulos optimizadores de código C, y evitar la redundancia en el código (véase Figura 4.13).

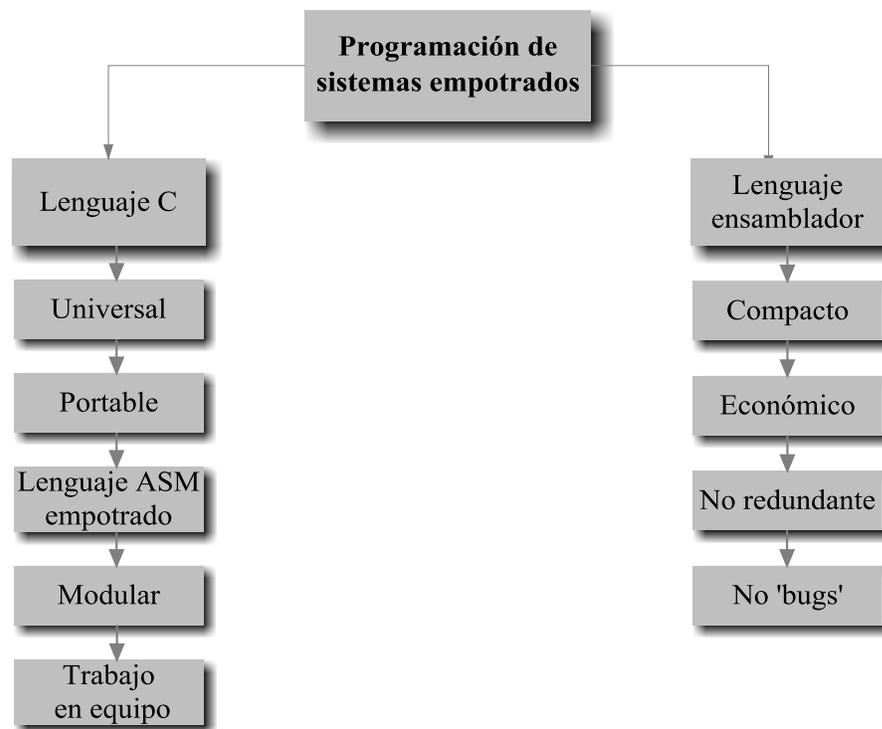


Figura 4.13. Selección del lenguaje a desarrollar el firmware.

En la capa de aplicación de la arquitectura básica de sistemas empotrados (véase Figura 4.10), el diseñador le asigna una utilidad específica al sistema empotrado desarrollado, en el caso del presente trabajo de tesis se ha destinado al estudio de las comunicaciones inalámbricas de corto alcance: ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi (véase Capítulo 3).

Si el experto decide reducir el tiempo de desarrollo para centrarse más en aspectos de diseño del código, la elección de una plataforma de desarrollo comercial es la mejor opción. Así, para la elección de la plataforma de desarrollo basadas en microcontroladores de 8 y 16 bits, es indispensable tener en consideración los alcances del proyecto y los objetivos del curso; ya que, a menudo resulta complicado el adquirir la destreza necesaria para manipular plataformas muy complicadas basados en microcontroladores con un Conjunto de Instrucciones Complejas (CISC, *Complex Instruction Set Command*). De esta forma el tiempo de aprendizaje y adquisición del conocimiento requerido, es uno de los principales factores en la desmotivación de muchos estudiantes y el consecuente fracaso en el desarrollo de un sistema de interés [Chia-Men, 2008]. En este sentido, han surgido diversas plataformas destinadas a reducir el tiempo de aprendizaje de sistemas empotrados y basados en microcontroladores con un Conjunto Reducido de Instrucciones (RISC, *Reduced Instruction Set Command*), permitiendo mejorar las habilidades de los estudiantes y con la capacidad de incrementar la funcionalidad de las herramientas y con soporte de código abierto para el intercambio entre la comunidad de desarrolladores de sistemas empotrados.

5. Diseño y desarrollo del conjunto de sistemas IronBlue

En este capítulo se presenta el diseño y desarrollo del conjunto de sistemas IronBlue con base en la metodología SPIES [García, 2010b].

A modo de resumen del presente capítulo, el lector encontrará el contenido siguiente:

- Especificación de requerimientos del conjunto sistemas IronBlue.
 - Requerimientos de la Plataforma Iron.
 - Requerimientos del sistema DreamBee.
 - Requerimientos del sistema DreamBlue.
 - Requerimientos del sistema DreamFi.
- Diseño del conjunto de sistemas IronBlue.
 - Diagramas de estructura del conjunto de sistemas IronBlue.
 - Diagramas de secuencia del conjunto de herramientas IronBlue.
 - Diagramas de máquinas de estado del conjunto de herramientas IronBlue.
- Desarrollo del conjunto de sistemas IronBlue.
 - Desarrollo Hardware.
 - Desarrollo Software.
- Integración del conjunto de sistemas IronBlue.
- Validación del conjunto de sistemas IronBlue.
 - Validación de la Plataforma Iron.
 - Validación del sistema DreamBee.
 - Validación del sistema DreamBlue.
 - Validación del sistema DreamFi.
- Entrega y mantenimiento del conjunto de sistemas IronBlue.

5.1. Especificación de requerimientos del conjunto sistemas IronBlue

El propósito de la fase de especificación de requerimientos de la metodología SPIES es producir y analizar tanto los requerimientos de los sistemas como las interfaces y diferentes componentes a través de Diagramas de Caso de Uso (UCD, *Use Case Diagrams*) (véase Anexo D).

El conjunto de sistemas IronBlue es un herramienta de aprendizaje para sistemas empo- trados destinados para aplicaciones sobre las tecnologías inalámbricas: IEEE 802.15.4/ZigBee, Bluetooth y IEEE 802.11.b/Wi-Fi. Así mismo, el conjunto de sistemas IronBlue se ejecuta en la Plataforma HW para el desarrollo de proyectos Iron (véase Figura 5.1). El conjunto de sistemas IronBlue se encuentra formado por una plataforma Hardware denominada Plataforma Iron y por cuatro sistemas Firmware.

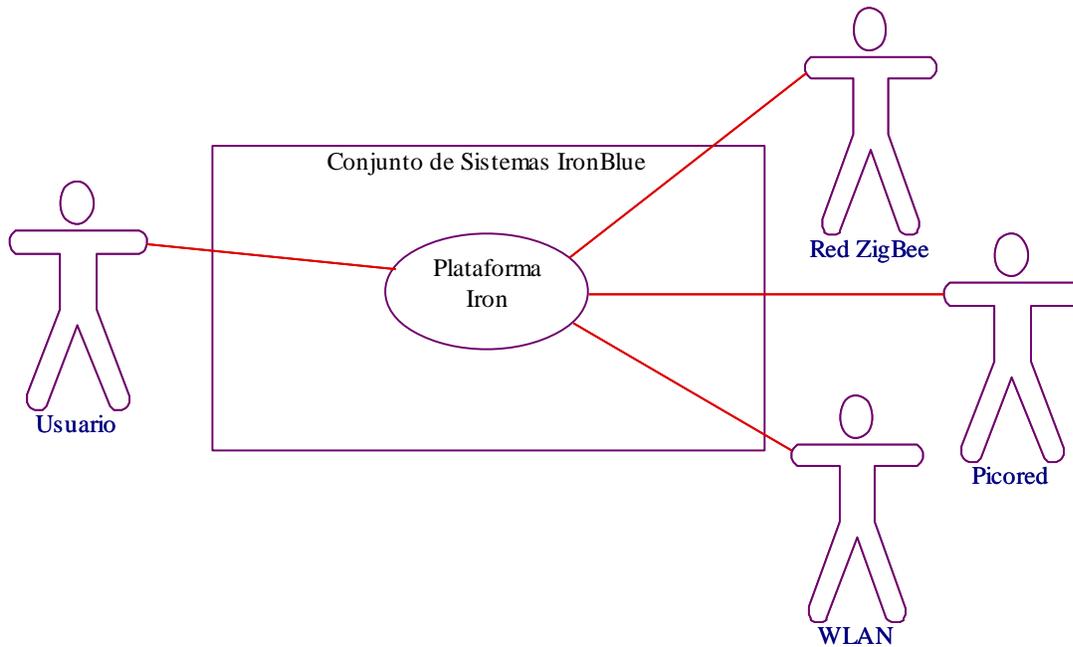


Figura 5.1. Caso de uso general para el conjunto de sistemas IronBlue.

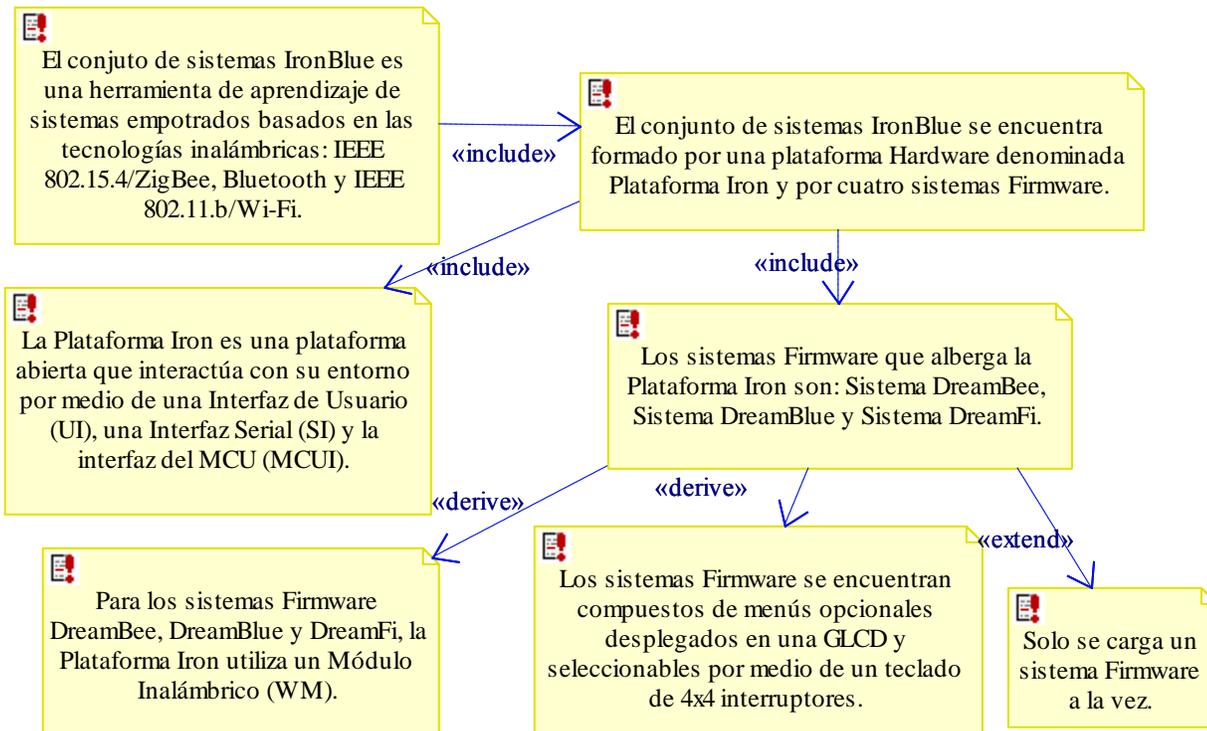


Figura 5.2. Diagrama de requerimientos del conjunto de sistemas IronBlue.

La Figura 5.2 representa los requerimientos generales del conjunto de sistemas IronBlue.

Los sistemas Firmware que alberga la Plataforma Iron son: Sistema DreamBee, Sistema DreamBlue y Sistema DreamFi. Dichos sistemas son programas Firmware independientes y compatibles con el Hardware de la Plataforma Iron; sin embargo, solo se carga un sistema Firmware a la vez en la Plataforma Iron.

Para los sistemas Firmware DreamBee, DreamBlue y DreamFi, la Plataforma Iron utiliza un WM. Para el sistema Firmware BlueBee, la Plataforma Iron utiliza dos WM para la conversión de datos de la tecnología ZigBee a la tecnología Bluetooth. De esta forma y por medio del WM, la Plataforma Iron puede realizar enlaces inalámbricos para enviar o recibir datos a través del aire.

Los sistemas Firmware se encuentran compuestos de menús opcionales desplegados en un GLCD y seleccionables por medio de un teclado matricial de 4x4 botones.

5.1.1. Requerimientos de la Plataforma Iron

La Plataforma Iron es una plataforma de especificación abierta que interactúa con su entorno por medio de distintas interfaces. Las interfaces con las que cuenta la Plataforma Iron son (véase Figura 5.3):

- *Interfaz de Usuario (UI, User Interface)*: Medio de interacción entre la Plataforma Iron y el usuario.
- *Interfaz Serial (SI, Serial Interface)*: Medio compuesto por diversos protocolos seriales que permiten que la Plataforma Iron se comunique de forma alámbrica e inalámbrica con otros dispositivos.
- *Interfaz del MCU (MCUI, Microcontroller Interface)*: Además, la Plataforma Iron posee la MCUI que es la interfaz para alojar y descargar los sistemas Firmware al MCU encargado de gestionar la funcionalidad de la Plataforma Iron.

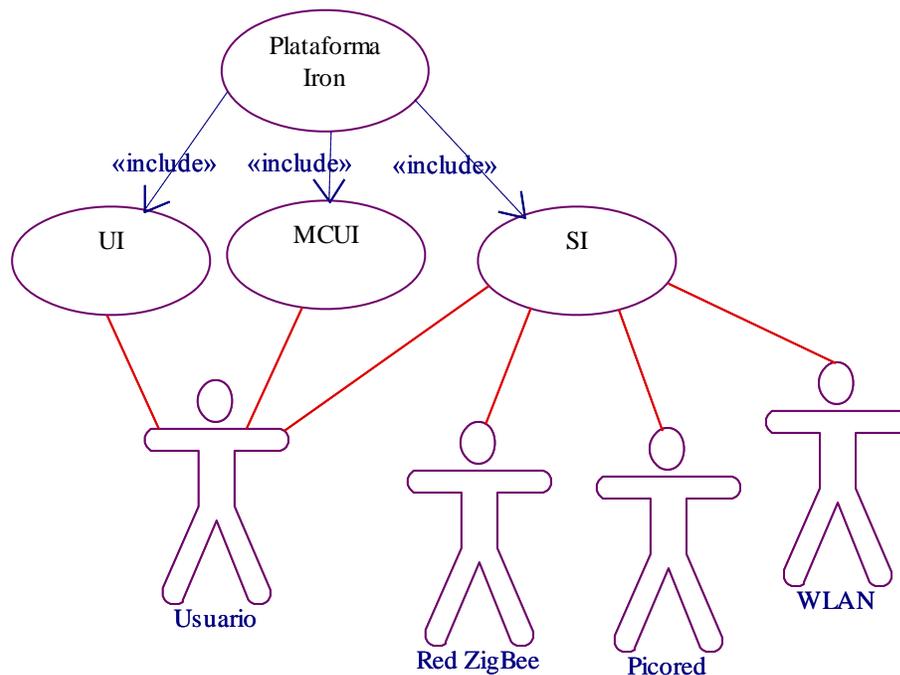


Figura 5.3. Caso de uso para la plataforma Iron.

5.1.1.1. Requerimientos UI

Con el manejo de los componentes de la UI el usuario interactúa con la funcionalidad de los sistemas Firmware (véase Figura 5.4) a través de un GLCD y de un teclado matricial. Además de contar con un interruptor de encendido y apagado de la Plataforma Iron.

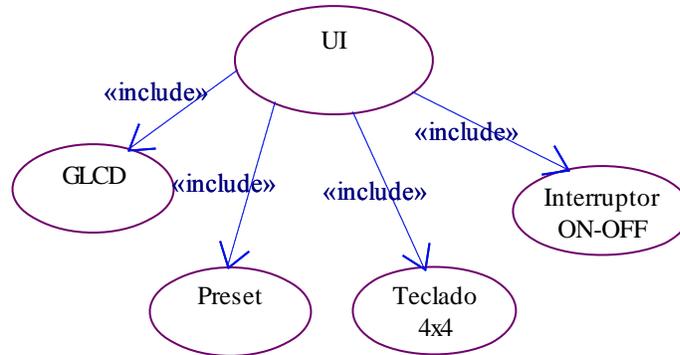


Figura 5.4. Caso de uso para la Interfaz de Usuario.

La Tabla 5.1 lista los componentes que conforman la UI.

Tabla 5.1. Componentes de la UI.

Componentes UI	Descripción
GLCD	Muestra las actividades en curso realizadas en la Plataforma Iron.
Preset	Ajusta el brillo del GLCD.
Teclado matricial de 4x4 botones	Medio por donde el usuario indica a los sistemas las tareas a realizar.
Interruptor ON-OFF	Interruptor para encender o pagar el funcionamiento de la Plataforma Iron.

5.1.1.2. Requerimientos SI

Para extender la funcionalidad de la Plataforma Iron en futuras aplicaciones, la SI se constituye de los siguientes protocolos seriales con sus respectivos puertos (véase Figura 5.5):

- *CAN*: Un puerto para el protocolo CAN de alta velocidad.
- *I2C*: Un puerto para el protocolo de dos líneas completo I2C.
- *PS/2*: Un puerto para conectar un teclado mediante el protocolo PS/2.
- *UART*: Dos puertos UART denominados puerto RS232A y puerto RS232B.
- *One-Wire*: Un puerto para el protocolo de una línea One-Wire.

La Plataforma Iron establece comunicaciones inalámbricas mediante los WM. Así, mediante los puertos RS232A y RS232B de la SI, la Plataforma Iron se ensambla con los WM (véase Figura 5.6). Cada WM consta de un Adaptador de Puerto Serie (SPA, *Serial Port Adapter*) y de un dispositivo o Equipo de Manufactura Original (OEM, *Original Equipment Manufacturer*).

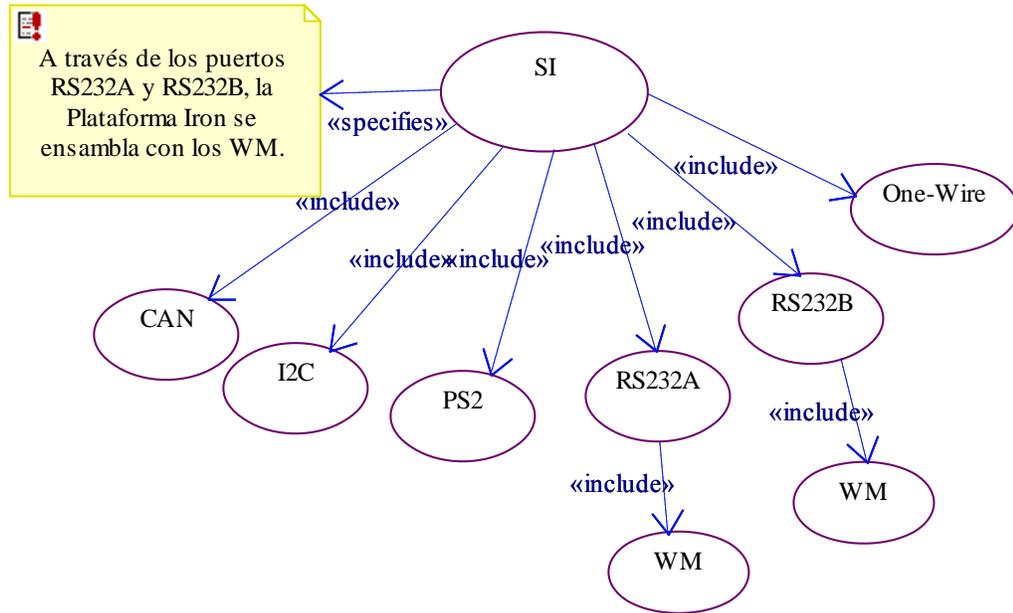


Figura 5.5. Caso de uso para la Interfaz Serial.

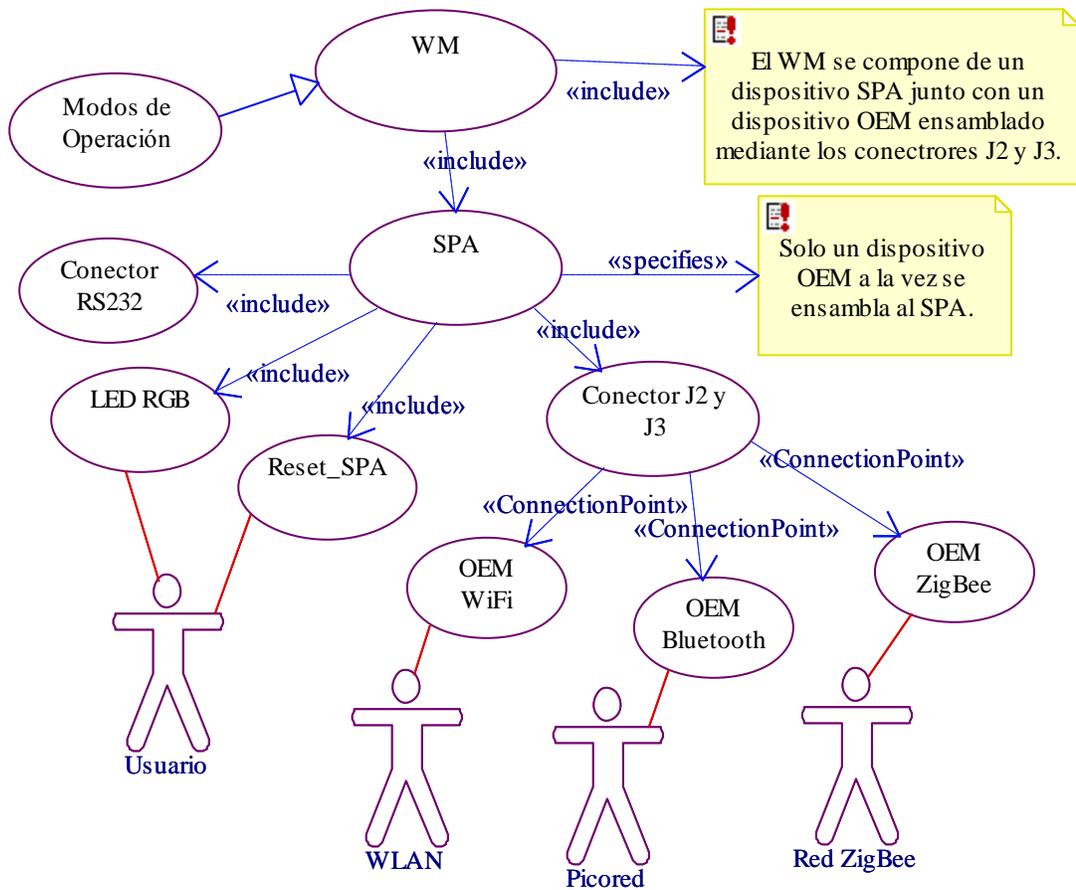


Figura 5.6. Caso de uso para el WM.

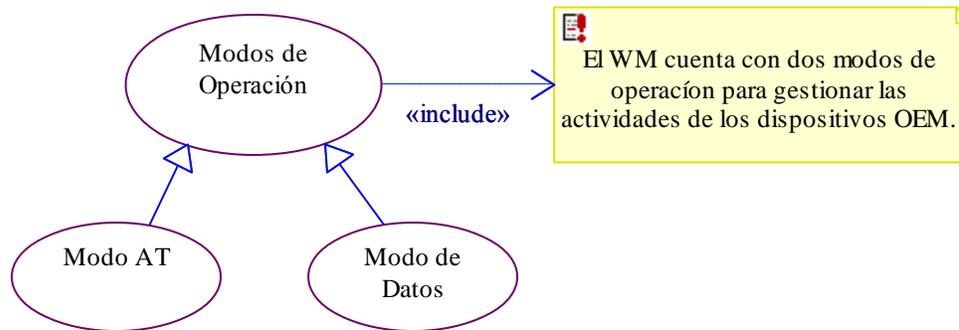


Figura 5.7. Caso de uso para los Modos de Operación del SPA.

El SPA acoplado con algún dispositivo OEM²⁴ funciona por medio de dos modos de operación denominados Modo AT y Modo de Datos (véase Figura 5.7). El Modo AT se utiliza para configurar los dispositivos OEM por medio del envío en forma serial de órdenes AT. En este sentido, el MCU de la Plataforma Iron se encarga de enviar las órdenes AT de forma serial al SPA adecuadas para configurar el dispositivo OEM. Una vez aceptada la orden AT, el MCU recibe la respuesta a la orden AT proveniente del dispositivo OEM y gestionada por el SPA.

En el Modo de Datos el WM habilita a los dispositivos para el envío o recepción de datos a través del aire. Al inicio, el WM comienza a trabajar en Modo de Datos con la opción de solicitar un cambio de modo de operación a través de una orden enviada por el MCU de la Plataforma Iron. Para el cambio de modo de operación, el WM debe recibir una cadena de caracteres denominada secuencia de escape, cumpliendo a la vez con los siguientes requisitos:

- No debe haber sido enviado ningún dato un segundo antes y después del envío de la secuencia de escape.
- El tiempo de envío de la secuencia de escape no debe ser mayor a 200 ms.

El usuario también puede interactuar con el WM, ya que el SPA contiene un LED RGB que muestra las diferentes actividades que se están realizando sobre los dispositivos OEM (véase Figura 5.8). La Tabla 5.2 lista los estados de operación en los que se pueden encontrar los dispositivos OEM e indicados por el LED RGB del SPA, y la Tabla 5.3 lista los componentes del WM.

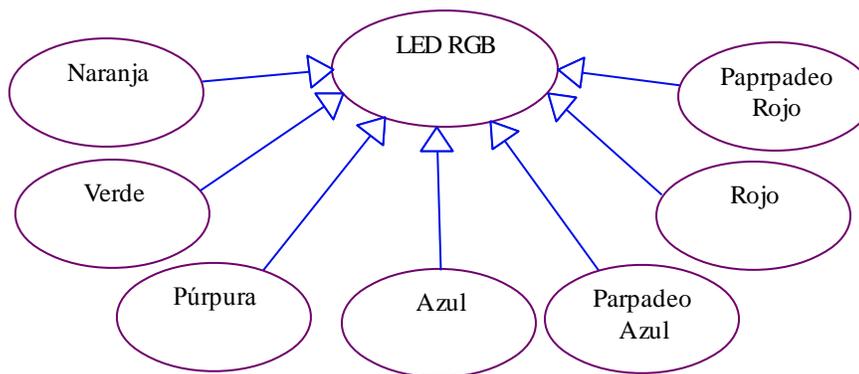


Figura 5.8. Caso de uso para el LED RGB del SPA.

²⁴ De aquí en adelante al SPA acoplado con algún dispositivo OEM ZigBee, OEM Bluetooth u OEM Wi-Fi, se le llamará WM ZigBee, WM Bluetooth y WM Wi-Fi, respectivamente.

Tabla 5.2. Estados de operación del SPA.

Color LED RGB	Descripción
Verde	El SPA se encuentra en el modo de operación Modo de Datos y no hay conexión con algún dispositivo.
Naranja	El SPA se encuentra en el modo de operación Modo AT
Púrpura	Un intento de conexión se encuentra en progreso.
Azul	Existe una conexión activa en curso.
Parpadeo azul	Existe una conexión activa en curso y además se están transmitiendo datos a través del aire.
Parpadeo rojo	Desbordamiento de la memoria temporal del SPA, error detectado sobre la interfaz UART.

Para reiniciar los parámetros de los dispositivos OEM a sus valores por defecto, el SPA cuenta con un interruptor denominado `Reset_SPA` (véase Anexo Módulo Inalámbrico). Para lograr la operación de restablecimiento el usuario se deben seguir los siguientes pasos:

- Remover el cable de alimentación de energía del SPA.
- Presionar y mantener el interruptor de restablecimiento del SPA.
- Enseguida colocar de nuevo el cable de alimentación sin soltar el interruptor de restauración del SPA.

Tabla 5.3. Componentes del WM

Componente	Descripción	
SPA	LED RGB	Indica el estado de operación de los dispositivos OEM.
	Reset_SPA	Restablece los parámetros de los dispositivos OEM.
	Conector RS232	Conector RS232 tipo macho por donde se acopla el WM a la Plataforma Iron.
OEM ZigBee	-	Realiza la conexión inalámbrica mediante el protocolo ZigBee.
OEM Bluetooth	-	Realiza la conexión inalámbrica mediante el protocolo Bluetooth.
OEM WiFi	-	Realiza la conexión inalámbrica mediante el protocolo Wi-Fi.

5.1.1.3. Requerimientos MCUI

La MCUI se compone de una base para alojar al MCU encargado de gestionar las tareas de la Plataforma Iron, un botón denominado `Reset_MCU` para reiniciar el sistema alojado en el MCU (véase Figura 5.9).

La MCUI cuenta con el denominado puerto ICSP que permite la Programación Serial en Circuito (ICSP, *In Circuit Serial Programming*) para descargar los sistemas Firmware sin necesidad de remover el MCU de la Plataforma Iron

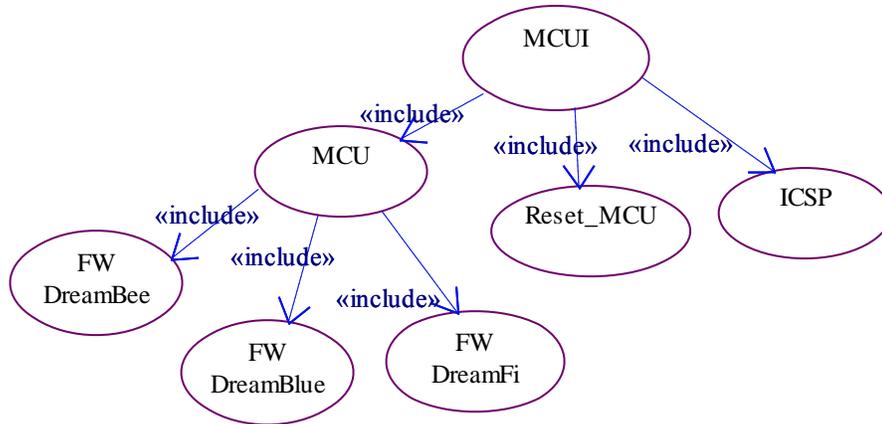


Figura 5.9. Caso de uso del MCU.

El MCU gestiona todas las actividades realizadas por la Plataforma Iron a través de los sistemas Firmware; pero solo un sistema Firmware a la vez puede ser cargado al MCU. La Tabla 5.4 resume los componentes de la MCUI.

Tabla 5.4. Componentes de la MCUI.

Componente	Descripción
MCU	El MCU gestiona las actividades de la Plataforma Iron.
	FW DreamBee Sistema de aprendizaje para la tecnología ZigBee.
	FW DreamBlue Sistema de aprendizaje para la tecnología Bluetooth.
	FW DreamFi Sistema de aprendizaje para la tecnología Wi-Fi.
	FW BlueBee Sistema pasarela para las tecnologías Bluetooth y ZigBee.
Reset_MCU	Reinicia el Firmware hospedado en el MCU.
ICSP	Interfaz para descargar los sistemas Firmware al MCU sin necesidad de removerlo de la Plataforma Iron.

A continuación se presentan los requisitos de los sistemas Firmware DreamBee, Firmware DreamBlue, Firmware DreamFi y Firmware BlueBee.

5.1.2. Requerimientos del sistema DreamBee

El sistema DreamBee es una herramienta de aprendizaje para la tecnología inalámbrica ZigBee. El sistema DreamBee hospedado en el MCU de la Plataforma Iron habilita la transferencia de datos entre la Plataforma Iron y un dispositivo IEEE 802.15.4/ZigBee. La Plataforma Iron utiliza el WM ZigBee para llevar a cabo la transferencia de datos a través del aire.

Al iniciar el sistema DreamBee, el usuario encuentra los siguientes subsistemas en pantalla (véase Figura 5.10):

- *Propiedades Generales ZigBee (ZGP, ZigBee General Properties)*: En el subsistema ZGP el usuario ajusta el nombre al dispositivo WM ZigBee; además de poder ver la dirección del WM ZigBee.
- *Propiedades de Accesibilidad ZigBee (ZAP, ZigBee Accessibility Properties)*: En el subsistema ZAP el usuario habilita o deshabilita la característica de visibilidad ZigBee del WM ZigBee, también configura los parámetros seriales para establecer una conexión ZigBee.

- *Gestión de la Conexión ZigBee (ZCM, ZigBee Connection Management)*: En el subsistema ZCM el usuario elige algún canal en la banda de 2450 MHz para buscar dispositivos ZigBee en el rango de cobertura y enlazarse a ellos posteriormente.
- *Gestión de la Seguridad ZigBee (ZSM, ZigBee Security Management)*: En el subsistema ZSM el usuario puede montar conexiones seguras mediante el empleo de una clave de seguridad utilizada en la autenticación y encriptación en el envío de datos entre dispositivos IEEE 802.15.4/ZigBee.
- *Gestión de Transferencia de Datos ZigBee (ZDTM, ZigBee Data Transfer Management)*: En este subsistema el usuario puede enviar mensajes de texto entre la Plataforma Iron y un dispositivo ZigBee previamente enlazado mediante la tecnología IEEE 802.15.4/ZigBee.

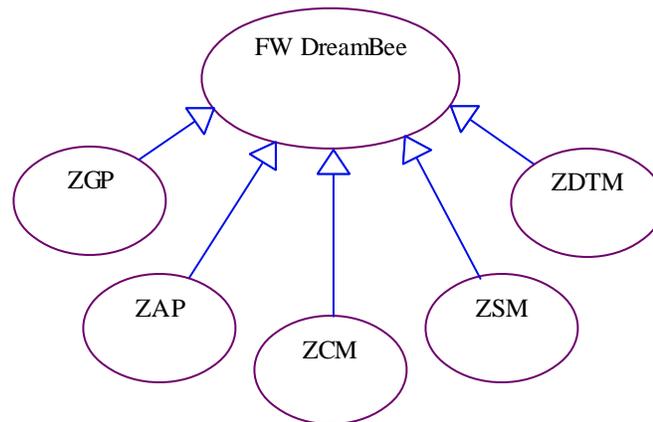


Figura 5.10. Caso de uso para el sistema Firmware DreamBee.

5.1.2.1. Requerimientos subsistema ZGP

El subsistema ZGP ingresa al Modo AT del WM ZigBee, el usuario cuenta con las órdenes AT: `NOMBRE_ZB`, `LEER_NOMBRE_ZB` y `DIRECCION_ZB` (véase Figura 5.11).

Mediante la orden AT `NOMBRE_ZB`, el usuario relaciona con un nombre al WM ZigBee para poder identificarlo de esta forma en una red ZigBee. El nombre local por defecto para el WM ZigBee es “cB-OZS311”. Con la orden AT `DIRECCION_ZB`, el sistema DreamBee muestra la dirección extendida del WM ZigBee.

La Tabla 5.5 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas asociadas a cada orden AT (en formato de negrita) utilizada por el subsistema ZGP.

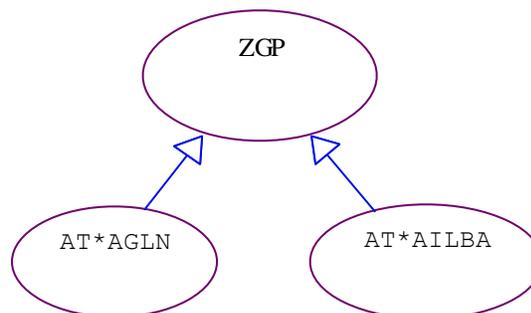


Figura 5.11. Caso de uso para subsistema ZGP.

Tabla 5.5. Órdenes AT utilizadas por el subsistema ZGP.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
Propiedades Generales ZigBee (ZGP)	NOMBRE_ZB (AT*AGLN)	<p>Asigna un nombre local al WM ZigBee. La orden AT abre un menú con las siguientes opciones:</p> <p>1: CB-OZS311. Asocia el nombre “CB-OZS311” al WM ZigBee.</p> <p>2: SENSOR ZIGBEE. Asocia el nombre “SENSOR ZIGBEE” al WM ZigBee.</p> <p>3: INTRODUCIR CARACTERES. Abre una nueva ventana para introducir el nombre (Máx. 16 caracteres). La ventana cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>A. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.</p> <p>B. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.</p> <p>C. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error en respuesta a la interrupción a la orden AT).</p> <p>D. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia al nombre local del WM ZigBee.</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden AT NOMBRE_ZB tiene el siguiente formato:</p> <p>*AGLN: <name></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><name>: Nombre del WM ZigBee.</p>
	LEER_NOMBRE_ZB (AT*AGLN?)	<p>Lee el nombre actual del WM ZigBee un nombre local al WM ZigBee.</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden AT LEER_NOMBRE_ZB tiene el siguiente formato:</p> <p>*AGLN: <name></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><name>: Nombre del WM ZigBee.</p>
	DIRECCION_ZB (AT*AILBA)	<p>Muestra la dirección extendida del WM ZigBee</p> <p>*AILBA: <address></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><address>: Dirección del WM ZigBee.</p>

5.1.2.2. Requerimientos subsistema ZAP

El subsistema ZAP ingresa al Modo AT del WM ZigBee. Dentro del subsistema ZAP el usuario cuenta con las órdenes AT: `MODO_VISIBLE_ZB` y `PARAM_SERIAL_ZB` (véase Figura 5.12).

La característica de visibilidad del WM ZigBee se implementa enviando o no señales beacon (véase Capítulo 3) cuando se recibe una solicitud a alguna señal beacon. De esta forma con la orden AT `MODO_VISIBLE_ZB` el usuario decide si el WM ZigBee puede ser visto por otros dispositivos IEEE 802.15.4/ZigBee y con el mismo canal de conexión en el área de cobertura. Por último con la orden AT `PARAM_SERIAL_ZB` el usuario establece los diferentes parámetros asociados a la conexión serial ZigBee.

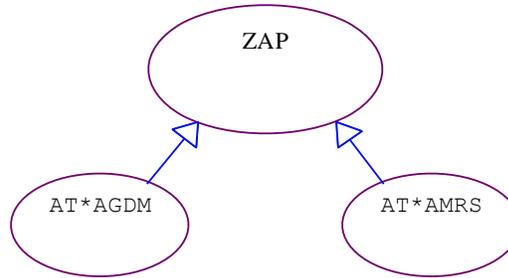


Figura 5.12. Caso de uso para el subsistema ZAP.

La Tabla 5.6 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas asociadas a cada orden AT utilizada por el subsistema ZAP.

Tabla 5.6. Órdenes AT utilizadas por el subsistema ZAP.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
Propiedades de Accesibilidad ZigBee (ZAP)	<code>MODO_VISIBLE_ZB</code> (<code>AT*AGDM</code>)	Habilita o deshabilita el modo visible ZigBee, la orden AT cuenta con dos opciones: 1: NO VISIBLE. Deshabilita el modo visible del WM ZigBee. 2: VISIBLE. Habilita modo el modo visible del WM ZigBee. La respuesta de forma exitosa es: *AGDM: <mode> OK Parámetros involucrados en la respuesta: <mode> : Valor de 1 para el modo no visible, o valor de 3 para el modo visible.
	<code>PARAM_SERIAL_ZB</code> (<code>AT*AMRS</code>)	Escribe la velocidad de transmisión ZigBee, las opciones dadas por esta orden AT son: 1: 57600. 2: 19200. 3: 9600. La respuesta de forma exitosa a la orden AT <code>PARAM_SERIAL_ZB</code> tiene el siguiente formato: *AMRS: <baud_rate>, <data_bits>, <stop_bits>, <parity>, <flow_control> OK Parámetros involucrados en la respuesta: <baud_rate> : Contiene los enumeradores 8 (57600), 6

(19200) y 5 (9600), que corresponden a la opción seleccionada por el usuario.

<data_bits>: Valor de 1, correspondiente a una trama de 8 bits.

<stop_bits>: Valor de 1, correspondiente a un bit de paro sobre la trama.

<parity>: Valor de 1 correspondiente a no paridad en la trama de bits.

<flow_control>: Valor de 0, correspondiente a no control de flujo.

5.1.2.3. Requerimientos subsistema ZSM

El subsistema ZSM ingresa al Modo AT del WM ZigBee y se encuentran las siguientes órdenes AT: `MODO_SEGURO_ZB`, `CLAVE_ZB` y `LEER_CLAVE_ZB` (véase Figura 5.13).

La seguridad del WM ZigBee se basa en la autenticación durante el establecimiento de la conexión y en la encriptación de los datos transferidos. Los datos son encriptados utilizando el estándar AES128 descrito en la sección de seguridad de la especificación IEEE 802.15.2 (Sección 3.1).

La autenticación y generación de la clave de encriptación se ha diseñado en el dispositivo OEM ZigBee a partir del establecimiento del enlace mediante tramas HMAC, procedimiento adaptado del estándar IEEE 802.11i [Wi-Fi, 2010]. El usuario puede habilitar el modo de seguridad del WM ZigBee mediante la orden AT `MODO_SEGURO_ZB`.

Si el usuario decide habilitar el modo seguro, entonces también debe fijar una clave de seguridad ZigBee para el intercambio de claves de encriptación entre los dispositivos mediante la orden AT `CLAVE_ZB`.

Ambos dispositivos ZigBee deben contar con el mismo código PIN para poder establecer una conexión. Para leer la clave actual del WM ZigBee el usuario puede utilizar la orden AT `LEER_CLAVE_ZB`.

La Tabla 5.7 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas asociadas a cada orden AT utilizada por el subsistema ZSM.

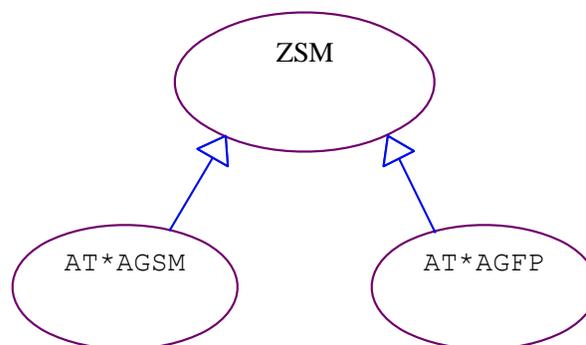


Figura 5.13. Caso de uso para el subsistema ZSM

Tabla 5.7. Órdenes AT utilizadas por el subsistema ZSM.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
	MODO_SEGURO_ZB (AT*AGSM)	<p>Configuración del modo seguro. La orden cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>1: NO SEGURO ZB. Deshabilita el modo seguro en ZigBee.</p> <p>2: SEGURO ZB. Modo seguro habilitado.</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden AT MODO_SEGURO_ZB tiene el siguiente formato:</p> <p>AGSM: <mode></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><mode>: Contiene la opción seleccionada por el usuario.</p>
Gestión de la Seguridad ZigBee (ZSM)	CLAVE_ZB (AT*AGFP)	<p>Asocia las siguientes cadenas a la clave de seguridad:</p> <p>1: 0. Asocia la cadena “0” a la clave de seguridad ZigBee.</p> <p>2: 101010. Asocia la cadena “101010” a la clave de seguridad ZigBee.</p> <p>3: INTRODUCIR_CARACTERES. Esta opción abre una nueva ventana donde el usuario introduce la clave de seguridad ZigBee (Máx. 6 caracteres). La ventana cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>A. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.</p> <p>B. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.</p> <p>C. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error en respuesta a la interrupción de la orden AT).</p> <p>D. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia a la clave de seguridad ZigBee.</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden AT es:</p> <p>*AGFP: <pin></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><pin>: Contiene la clave de seguridad ZigBee.</p>
	LEER_CLAVE_ZB (AT*AGFP?)	<p>Lee la clave de seguridad actual del WM ZigBee. La respuesta contiene el siguiente formato:</p> <p>*AGFP: <pin></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><pin>: Contiene la clave actual de seguridad ZigBee.</p>

5.1.2.4. Requerimientos subsistema ZCM

El subsistema ZCM ingresa al Modo AT del WM ZigBee. Dentro del subsistema ZCM el usuario cuenta las siguientes órdenes AT: `CANAL_ZB`, `BUSQUEDA_ZB`, `CONECT_A_DISPOST_ZB`, `LEER_RSSI_ZB` y `FINA_CONECT_ZB` (véase Figura 5.14).

El usuario puede elegir mediante la orden AT `CANAL_ZB` alguno de los 16 canales disponibles en la banda de 2450 MHz, donde el WM ZigBee soporta hasta 16 canales; sin embargo, el WM ZigBee no soporta canales de transmisión para las bandas de los 915 MHz y 868 MHz. El canal debe ser elegido cuidadosamente para que la transferencia de datos no sea interrumpida o perturbada por otras tecnologías inalámbricas que ocupen la misma frecuencia de operación. De la misma manera el usuario debe recordar que la numeración de los canales en la banda de 2450 MHz van del canal 11 al canal 21 (Sección 3.1).

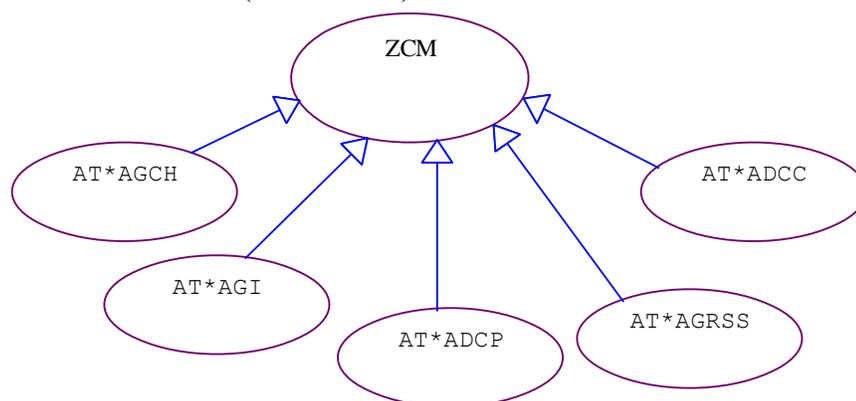


Figura 5.14. Caso de uso para el subsistema ZCM.

Para buscar dispositivos IEEE 802.15.4/ZigBee, el usuario cuenta con la orden AT `BUSQUEDA_ZB`, la orden realiza un procedimiento de búsqueda de dispositivos IEEE 802.15.4/ZigBee mostrando en pantalla la dirección extendida de cada dispositivo encontrado. El WM ZigBee solamente realiza búsquedas en el canal que esté configurado para realizar transmisiones de datos entre dispositivos IEEE 802.15.4/ZigBee.

El WM ZigBee se encuentra configurado de fábrica como nodo FFD (Sección 3.1) y aceptar conexiones entrantes (perfil Servidor)²⁵; sin embargo para enviar solicitudes beacon de conexión a otro dispositivo IEEE 802.15.4/ZigBee (perfil Cliente), el usuario debe especificar con la orden AT `CONECT_A_DISPOST_ZB` la dirección extendida del dispositivo ZigBee remoto a conectarse (ya sea un nodo RFD o un nodo FFD). Si el proceso de conexión es exitoso, el LED RGB del WM cambiará a color azul; sin embargo el WM ZigBee aún se encontrará en Modo AT, por lo que para transmitir datos es necesario cambiar a Modo de Datos (entrando al subsistema ZDTM).

Una vez establecido un enlace ZigBee, el usuario puede adquirir el RSSI del dispositivo con el que se encuentra conectado a través de la orden AT `LEER_RSSI_ZB`; sin embargo, es necesario que el WM ZigBee aún se encuentre en Modo AT, por lo que el usuario no debe entrar al subsistema ZDTM para emplear la orden de lectura RSSI. Por último si el usuario desea terminar la conexión actual ZigBee (solo en Modo AT), lo puede hacer con la orden AT `FINA_CONECT_ZB`.

²⁵ El dispositivo OEM ZigBee empleado en el presente trabajo de tesis no soporta configuraciones como coordinador PAN.

La Tabla 5.8 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas utilizadas por el subsistema ZCM.

Tabla 5.8. Órdenes AT utilizadas por el subsistema ZCM.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
Gestión de la Conexión ZigBee (ZCM)	CANAL_ZB (AT*AGCH)	<p>Escribe el número del canal ZigBee para efectuar conexiones y búsquedas en la banda 2450 MHz. La opción abre una nueva ventana donde el usuario introduce el canal a utilizar. El canal debe estar en el rango de 11 al 26. La ventana cuenta con las siguientes opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> A. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor. B. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla. C. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error en respuesta a la interrupción a la orden AT). D. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia al canal ZigBee a utilizar para el establecimiento de conexiones. <p>La respuesta de forma exitosa es: *AGCH:<channel> OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta: <channel>: Número del canal elegido.</p>
	BUSQUEDA_ZB (AT*AGI)	<p>Realiza una búsqueda en el canal ZigBee configurado para realizar conexiones. La orden tarda aproximadamente 5.12 segundos para efectuar la búsqueda y responde por cada dispositivo IEEE 802.15.4/ZigBee encontrado como sigue:</p> <p>*AGI:<address>,<cod> OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta: <address>: Dirección extendida ZigBee del dispositivo encontrado. <cod>: Valor de 0 correspondiente a un dispositivo ZigBee FFD.</p>
	CONNECT_A_DISPOST_ZB (AT*ADCP)	<p>El menú de ésta orden AT cuenta con las siguientes opciones para conectarse de forma rápida :</p> <p>1: WM_ZB_2:001167D8EEA6. 2: OTRO. Abre una nueva ventana solicitando la dirección del dispositivo ZigBee a conectarse:</p> <ul style="list-style-type: none"> A. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor. B. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pan-

	<p>talla.</p> <p>C. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error en respuesta a la interrupción a la orden AT).</p> <p>D. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia a la dirección ZigBee a utilizar para conectarse.</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden es:</p> <p>*ADCP:<connection_handle></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><connection_handle>: Valor tipo entero que identifica la conexión.</p>
<p>LEER_RSSI_ZB (AT*AGRSS)</p>	<p>La orden adquiere el nivel RSSI del enlace establecido con un dispositivo ZigBee.</p> <p>La respuesta a la orden tiene el siguiente formato:</p> <p>* AGRSS:<rssi></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><rssi>: Número entero que representa la fuerza de la señal recibida por el dispositivo conectado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • < 128: La fuerza de la señal recibida es: [128 - (rssi)] dB, debajo del rango de la señal óptima. • 128: La fuerza de la señal recibida se encuentra dentro del rango de la señal óptima. • > 128: La fuerza de la señal recibida es: [(rssi) - 128] dB, arriba del rango de la señal óptima. <p>Ejemplo: Un valor de 130 es igual a +2 dB.</p>
<p>FINAL_CONECT_ZB (AT*ADCC)</p>	<p>Abre una ventana solicitando el identificador de la conexión a cerrar con las siguientes opciones:</p> <p>1: 1. 2: 2. 3: 3.</p> <p>4: 4. 5: 5. 6: 6.</p> <p>0: 0.</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden es:</p> <p>OK</p>

5.1.2.5. Requerimientos subsistema ZDTM

El subsistema ZDTM entra al Modo de Datos del WM ZigBee para recibir o enviar información a través del aire. El subsistema solo cuenta con una orden AT `MODO_DATOS`.

A modo de ejemplificar la configuración del WM ZigBee con la Plataforma Iron, el subsistema ZDTM realiza un tipo de actividad enviar datos a través del aire: `MENSAJES_PRUEBA` (véase Figura 5.15).

La Tabla 5.9 muestra las opciones de las actividades del subsistema ZDTM.

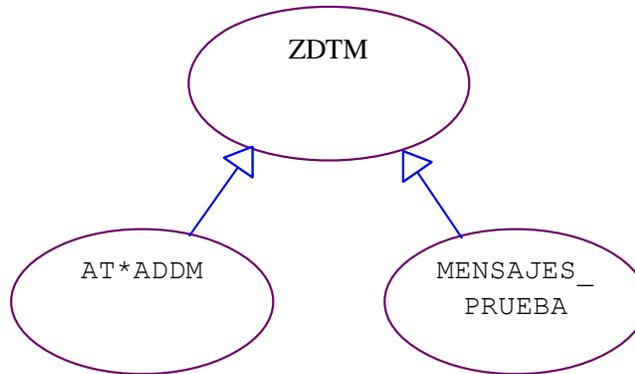


Figura 5.15. Caso de uso para el subsistema ZDTM.

Tabla 5.9. Órdenes AT utilizadas por el subsistema ZDTM.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones
Gestión Transferencia de Datos ZigBee (ZDTM)	MODO_DATOS (AT*ADDM)	<p>Entra al modo de datos del WM ZigBee. La orden cuenta con la siguiente opción:</p> <p>1: MENSAJE_PRUEBA. Abre un nuevo menú con las siguientes opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> A. MENSAJE_1. Envía el mensaje “HOLA ZIGBEE” al dispositivo ZigBee conectado al WM ZigBee. B. ESCRIBIR_MENSAJE. Abre una nueva ventana solicitando el mensaje a enviar a través del aire: <ul style="list-style-type: none"> a. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor. b. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla. c. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error en respuesta a la interrupción a la orden AT). d. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia al mensaje a enviar.

5.1.3. Requerimientos del sistema DreamBlue

El sistema DreamBlue es una herramienta de aprendizaje para la tecnología inalámbrica Bluetooth. Así mismo el sistema DreamBlue albergado en el MCU de la Plataforma Iron habilita la transferencia de datos entre la Plataforma Iron y un dispositivo Bluetooth. La Plataforma Iron utiliza el WM Bluetooth para llevar a cabo la transferencia de datos de forma inalámbrica.

Al inicio del sistema DreamBlue el usuario encuentra los siguientes subsistemas en pantalla (véase Figura 5.16):

- *Propiedades Generales Bluetooth (BGP, Bluetooth General Properties)*: En el subsistema BGP el usuario ajusta el nombre al dispositivo WM Bluetooth, ver la dirección Bluetooth del WM Bluetooth y establecer el tipo de dispositivo Bluetooth.
- *Propiedades de Accesibilidad Bluetooth (BAP, Bluetooth Accessibility Properties)*: En el subsistema BAP el usuario habilita o deshabilita el modo conectable y modo descubrible Bluetooth WM Bluetooth y los parámetros seriales del protocolo RFCOMM y realizar conexiones mediante el Perfil de Puerto Serie (SPP, *Serial Service Profile*) Bluetooth.
- *Gestión de la Seguridad Bluetooth (BSM, Bluetooth Security Management)*: En el subsistema BSM el usuario habilita el modo de seguridad y configurar la clave de separa enlaces Bluetooth denominada código PIN.
- *Gestión de la Conexión Bluetooth (BCM, Bluetooth Connection Management)*: En el subsistema BCM el usuario busca dispositivos Bluetooth en el rango de cobertura y solicita conexión a servicios disponibles en los dispositivos encontrados.
- *Gestión de Transferencia de Datos Bluetooth (BDTM, Bluetooth Data Transfer Management)*: En este subsistema se ejemplifica el establecimiento de un enlace mediante mensajes de prueba entre la Plataforma Iron y un dispositivo Bluetooth conectados mediante un servicio SPP.

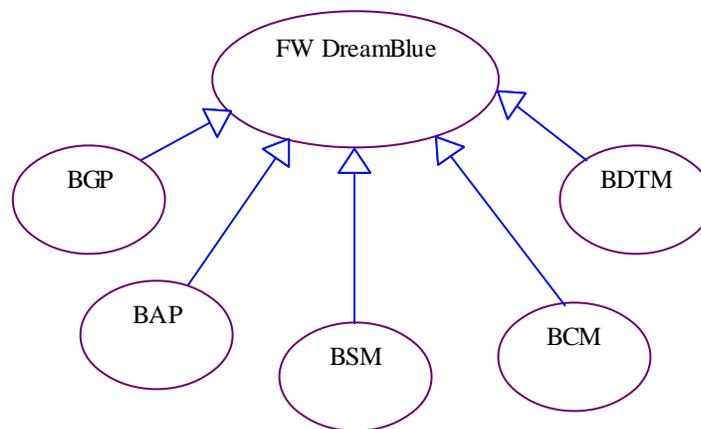


Figura 5.16. Caso de uso para el sistema Firmware DreamBlue.

5.1.3.1. Requerimientos subsistema BGP

El subsistema BGP ingresa al Modo AT del WM Bluetooth; así dentro del subsistema BGP el usuario cuenta con las órdenes AT: `NOMBRE_BT`, `TIPO_BT` y `DIRECCION_BT` (véase Figura 5.17).

Mediante la orden AT `NOMBRE_BT`, el usuario asigna con un nombre local al WM Bluetooth y así identificarlo en una picored. El nombre local por defecto para el WM Bluetooth es “Bluetooth Device”.

Con la orden AT `TIPO_BT` el usuario asigna un identificador de tipo de dispositivo al WM Bluetooth. Con la orden AT `DIRECCION_BT`, el usuario obtiene la dirección Bluetooth del WM Bluetooth.

La Tabla 5.10 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas asociadas a cada orden AT utilizada por el subsistema BGP.

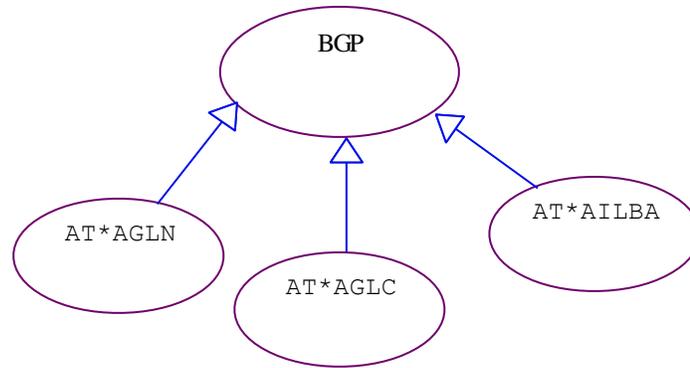


Figura 5.17. Caso de uso para subsistema BGP.

Tabla 5.10. Órdenes AT utilizadas por el subsistema BGP.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
Propiedades Generales Bluetooth (BGP)	NOMBRE_BT (AT*AGLN)	<p>La orden AT asigna un nombre al WM Bluetooth. La orden AT abre un menú con las siguientes opciones:</p> <p>1: BLUETOOTH DEVICE (Por defecto). Asocia el nombre “Bluetooth Device” al WM Bluetooth.</p> <p>2: SENSOR BT. Asocia el nombre “SENSOR BT” al WM Bluetooth.</p> <p>3: INTRODUCIR CARACTERES. Esta opción abre una nueva ventana donde el usuario introduce una cadena de caracteres ASCII para relacionarla al nombre amigable Bluetooth (Máx. 16 caracteres). La ventana cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>E. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.</p> <p>F. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.</p> <p>G. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error en respuesta a la interrupción a la orden AT).</p> <p>H. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia al nombre amigable del WM Bluetooth,</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden AT NOMBRE_BT tiene el siguiente formato:</p> <p>*AGLN: <name></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><name>: Nombre del WM Bluetooth.</p>
	TIPO_BT (AT*AGLC)	<p>Escribe la descripción de la clase de dispositivo Bluetooth, la orden cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>1: ESCRITORIO. Se establece que el WM Bluetooth es un dispositivo Bluetooth de tipo escritorio (p.</p>

ej., computadora, PDA, etc.).

2: TELEFONO. Se establece que el WM Bluetooth es un teléfono con antena Bluetooth.

3: AUDIO. Se establece que el WM Bluetooth es un dispositivo de audio Bluetooth (p. ej., bocinas, manos libres, auriculares, etc.).

4: GENERICO. Se establece que el WM Bluetooth es un dispositivo Bluetooth genérico.

La respuesta de forma exitosa a la orden `AT TIPO_BT` tiene el siguiente formato:

***AGLC:<cod>**

OK

Parámetros involucrados en la respuesta:

<cod>: Valor entero asociado al tipo de dispositivo Bluetooth.

DIRECCION_BT
(AT*AILBA)

Muestra la dirección Bluetooth del WM Bluetooth con el siguiente formato:

***AILBA:<bd_addr>**

OK

Parámetros involucrados en la respuesta:

<bd_addr>: Contiene la Dirección Bluetooth del WM Bluetooth.

5.1.3.2. Requerimientos subsistema BAP

El subsistema BAP ingresa al Modo AT del WM Bluetooth. Dentro del subsistema BAP el usuario cuenta con las órdenes `AT: MODO_DESCUBRIBLE_BT`, `MODO_CONECTABLE_BT`, `MODO_EMPAREJABLE_BT` y `PARAM_SERIAL_BT` (véase Figura 5.18).

Mediante la orden `AT MODO_DESCRUBRIBLE_BT` el usuario decide si el WM Bluetooth puede ser o no visto por otros dispositivos Bluetooth en una en el área de cobertura. De igual manera con la orden `AT MODO_CONECTABLE_BT` se habilita la característica de conectividad Bluetooth del WM Bluetooth. Para establecer el emparejamiento entre el WM Bluetooth y otro dispositivo Bluetooth, el usuario debe habilitar orden `AT MODO_EMPAREJABLE_BT`.

El WM Bluetooth no soporta la característica de configuración de parámetros seriales de forma automática, por lo que el usuario debe introducir dichos parámetros con la orden `AT PARAM_SERIAL_BT`, y establecer de esta manera los diferentes parámetros asociados a la conexión serial. La Tabla 5.11 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas asociadas a cada orden AT utilizada por el subsistema BAP.

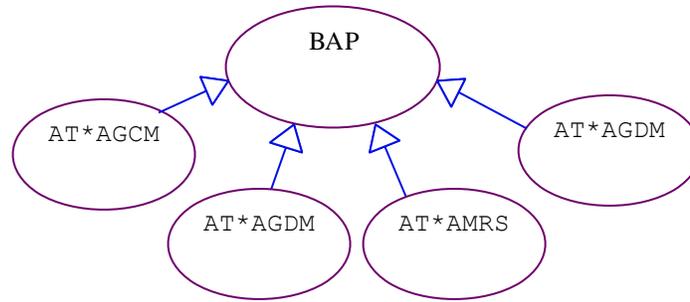


Figura 5.18. Caso de uso para el subsistema BAP.

Tabla 5.11. Órdenes AT utilizadas por el subsistema BAP.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
Propiedades de Accesibilidad Bluetooth (BAP)	MODO_CONECTABLE_BT (AT*AGCM)	<p>Habilita o deshabilita el modo conectable en Bluetooth, la orden AT cuenta con dos opciones:</p> <p>1: NO CONECTABLE. Deshabilita el modo conectable del WM Bluetooth.</p> <p>2: CONECTABLE. Habilita el modo conectable del WM Bluetooth.</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden es la siguiente:</p> <p>*AGCM:<connectability_mode> OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><connectability_mode>: Contiene el valor de la opción elegida por el usuario.</p>
	MODO_DESCUBRIBLE_BT (AT*AGDM)	<p>Habilita o deshabilita el modo descubrible Bluetooth del WM Bluetooth, la orden AT cuenta con dos opciones:</p> <p>1: NO DESCUBRIBLE. Deshabilita el modo descubrible del WM Bluetooth.</p> <p>2: DESCUBRIBLE. Habilita modo el modo descubrible del WM Bluetooth.</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden AT es:</p> <p>*AGDM:<discoverability_mode> OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><discoverability_mode>: Valor de 1 para el modo no descubrible, o valor de 3 para el modo descubrible.</p>
	MODO_EMPAREJABLE_BT (AT*AGPM)	<p>Habilita o deshabilita el modo de emparejamiento del dispositivo WM Bluetooth, la orden AT cuenta con dos opciones:</p> <p>1: NO EMPAREJABLE. Deshabilita el modo visible del WM Bluetooth.</p> <p>2: EMPAREJABLE. Habilita modo el modo de emparejamiento del WM Bluetooth.</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden es:</p>

	<p>*AGPM:<pairing_mode> OK Parámetros involucrados en la respuesta: <pairing_mode>: Contiene el número de la opción elegida por el usuario.</p>
<p>PARAM_SERIAL_BT (AT*AMRS)</p>	<p>Escribe los parámetros seriales, las opciones dadas por esta orden AT son: 1: 9600. 2: 57600. 3: 115200. La respuesta de forma exitosa tiene el siguiente formato: *AMRS:<baud_rate>,<data_bits>,<stop_bits>,<parity>,<flow_control> OK Parámetros involucrados en la respuesta: <baud_rate>: Contiene los enumeradores, 5 (9600), 8 (57600) y 9 (115200), que corresponden a la opción seleccionada por el usuario. <data_bits>: Valor de 1, correspondiente a una trama de 8 bits. <stop_bits>: Valor de 1, un bit de paro. <parity>: Valor de 1, no paridad en la trama de bits. <flow_control>: Valor de 0, no control de flujo. Nota: En la Plataforma Iron v2.0, esta orden solo es de lectura y con valores por defecto.</p>

5.1.3.3. Requerimientos subsistema BSM

El subsistema BSM ingresa al Modo AT del WM Bluetooth que cuenta con las siguientes órdenes AT: MODO_SEGURO_BT y CODIGO_PIN_BT (véase Figura 5.19).

El WM Bluetooth cuenta con la versión de seguridad para dispositivos Bluetooth versión 2.1, la cual incluye el modo de emparejamiento simple a través de la clave de seguridad constata da por seis dígitos numéricos (*passkey*); sin embargo para asegurar la compatibilidad entre dispositivos Bluetooth versión 2.0 y 2.1, el WM Bluetooth utiliza el código PIN con seis caracteres (utilizado en versiones de Bluetooth 2.0 y anteriores) como contraseña entre dispositivos Bluetooth de distintas versiones de la especificación. Con la orden AT MODO_SEGURO_BT, el usuario puede habilitar la característica de seguridad entre los enlaces Bluetooth y con la orden AT CODI GO_PIN_BT se asigna una cadena de caracteres preferentemente numérica para asegurar la compatibilidad entre versiones de la especificación Bluetooth.

La Tabla 5.12 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas asociadas a cada orden AT utilizada por el subsistema BSM.

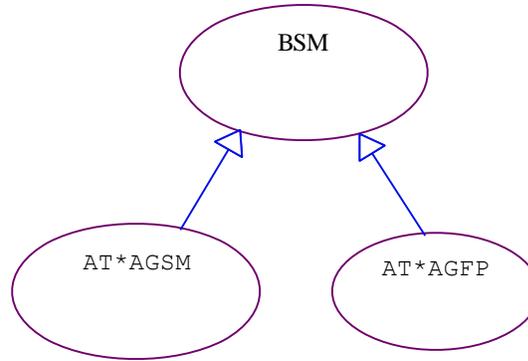


Figura 5.19. Caso de uso para el subsistema BSM.

Tabla 5.12. Órdenes AT utilizadas por el subsistema BSM.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
Gestión de la Seguridad Bluetooth (BSM)	MODO_SEGURO_BT (AT*AGSM)	<p>Habilita o deshabilita el modo seguro del dispositivo OEM Bluetooth. La orden cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>1: NO SEGURO (Por defecto). Modo seguro Bluetooth deshabilitado.</p> <p>2: SEGURO BT (Por defecto). Modo seguro Bluetooth habilitado.</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden AT MODO_SEGURO_ZB tiene el siguiente formato:</p> <p>*AGSM:<security_mode></p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><security_mode>: Contiene la opción seleccionada por el usuario.</p>
	CODIGO_PIN_BT (AT*AGFP)	<p>Establece una clave de seguridad para verificar el proceso de autenticación entre los dispositivos Bluetooth a emparejarse (se recomienda que el código PIN sean caracteres numéricos para asegurar la compatibilidad entre dispositivos Bluetooth versión 2.0 y 2.1):</p> <p>1: 0. Asocia la cadena “0” al código PIN.</p> <p>2: 123456. Asocia la cadena “123456” al código PIN.</p> <p>3: NODE_BT.</p> <p>4: INTRODUCIR CARACTERES. Esta opción abre una nueva ventana donde el usuario introduce el código PIN (Máx. 6 caracteres). La ventana cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>A. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.</p> <p>B. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.</p> <p>C. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provocará un mensaje de error a la cancelación de la orden AT).</p> <p>D. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la</p>

asociado al código PIN.

La respuesta de forma exitosa a la orden AT es:

***AGFP:<pin_code>**

OK

Parámetros involucrados en la respuesta:

<pin_code>: Contiene la cadena asociada al código PIN.

5.1.3.4. Requerimientos subsistema BCM

El subsistema BCM ingresa al Modo AT del WM Bluetooth con las siguientes órdenes AT disponibles: `BUSQUEDA_BT`, `BUSQUEDA_SERVICIO_BT` y `CONECT_A_SERVICIO_BT` (véase Figura 5.20).

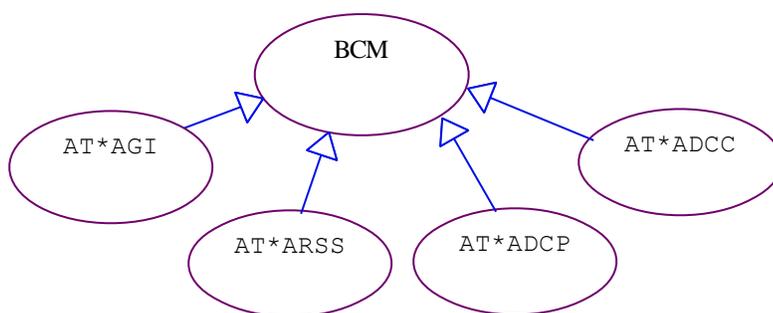


Figura 5.20. Caso de uso para el subsistema BCM.

El WM Bluetooth por defecto acepta conexiones (servidor) bajo el perfil SPP, además de permitir la comunicación con varios dispositivos Bluetooth (hasta siete dispositivos); sin embargo para solicitar una conexión (cliente) a un servicio (p. ej., SPP, FTP, PAN, etc.), el usuario debe especificar a que dispositivo se va a conectar y el canal disponible para el servicio al que desea enviar una solicitud de conexión.

Con la orden AT `BUSQUEDA_BT` se lleva a cabo una búsqueda de dispositivos Bluetooth en el área de cobertura del WM Bluetooth, mostrando la dirección Bluetooth de cada dispositivo encontrado.

Utilizando la orden AT `BUSQUEDA_SERVICIO_BT` se realiza una búsqueda de servicios Bluetooth sobre los dispositivos Bluetooth ingresando su dirección y verifica si existe un servicio Bluetooth disponible para enviar una solicitud de conexión.

Una vez obtenido el canal disponible para el servicio Bluetooth, el WM Bluetooth puede solicitar una conexión a este servicio mediante la orden AT `CONECT_A_SERVICIO_BT`. Por medio de ésta orden el usuario debe especificar tanto la dirección Bluetooth del dispositivo remoto y el canal disponible donde se encuentra el servicio Bluetooth a conectarse. Enseguida el WM Bluetooth sale del Modo AT e inicia un intento de conexión indicado por el LED RGB en color púrpura (cuando el modo de seguridad se encuentra habilitado en los dispositivos, el usuario debe ingresar el código PIN en el dispositivo a conectarse). Si la operación resulta exitosa el LED RGB cambia a color azul indicando que el proceso de conexión ha sido exitoso; sin embargo el WM Bluetooth aún seguirá en Modo AT por lo que el usuario debe ingresar al subsistema BDTM para habilitar el envío de datos a través del aire. Si finaliza la conexión el WM Bluetooth volverá al Modo AT.

La orden AT `CONNECT_A_SERVICO_BT` dará el parámetro `connection_handle` que identifica a la conexión activa. Este identificador es utilizado por la orden AT `FINAL_CONNECT_BT` para finalizar una conexión (solo disponible si el usuario no ha ingresado al subsistema BDTM).

Para solicitar una nueva conexión a otro servicio Bluetooth (caso punto a multipunto), el usuario debe repetir el procedimiento de conexión descrito (máximo hasta 7 conexiones activas).

La Tabla 5.13 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas utilizadas por el subsistema BCM.

Tabla 5.13. Órdenes AT utilizadas por el subsistema BCM.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
Gestión de la Conexión Bluetooth (BCM)	BUSQUEDA_BT (AT*AGI)	<p>Realiza una búsqueda de dispositivos Bluetooth en el área de cobertura del WM Bluetooth. La orden AT responde con el siguiente formato:</p> <p>*AGI: <code><bd_addr>,<cod>,<device_name_valid>,<device_name>,<rssi></code></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><bd_addr>: Dirección Bluetooth del dispositivo encontrado.</p> <p><cod>: Valor correspondiente al código de clase de dispositivo Bluetooth encontrado.</p> <p><device_name_valid>: Indicador de nombre válido (0) ó nombre no válido (1).</p> <p><device_name>: Nombre del dispositivo descubierto. Parámetro devuelto solo por los dispositivos Bluetooth 2.1 o superiores.</p> <p><rssi>: Número entero que representa la fuerza de la señal recibida por el dispositivo encontrado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • < 128: La fuerza de la señal recibida es: [128 - (rssi)] dB, debajo del rango de la señal óptima. • 128: La fuerza de la señal recibida se encuentra dentro del rango de la señal óptima. • > 128: La fuerza de la señal recibida es: [(rssi) - 128] dB, arriba del rango de la señal óptima. <p>Ejemplo: Un valor de 130 es igual a +2 dB.</p>
	BUSQUEDA_SERVICIO_BT (AT*ARSS)	<p>Realiza una búsqueda de servicios, ofreciendo los siguientes dispositivos favoritos:</p> <p>1: (MANHATTAN_BT) : 001167D8EEA6</p> <p>2: (NOKIA-X2) : 94205358EA48</p> <p>3: OTRO. Después de elegir el tipo de servicio a buscar se abre una nueva ventana para ingresar la dirección BT sobre el dispositivo a buscar el servicio. Para ello la ventana cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>A. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.</p>

- B. **ERASE.** Borra el último carácter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.
- C. **CANCEL.** Sale de la ventana y regresa al menú anterior.
- D. **OK.** Finaliza la introducción de la cadena y la asocia a la dirección Bluetooth a utilizar para buscar servicios.

Después de seleccionar el dispositivo en el cual se buscará el servicio, se abre un nuevo menú para indicar el tipo de servicio a buscar. El nuevo menú cuenta con las siguientes opciones:

- 0: **SPP.**
- 1: **DIAL-UP.**
- 4: **FTP**
- 5: **OBEX.**
- 9: **PAN.**

La orden AT responde con el siguiente formato:

```
*ARSS:<matching_service_records>
OK
*ARSRSP/*ARSRFTP/*ARSRNAP:
<bd_addr>,<rfcomm_server_chan>,
<service_name_valid>, <service_name>
OK
```

Parámetros involucrados en la respuesta:

<matching_service_records>: Número de servicios encontrados.

<bd_addr>: Contiene la dirección Bluetooth del dispositivo donde se realizó la búsqueda de servicios.

<rfcomm_server_chan>: Canal disponible del servicio RFCOMM en el rango de 1 a 30.

<service_name_valid>: Indicador de nombre válido (0) ó nombre no válido (1).

<service_name>: Nombre del servicio encontrado sobre el dispositivo.

El menú de esta orden AT cuenta con las siguientes opciones para conectarse de forma rápida :

- 1: **(MANHATTAN_BT) : 001167D8EEA6**
- 2: **(NOKIA-X2) : 94205358EA48**

3: **OTRO.** Abre una nueva ventana solicitando la dirección Bluetooth del dispositivo a conectarse:

- A. **SELECT.** Selecciona el carácter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.
- B. **ERASE.** Borra el último carácter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.
- C. **CANCEL.** Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de

CONECT_A_SERVICO_BT
(AT*ADCP)

error).

- D. OK.** Finaliza la introducción de la cadena y la asocia a la dirección Bluetooth a utilizar para buscar servicios.

Enseguida se abre un menú esperando el canal donde se encuentra el servicio Bluetooth solicitado.

1: 1. 2: 2. 3: 3. A: 10.

4: 4. 5: 5. 6: 6. B: 11.

7: 7. 8: 8. 9: 9. C: 12.

*: 14. 0: 0. #: 15. D: 13.

La respuesta de forma exitosa a la orden es:

***ADCP:<connection_handle>**

OK

Parámetros involucrados en la respuesta:

<connection_handle>: Valor tipo entero que identifica la conexión.

Nota: Al romper la conexión el WM Bluetooth regresará al Modo AT.

FINAL_CONECT_BT

Abre una ventana solicitando el identificador de la conexión a cerrar:

1: 1. 2: 2. 3: 3.

4: 4. 5: 5. 6: 6.

0: 0.

La respuesta de forma exitosa a la orden es:

OK

5.1.3.4.1. Requerimientos subsistema BDTM

El subsistema solo cuenta con la orden AT `MODO_DATOS`. De esta forma, el subsistema BDTM entra al Modo de Datos del WM Bluetooth (véase Figura 5.21).

El subsistema BDTM cuenta con una aplicación sencilla denominada `MENSAJES_PRUEBA` destinada a verificar la correcta sincronización entre el WM Bluetooth y el otro dispositivo Bluetooth vinculado. Dicha aplicación envía mensajes de prueba a todos los dispositivos Bluetooth conectados al WM Bluetooth.

La Tabla 5.14 muestra las opciones de las actividades del subsistema BDTM.

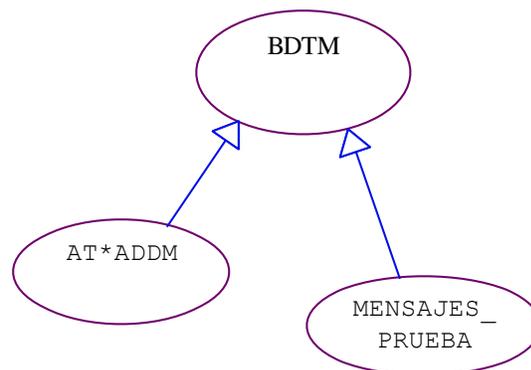


Figura 5.21. Caso de uso para el subsistema BDTM.

Tabla 5.14. Órdenes AT utilizadas por el subsistema BDTM.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones
Gestión de Transferencia de Datos Bluetooth (BDTM)	MODO_DATOS (AT* ADDM)	<p>Entra al modo de datos del WM Bluetooth. La orden cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>1: MENSAJES_PRUEBA. Abre un nuevo menú con las siguientes opciones:</p> <p>C. MENSAJE_1. Envía el mensaje “HOLA BLUETOOTH” a los dispositivos Bluetooth conectados al WM Bluetooth.</p> <p>D. ESCRIBIR_MENSAJE. Abre una nueva ventana solicitando el mensaje a enviar a través del aire:</p> <p>a. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.</p> <p>b. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.</p> <p>c. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error).</p> <p>d. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia al mensaje a enviar.</p> <p>2: MONITOR_BT. Destinado para uso futuro.</p> <p>3: SENSOR_BT. Destinado para uso futuro</p>

5.1.4. Requerimientos del sistema DreamFi

El sistema DreamFi es una herramienta de aprendizaje para la tecnología Wi-Fi contenido en el MCU de la Plataforma Iron. El sistema habilita la transferencia de datos entre la Plataforma Iron y dispositivos Wi-Fi dentro del rango de cobertura del WM Wi-Fi. La Plataforma Iron utiliza el WM Wi-Fi para llevar a cabo la transferencia de datos de forma inalámbrica.

Al inicio del sistema DreamFi el usuario encuentra los siguientes subsistemas en pantalla (véase Figura 5.22):

- *Propiedades Generales Wi-Fi (WFGP, Wi-Fi General Properties):* En el subsistema WFGP el usuario WM Wi-Fi: asignar un nombre amigable (*host name*), elegir el modo de topología, leer la dirección MAC y leer los parámetros seriales asociados al WM Wi-Fi.
- *Propiedades de la Capa de Red Wi-Fi (WFNL, Wi-Fi Properties Network Layer):* En este subsistema el usuario fija una dirección IP, una dirección de servidor DNS y activa o desactiva el Protocolo de Configuración Dinámica del Host (DHCP, *Dynamic Host Configuration Protocol*).
- *Gestión de la Seguridad Wi-Fi (WFSM, Wi-Fi Security Management):* En el subsistema WFSM el usuario habilita o deshabilita el modo de seguridad y establece el proceso de autenticación de encriptación de datos.
- *Gestión de la Conexión Wi-Fi (WFCM, Wi-Fi Connection Management):* En el subsistema WFCM el usuario puede realizar sondeos en busca de dispositivos AP Wi-Fi,

asigna una SSID a la cual se desea pertenecer, establece un canal fijo de operación y ofrece o solicita conexiones a servicios TCP o UDP sobre un puerto específico.

- *Gestión de Transferencia de Datos Wi-Fi (WFDTM, Wi-Fi Data Transfer Management)*: En este subsistema se ejemplifica el establecimiento de un enlace mediante mensajes de prueba entre la Plataforma Iron con el WM Wi-Fi conectado a un servicio TCP.

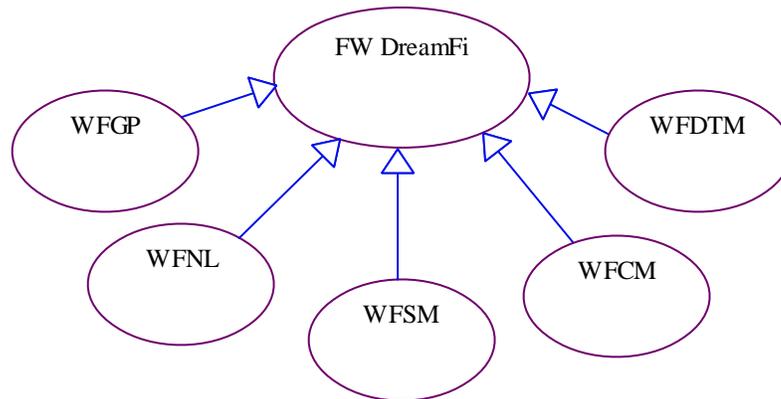


Figura 5.22. Caso de uso para el sistema Firmware DreamFi.

5.1.4.1. Requerimientos subsistema WFGP

El subsistema WFGP ingresa al Modo AT del WM Wi-Fi; donde el usuario cuenta con las órdenes AT: `NOMBRE_HOST`, `MODO_TOPOLOGIA`, `DIRECCION_MAC` y `PARAM_SERIAL_WF` (véase Figura 5.23).

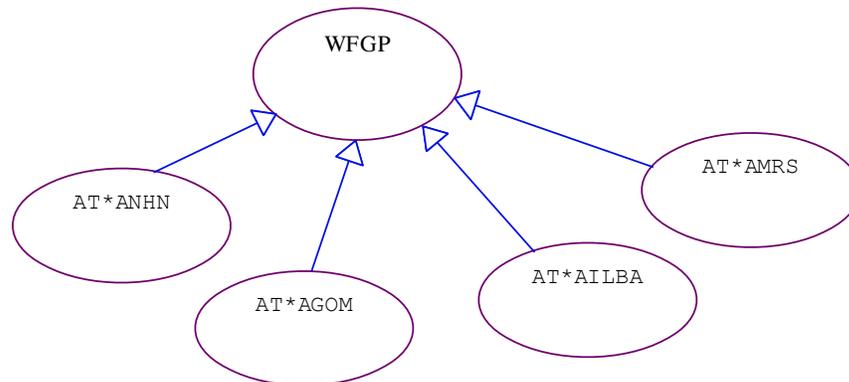


Figura 5.23. Caso de uso para subsistema WFGP.

Mediante la orden AT `NOMBRE_HOST`, el usuario asigna con un nombre al WM Wi-Fi e identificarlo en una WLAN.

El WM Wi-Fi soporta las topologías básicas *ad-hoc* y de infraestructura para transportar información serial a través de una red IP. Con la orden AT `MODO_TOPOLOGIA`, el usuario establece el tipo de topología para trabajar con el WM Wi-Fi. Con la orden AT `DIRECCION_MAC`, el usuario obtiene la dirección MAC del WM Wi-Fi. Por último, con la orden AT `PARAM_SERIAL_WF` el usuario obtiene los parámetros asociados al WM Wi-Fi.

La Tabla 5.15 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas asociadas a cada orden AT utilizada por el subsistema WFGP.

Tabla 5.15. Órdenes AT utilizadas por el subsistema WFGP.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
Propiedades Generales Wi-Fi (WFGP)	NOMBRE_HOST (AT*ANHN)	<p>Asigna un nombre al WM Wi-Fi. La orden tiene las siguientes opciones:</p> <p>1: WM-WIFI. Asigna el nombre “WM-WIFI”.</p> <p>2: SENSOR-WIFI. Asigna el nombre “SENSOR WIFI”.</p> <p>3: INSERTAR_CARACTERES. Esta opción abre una nueva ventana donde el usuario introduce el nombre para el WM Wi-Fi. La ventana cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>A. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.</p> <p>B. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.</p> <p>C. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provocará un mensaje de error a la cancelación de la orden AT).</p> <p>D. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia al nombre del WM Wi-Fi.</p> <p>La respuesta a la orden es la siguiente: *ANHN:<hostname> OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta: <hostname>: Contiene el nombre asignado al WM Wi-Fi.</p>
	MODO_TOPOLOGIA (AT*AGOM)	<p>Escribe el modo de la topología a utilizar en el Wi-Fi. La orden AT cuenta con dos opciones:</p> <p>1: INFRAESTRUCTURA. Habilita el modo de infraestructura para el WM Wi-Fi.</p> <p>2: AD-HOC. Habilita el modo descentralizado para el WM Wi-Fi.</p> <p>La respuesta a la orden es la siguiente: *AGOM:<omode> OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta: <omode>: valor del modo, 1 para el modo de infraestructura y 2 para descentralizado.</p>
	DIRECCION_MAC (AT*AILBA)	<p>Muestra la dirección MAC del WM Wi-Fi con el siguiente formato: *AILBA:<mac_addr> OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta: <mac_addr>: Contiene la dirección MAC del WM Wi-Fi.</p>

```
PARAM_SERIAL_WF
(AT*AMRS)
```

Escribe los parámetros seriales, las opciones dadas por esta orden AT son:

1: 9600 (Por defecto) .

2: 57600 .

3: 115200 .

La respuesta de forma exitosa tiene el siguiente formato:

```
*AMRS:<baud_rate>,<data_bits>,<stop_bits>,<parity>,<flow_control>
```

OK

Parámetros involucrados en la respuesta:

<baud_rate>: Contiene los enumeradores, 5 (9600), 8 (57600) y 9 (115200), que corresponden a la opción seleccionada por el usuario.

<data_bits>: Valor de 1, correspondiente a una trama de 8 bits.

<stop_bits>: Valor de 1, un bit de paro.

<parity>: Valor de 1, no paridad en la trama de bits.

<flow_control>: Valor de 0, no control de flujo.

Nota: En la Plataforma Iron v2.0, esta orden solamente es de lectura y con valores por defecto.

5.1.4.2. Requerimientos subsistema WFNL

El subsistema WFNL ingresa al Modo AT del WM Wi-Fi. Dentro del subsistema WFNL el usuario cuenta con las órdenes AT: MODO_DHCP, CONFIGURACION_IP, CONFIGURACION_DNS, LEER_IP y LEER_DNS (véase Figura 5.24).

El usuario puede establecer la configuración del DHCP con la orden AT MODO_DHCP. De esta forma el DHCP puede trabajar como cliente o como servidor. En modo cliente el WM Wi-Fi adquiere una dirección IP utilizando el DHCP. Por otro lado, el DHCP como servidor otorga direcciones IP a otros dispositivos conectados a una subred (en modo *ad-hoc*), donde el rango de direcciones gestionada por el DHCP del WM Wi-Fi se otorga a partir de la máscara de subred y de la dirección IP estáticas del WM Wi-Fi. Para asignar una dirección IP estática al WM Wi-Fi se utiliza la orden AT CONFIGURACION_IP.

El usuario puede asignar una dirección de servidor DNS por medio de la orden AT CONFIGURACION_DNS. Para leer la dirección actual del WM Wi-Fi el usuario puede emplear la orden AT LEER_IP, de la misma forma para leer la dirección actual DNS se emplea la orden at LEER_DNS.

La Tabla 5.16 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas asociadas a cada orden AT utilizada por el subsistema WFNL.

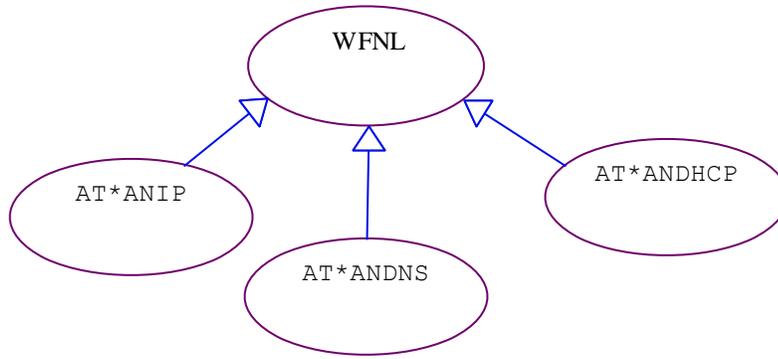


Figura 5.24. Caso de uso para el subsistema WFNL.

Tabla 5.16. Órdenes AT utilizadas por el subsistema WFNL.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
Propiedades de la Capa de Red Wi-Fi (WFNL)	MODO_DHCP (AT*ANDHCP)	<p>La orden activa o desactiva el DHCP. Si está activada el WM Wi-Fi tomará esta característica como prioritaria sobre la configuración estática de IP. El menú de ésta orden AT cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>1: NO ACTIVADO. El WM Wi-Fi trabaja con una dirección IP estática.</p> <p>2: ACTIVO CLIENTE. Adquiere una dirección IP a través del DHCP.</p> <p>3: ACTIVO SERVIDOR. El WM Wi-Fi trabaja con una dirección IP estática para otorgar direcciones IP a otros dispositivos.</p> <p>La respuesta de forma exitosa a la orden es:</p> <p>*ANDHCP: <on></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><on>: valor de la opción seleccionada por el usuario.</p>
	CONFIGURACION_IP (AT*ANIP)	<p>El menú de esta orden AT cuenta con las siguientes opciones para asignar una dirección IP estática:</p> <p>1: IP ADDR 192.168.0.99</p> <p style="padding-left: 20px;">NETMASK 255.255.0.0</p> <p style="padding-left: 20px;">GATEWAY 192.168.0.1</p> <p>2: IP ADDR 192.168.0.42</p> <p style="padding-left: 20px;">NETMASK 255.255.0.0</p> <p style="padding-left: 20px;">GATEWAY 192.168.0.1</p> <p>3: OTRO. Los parámetros de la dirección IP, la máscara de subred y la puerta de enlace debe ir separados por un punto, además deben contar con el siguiente formato: <ip_addr>, <netmask>, <gw>. La venta contiene las siguientes opciones:</p> <p>A. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.</p> <p>B. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pan-</p>

talla.

C. **CANCEL.** Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error en respuesta a la interrupción a la orden AT).

D. **OK.** Finaliza la introducción de la cadena y la asocia a la dirección IP, máscara de subred y puerta de enlace a utilizar.

La respuesta de forma exitosa a la orden es:

***ANIP:<ip_addr>,<netmask>,<gw>**

OK

Parámetros involucrados en la respuesta:

<ip_addr>: Dirección IP del WM Wi-Fi.

<netmask>: Máscara de subred del WM Wi-Fi.

<gw>: Dirección IP de la puerta de enlace del WM Wi-Fi.

El menú de esta orden AT cuenta con las siguientes opciones para conectarse de forma rápida :

1:GOOGLE PUBLIC DNS

DNS1: 8.8.8.8

DNS2: 8.8.4.4

2:OPENDNS

DNS1: 208.67.222.222

DNS2: 2.8.67.220.220

3: OTRO. Abre una nueva ventana solicitando la configuración DNS. Los parámetros DNS deben ir separados por un punto y con: **<dns1>**, **<dns2>**.

La ventana contiene las siguientes opciones:

A. SELECT. Selecciona el carácter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.

B. ERASE. Borra el último carácter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.

C. **CANCEL.** Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error).

D. **OK.** Finaliza la introducción de la cadena y la asocia a la dirección DNS a utilizar.

La respuesta de forma exitosa a la orden es:

***ANDNS:<dns1>,<dns2>**

OK

Parámetros involucrados en la respuesta:

<dns1>: Dirección del servidor primario DNS

<dns2>: Dirección del servidor secundario DNS

CONFIGURACION_DNS
(AT*ANDNS)

Lee la dirección actual del WM Wi-Fi. La respuesta de forma exitosa a la orden es:

***ANIP:<ip_addr>,<netmask>,<gw> OK**

LEER_IP (AT*ANIP?)

	Parámetros involucrados en la respuesta: <ip_addr> : Dirección IP del WM Wi-Fi. <netmask> : Mascara de subred del WM Wi-Fi. <gw> : Dirección IP de la puerta de enlace del WM Wi-Fi.
LEER_DNS (AT*ANDNS?)	Lee la dirección actual del WM Wi-Fi. La respuesta de forma exitosa a la orden es: *ANDNS:<dns1>,<dns2> OK Parámetros involucrados en la respuesta: <dns1> : Servidor primario DNS. <dns2> : Servidor secundario DNS.

5.1.4.3. Requerimientos subsistema WFSM

El subsistema WFSM ingresa al Modo AT del WM Wi-Fi con las siguientes órdenes AT: MODO_SEGURO_WF y CLAVE_AUTENTICACION (véase Figura 5.25).

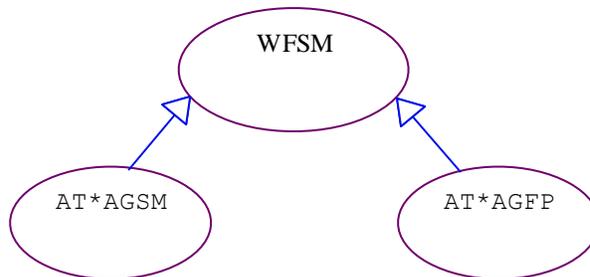


Figura 5.25. Caso de uso para el subsistema WFSM.

El WM Wi-Fi trabaja con dos tipos de autenticación y encriptación de datos para establecer conexiones seguras entre dispositivos Wi-Fi. Con la orden AT MODO_SEGURO_WF el usuario habilita o deshabilita el modo seguro para el WM Wi-Fi.

El modo seguro para el WM Wi-Fi establece una de tres de combinaciones entre los métodos de autenticación y encriptación:

1. La primera combinación consiste en la no autenticación y en la no encriptación de datos (conexión abierta).
2. La segunda combinación es la autenticación por clave compartida y el método de encriptación de datos WEP128.
3. La tercera combinación es la autenticación WPA2 con el método de encriptación de datos AES/CCMP.

Con la orden AT CLAVE_AUTENTICACION el usuario establece la clave utilizada por el WM Wi-Fi para autenticarse con otros dispositivos Wi-Fi (aplicable a las combinaciones 2 y 3).

La Tabla 5.17 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas asociadas a cada orden AT utilizada por el subsistema WFSM.

Tabla 5.17. Órdenes AT utilizadas por el subsistema WFSM.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
	MODO_SEGURO_WF (AT*AGSM)	<p>Habilita o deshabilita el modo seguro del WM Wi-Fi. La orden cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>1: CONEXION_ABIERTA. Modo seguro Wi-Fi deshabilitado.</p> <p>2: SHARED-WEPI28. Habilita el modo de autenticación por clave compartida y el método de encriptación WEP128.</p> <p>3: WPA2-PSK-AES/CCMP. Habilita el modo de autenticación WPA2-PSK con el método de encriptación AES/CCMP.</p> <p>La respuesta de forma exitosa tiene el siguiente formato:</p> <p>*AGSM: <smode></p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><smode>: Contiene los valores 0 (no seguro), 2 (combinación 2) y 4 (combinación 3).</p> <p>Nota: El modo seguro para el WM Wi-Fi no funciona en el modo de topología <i>ad-hoc</i>.</p>
Gestión de la Seguridad Wi-Fi (WFSM)	CLAVE_AUTENTICACION (AT*AGFP)	<p>Establece una clave de seguridad para verificar el proceso de autenticación entre los dispositivos Wi-Fi:</p> <p>1: 0. Asocia la cadena “0” al código PIN.</p> <p>2: 123456. Asocia la cadena “123456” al código PIN.</p> <p>3: INSERTAR_CARACTERES. Esta opción abre una nueva ventana donde el usuario introduce el código PIN (Máx. 12 caracteres). La ventana cuenta con las siguientes opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> A. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor. B. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla. C. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provocará un mensaje de error a la cancelación de la orden AT). D. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia a la clave de seguridad Wi-Fi. <p>La respuesta de forma exitosa a la orden AT es:</p> <p>*AGFP: <key></p> <p>OK</p> <p>Parámetros involucrados en la respuesta:</p> <p><key>: Clave de seguridad para autenticar el WM Wi-Fi con otros dispositivos Wi-Fi.</p>

5.1.4.4. Requerimientos subsistema WFCM

El subsistema WFCM ingresa al Modo AT del WM Wi-Fi con las siguientes órdenes AT disponibles: `BUSQUEDA_WF`, `CANAL_WF`, `ESTABLECER_SSID`, `MODO_TCP` y `MODO_UDP` (véase Figura 5.26).

Con la orden AT `BUSQUEDA_WF` se lleva a cabo una búsqueda de dispositivos AP en el área de cobertura del WM Wi-Fi, mostrando la dirección MAC de los dispositivos encontrados, el modo de operación de la SSID: infraestructura o descentralizada, el nombre de la red SSID, canal utilizado por la red SSID y nivel de señal.

Para trabajar con un canal fijo, el usuario puede emplear la orden AT `CANAL_WF`. Mientras que con la orden AT `ESTABLECER_SSID` se asocia el WM Wi-Fi a una SSID en el rango de cobertura.

Los protocolos utilizados por el WM Wi-Fi para realizar conexiones son TCP y UDP. Mediante la orden AT `MODO_TCP` el usuario activa el modo escucha TCP para establecer una conexión y atender tráfico de datos a conexiones entrantes sobre un puerto específico. Mientras que con la orden AT `MODO_UDP`, el usuario activará el modo de recepción UDP, el cual solo escuchará datos en un puerto específico y no envía notificaciones de recepción de datos.

Si el usuario previamente ha elegido el modo de topología *ad-hoc* (subsistema WFAP), el WM Wi-Fi intentará conectarse a una red descentralizada Wi-Fi. En caso de que el WM Wi-Fi no encuentre una red existente con el correcto SSID, el WM Wi-Fi tomará el rol de dispositivo AP.

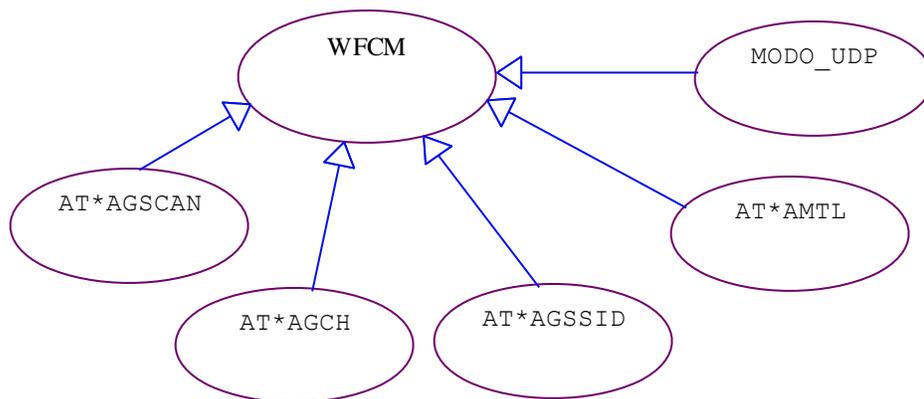


Figura 5.26. Caso de uso para el subsistema WFCM.

La Tabla 5.18 lista las órdenes AT, descripción de opciones y respuestas utilizadas por el subsistema BCM.

Tabla 5.18. Órdenes AT utilizadas por el subsistema WFCM.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones y respuestas a la orden AT
Gestión de la Conexión Wi-Fi (WFCM)	<code>BUSQUEDA_WF</code> (<code>AT*AGSCAN</code>)	Realiza un escaneo en búsqueda de dispositivos AP Wi-Fi en el rango de cobertura del WM Wi-Fi. La orden AT responde con el siguiente formato: *AGSCAN: <code><bssid></code> , <code><op_mode></code> , <code><ssid></code> , <code><channel></code> , <code><rssi></code> , <code><encryption></code> OK Parámetros involucrados en la respuesta: <code><bssid></code> : Dirección MAC del dispositivo AP encontrado.

<op_mode>: Modo de operación: 1 para infraestructura y 2 para descentralizado.

<ssid>: Nombre de la red SSID.

<channel>: Número del canal utilizado por la red SSID.

<rssi>: Número entero que representa la fuerza de la señal recibida por el dispositivo encontrado.

- < 128: La fuerza de la señal recibida es: [128 - (rssi)] dB, debajo del rango de la señal óptima.
- 128: La fuerza de la señal recibida se encuentra dentro del rango de la señal óptima.
- > 128: La fuerza de la señal recibida es: [(rssi) - 128] dB, arriba del rango de la señal óptima.

Ejemplo: Un valor de 130 es igual a +2 dB.

<encryption>: Valor entero para proporcionar el tipo de encriptación de datos: 0 para no encriptación, 1 para WEP, 2 para WPA y 3 para WPA2.

Escribe el número del canal de operación para efectuar conexiones. La opción abre una nueva ventana donde el usuario introduce el canal a utilizar. El canal debe estar en el rango de 0 al 11. La ventana cuenta con las siguientes opciones:

- A. SELECT.** Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.
- B. ERASE.** Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.
- C. CANCEL.** Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error en respuesta a la interrupción a la orden AT).
- D. OK.** Finaliza la introducción de la cadena y la asocia al canal Wi-Fi a utilizar para el establecimiento de conexiones.

La respuesta de forma exitosa es:

***AGCH:<channel>**

OK

Parámetros involucrados en la respuesta:

<channel>: Número del canal elegido.

CANAL_WF (AT*AGCH)

Asignar una SSID al WM Wi-Fi. La orden AT abre un menú con las siguientes opciones:

1: CONNECTBLUE. Asocia el nombre "CONNECTBLUE" a la SSID del WM Wi-Fi.

2: INTRODUCIR CARACTERES. Esta opción abre una nueva ventana donde el usuario introduce una cadena de caracteres ASCII para relacionarla al nombre de la SSID (Máx. 16 caracteres). La ventana cuenta con las siguientes opciones:

ESTABLECER_SSID
(AT*AGSSID)

- A. **SELECT**. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.
- B. **ERASE**. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.
- C. **CANCEL**. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error en respuesta a la interrupción a la orden AT).
- D. **OK**. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia a la SSID del WM Wi-Fi.

La respuesta a la orden es:

***AGSSID:<name>**

OK

Parámetros involucrados en la respuesta:

<name>: Nombre de la SSID.

Habilita o deshabilita el modo escucha TCP para el Wi-Fi, la orden AT cuenta con dos opciones:

1: NO ESCUCHA_TCP. Deshabilita el modo de escucha TCP del WM Wi-Fi.

2: ESCUCHA_TCP. Habilita el modo escucha para el protocolo TCP del WM Wi-Fi.

Enseguida la orden abrirá una nueva ventana para elegir el puerto donde trabajará el TCP, la nueva ventana cuenta con las siguientes opciones:

1: 80. Asigna el puerto 80.

2: 23. Asigna el puerto 23.

3: INSERTAR_CARACTERES. Esta opción abre una nueva ventana donde el usuario introduce el número del puerto deseado (rango de 0 a 65535). La ventana cuenta con las siguientes opciones:

- A. **SELECT**. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.
- B. **ERASE**. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.
- C. **CANCEL**. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provocará un mensaje de error a la cancelación de la orden AT).
- D. **OK**. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia al número del puerto.

La respuesta de forma exitosa a la orden es:

***AMTL:<port>,<t1_on>**

OK

Parámetros involucrados en la respuesta:

<port>: Número del puerto. El número del puerto debe estar dentro del rango de 0 a 65535.

<t1_on>: es 0 cuando no está activado el modo es-

MODO_TCP (AT*AMTL)

MODO_UDP (AT*AMUR)

cucha de TCP y a 1 cuando se ha activado el modo escucha TCP.

Habilita o deshabilita el modo de recepción UDP para el Wi-Fi, la orden AT cuanta con dos opciones:

1: NO RECEPCION_UDP. Deshabilita el modo de recepción UDP del WM Wi-Fi.

2: RECEPCION_TCP. Habilita el modo de recepción para el protocolo UDP del WM Wi-Fi.

Enseguida la orden abrirá una nueva ventana para elegir el puerto donde trabajará el UDP, la nueva ventana cuenta con las siguientes opciones:

1: 80. Asigna el puerto 80.

2: 23. Asigna el puerto 5003.

3: INSERTAR_CARACTERES. Esta opción abre una nueva ventana donde el usuario introduce el número del puerto deseado. La ventana cuenta con las siguientes opciones:

A. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor.

B. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla.

C. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provocará un mensaje de error a la cancelación de la orden AT).

D. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia al número del puerto.

La respuesta de forma exitosa a la orden es la siguiente:

***AMTL:<port>,<ul_on>**

OK

Parámetros involucrados en la respuesta:

<port>: Número del puerto. El número del puerto debe estar dentro del rango de 0 a 65535.

<ul_on>: es 0 cuando no está activado el modo recepción UDP y a 1 de forma contraria.

5.1.4.5. Requerimientos subsistema WFDTM

El subsistema cuenta con dos tipos de orden AT: RESTAURACION, MANTENER_CONEXION y MODO_DATOS. De esta forma, el subsistema WFDTM entra al Modo de Datos del WM Wi-Fi (véase Figura 5.27).

A diferencia de los sistemas anteriores, el subsistema WFDTM reinicia con la orden AT RESTAURACION al WM Wi-Fi para conservar las configuraciones previas realizadas en los demás subsistemas. Enseguida el subsistema WM Wi-Fi emplea la orden AT MANTENER_CONEXION para conservar las conexiones ya establecidas entre el WM Wi-Fi y otro dispositivo (en caso de que el usuario vuelva a entrar a los subsistemas que ingresan al modo AT).

Por otra parte, el subsistema cuenta con una aplicación sencilla denominada `MENSAJES_PRUEBA` destinada a verificar la correcta configuración y sincronización entre el WM Wi-Fi habilitado con un servicio TCP sobre el puerto 23 y otro dispositivo Wi-Fi (p. ej., una laptop, otro WM Wi-Fi, etc.) conectado a la misma SSID y con un servicio TCP abierto (p. ej. abrir una conexión cliente telnet). Dicha aplicación envía mensajes de prueba al WM Wi-Fi.

La Tabla 5.19 muestra las opciones de las actividades del subsistema WFDTM.

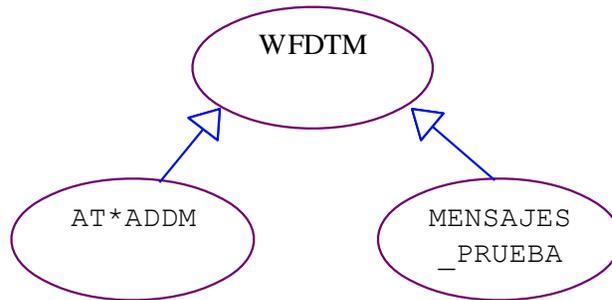


Figura 5.27. Caso de uso para el subsistema WFDTM.

Tabla 5.19. Órdenes AT utilizadas por el subsistema WFDTM.

Subsistema	Orden AT	Descripción de opciones
Gestión de Transferencia de Datos Wi-Fi (WFDTM)	MODO_DATOS (AT*ADDM)	<p>Entra al modo de datos del WM Wi-Fi. La orden cuenta con las siguientes opciones:</p> <p>1: MENSAJES_PRUEBA. Abre un nuevo menú con las siguientes opciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. MENSAJE_1. Envía el mensaje “HOLA WI-FI” a los dispositivos Wi-Fi conectados al WM Wi-Fi. 2. ESCRIBIR_MENSAJE. Abre una nueva ventana solicitando el mensaje a enviar a través del aire: <ol style="list-style-type: none"> A. SELECT. Selecciona el caracter mostrado en pantalla y adelanta una posición el cursor. B. ERASE. Borra el último caracter seleccionado y retrocede el cursor una posición en pantalla. C. CANCEL. Sale de la ventana y regresa al menú anterior (provoca un mensaje de error en respuesta a la interrupción a la orden AT). D. OK. Finaliza la introducción de la cadena y la asocia al mensaje a enviar. <p>2: MONITOR_TCP. Destinado para recibir mensajes de otros dispositivos Wi-Fi.</p> <p>3: SENSOR_WF. Destinado para uso futuro</p>

5.2. Diseño del conjunto de sistemas IronBlue

El propósito de la fase de diseño es examinar la interacción entre el usuario y el sistema a partir de los requerimientos establecidos, mediante la creación de diseños funcionales.

5.2.1. Diagramas de estructura del conjunto de sistemas IronBlue

Los diagramas de estructura representan la funcionalidad estática a partir del diseño de interacción entre los componentes que intervienen en cada sistema (véase Anexo D).

5.2.1.1. Diagramas de estructura del sistema DreamBee

La arquitectura interna del sistema DreamBee se compone por seis subsistemas y dos actores que intervienen en la interacción con la Plataforma Iron (véase Figura 5.28). El subsistema Control_MCU_Bee envía las respectivas órdenes AT indicadas por el usuario al WM ZigBee.

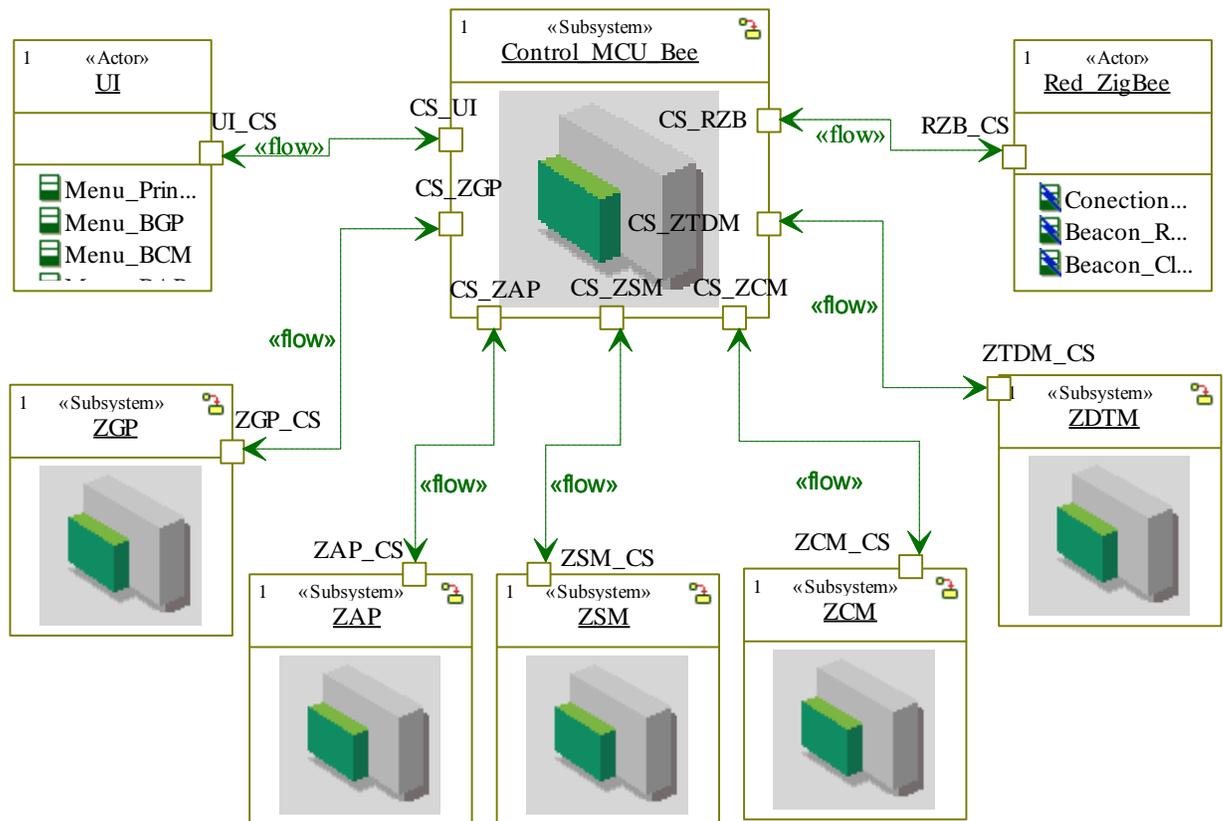


Figura 5.28. Arquitectura interna del sistema DreamBee.

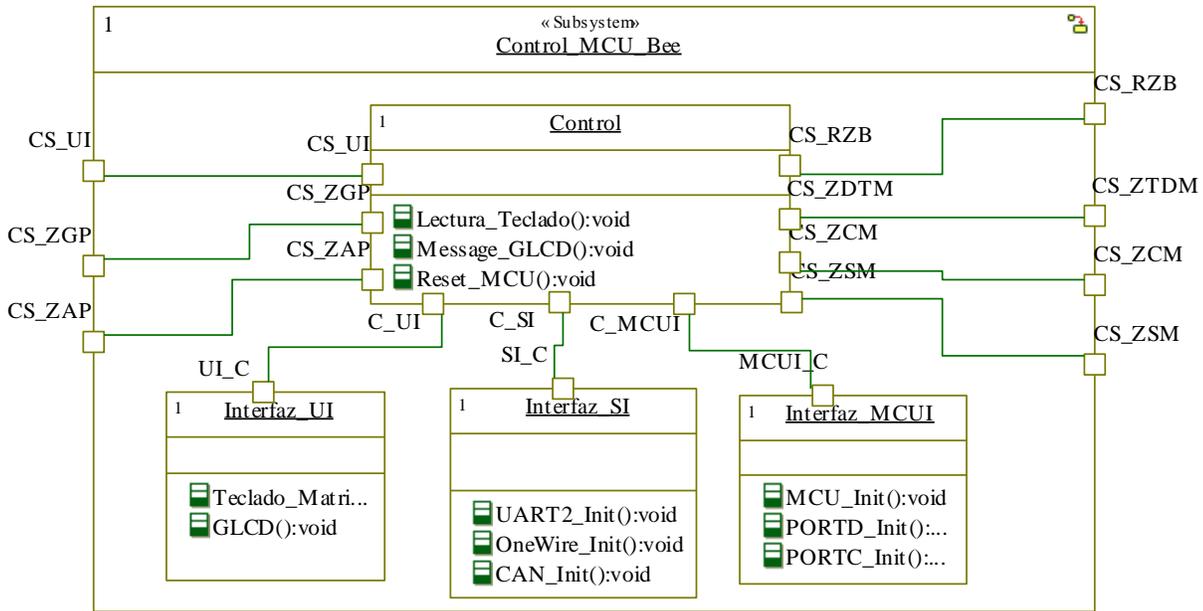


Figura 5.29. Diagrama de estructura del subsistema Control_MCU_Bee.

El Control_MCU_Bee (véase Figura 5.29), gestiona las órdenes especificadas en cada uno de los subsistemas (véanse Figura 5.30, Figura 5.31, Figura 5.32, Figura 5.33 y Figura 5.34).

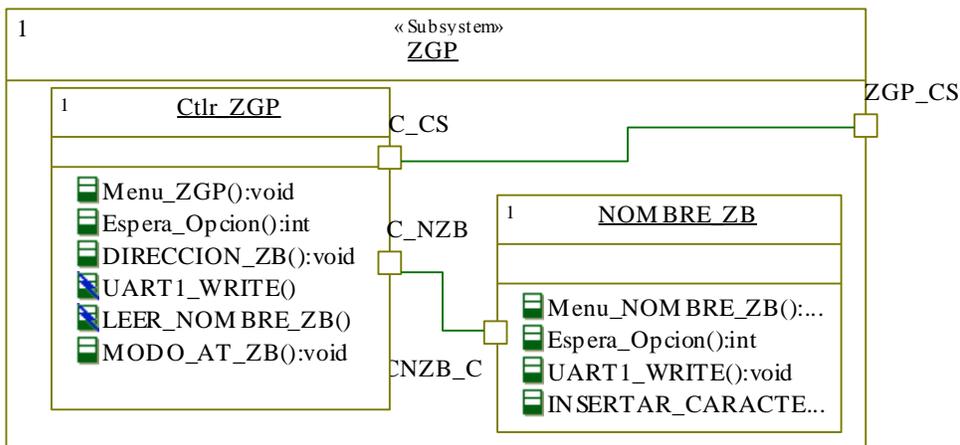


Figura 5.30. Diagrama de estructura del subsistema ZGP.

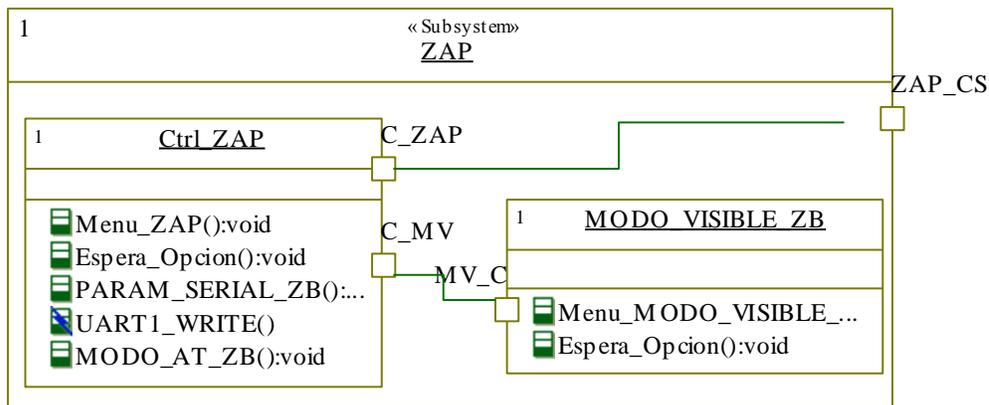


Figura 5.31. Diagrama de estructura del subsistema ZAP.

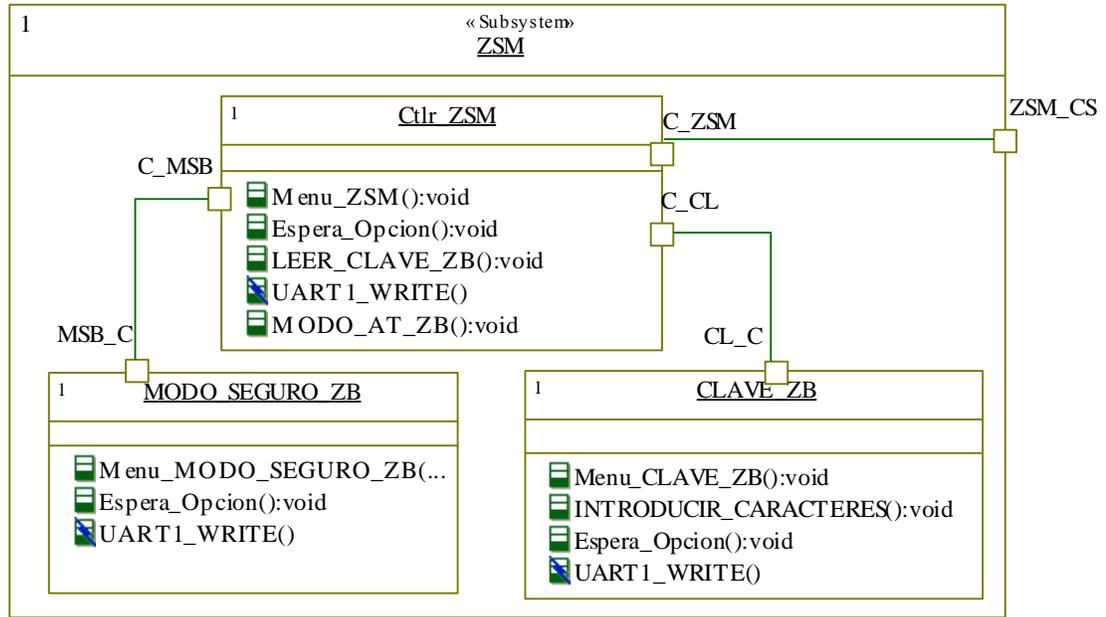


Figura 5.32. Diagrama de estructura del subsistema ZSM.

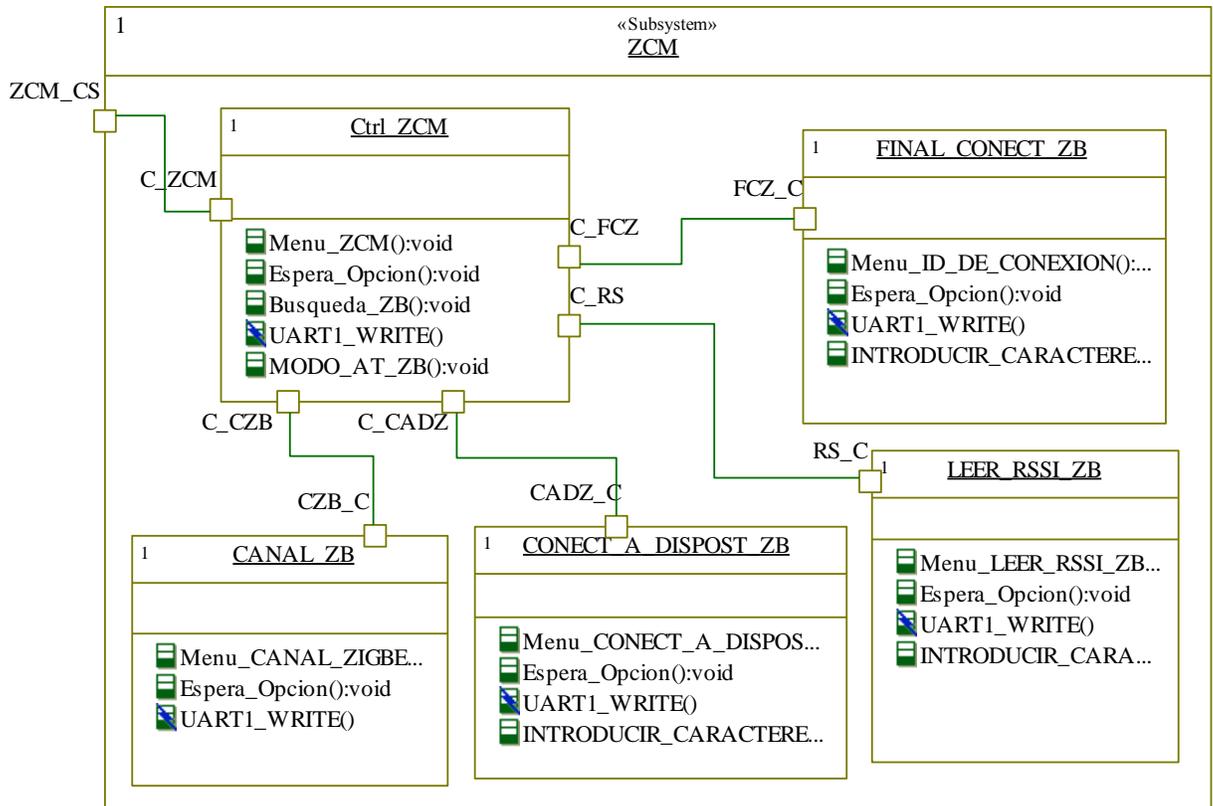


Figura 5.33. Diagrama de estructura del subsistema ZCM.

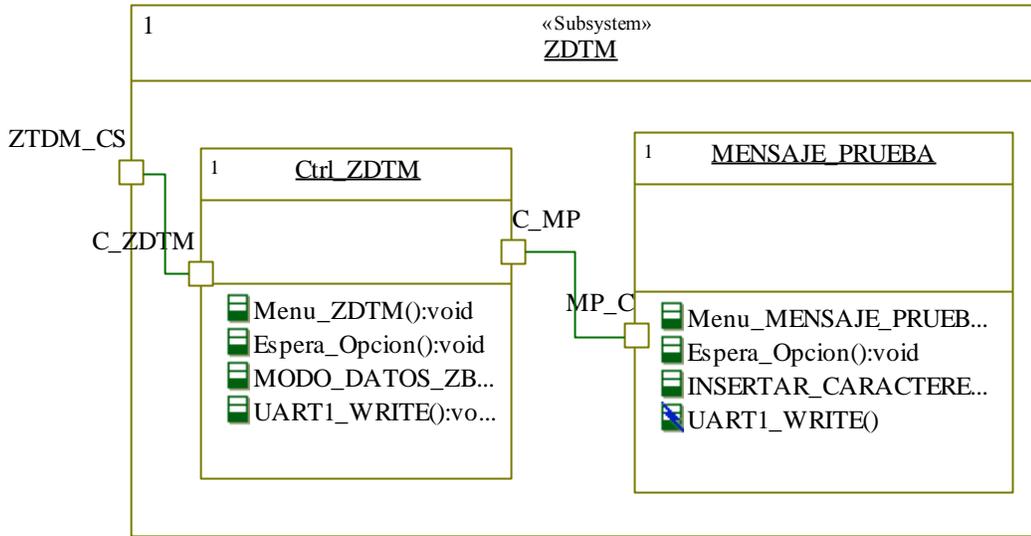


Figura 5.34. Diagrama de estructura del subsistema ZDTM.

5.2.1.2. Diagramas de estructura del sistema DreamBlue

La arquitectura interna del sistema DreamBlue (véase Figura 5.35), se compone por seis subsistemas y dos actores que intervienen en la interacción con la Plataforma Iron. El subsistema Control_MCU_Blue envía las órdenes AT indicadas por el usuario al WM Bluetooth (véase Figura 5.36).

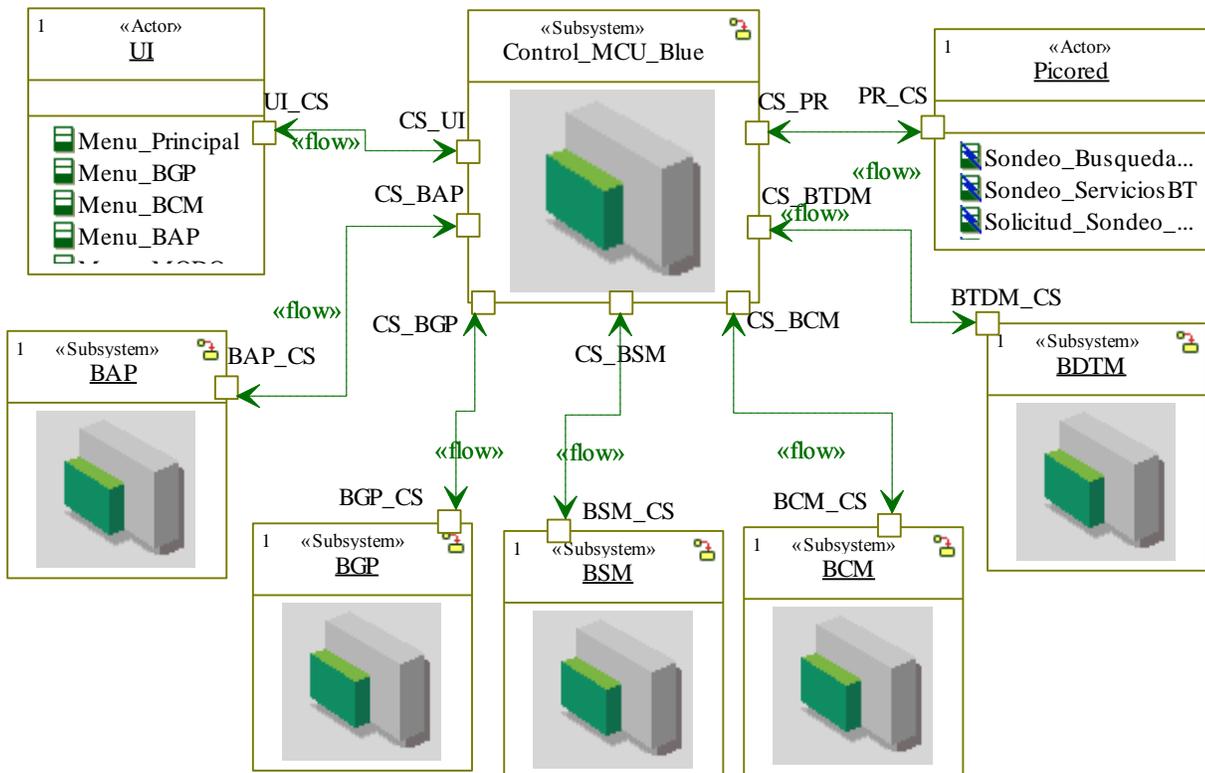


Figura 5.35. Diagrama de estructura del sistema DreamBlue.

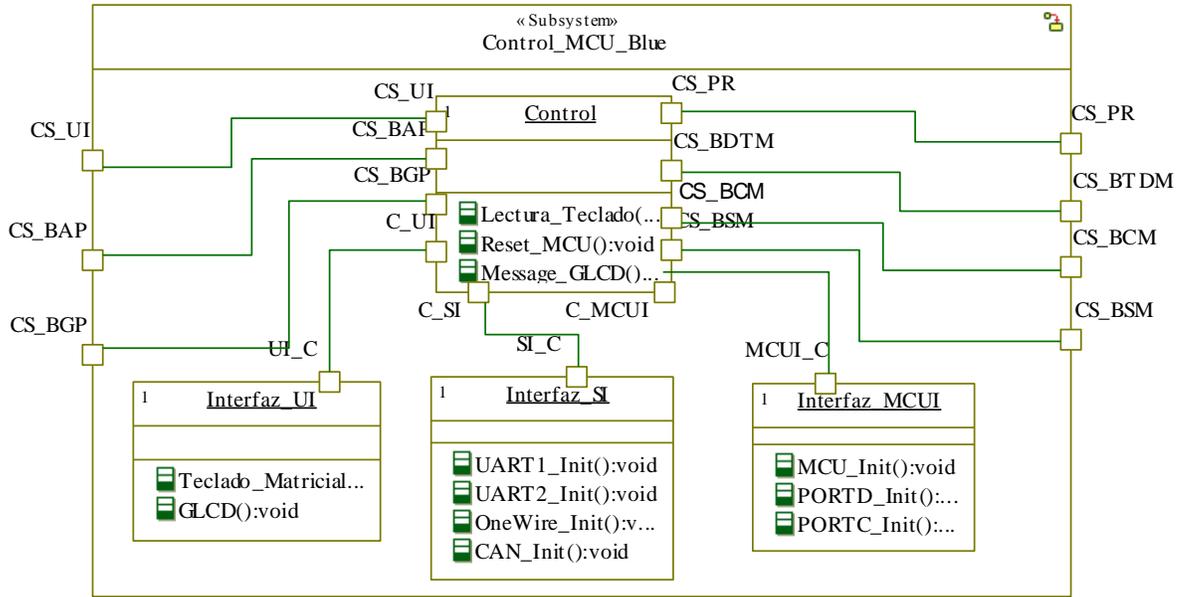


Figura 5.36. Diagrama de estructura del subsistema Control_MCU_Blue.

Los diagramas de estructura para cada subsistema (BGP, BAP, BSM, BCM y BDTM) del sistema DreamBlue representan de forma estática las diferentes funciones y órdenes AT. Cada uno de éstos diagramas contiene un objeto control que gestiona las órdenes especificadas en cada uno de los subsistemas (véanse Figura 5.37, Figura 5.38, Figura 5.39, Figura 5.40 y Figura 5.41).

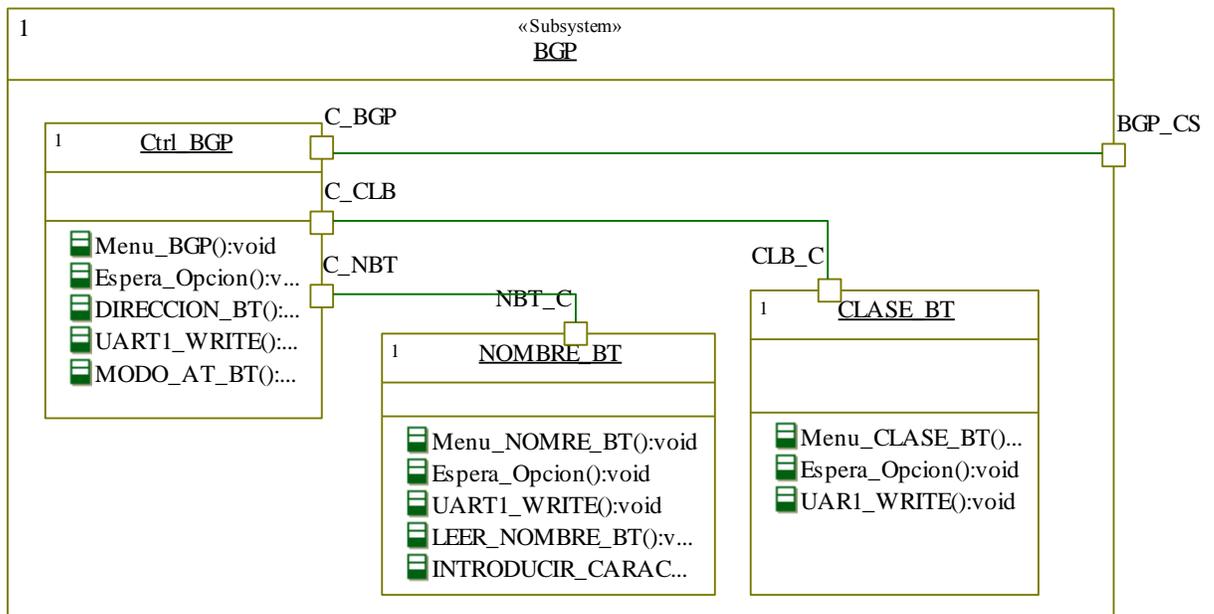


Figura 5.37. Diagrama de estructura del subsistema BGP.

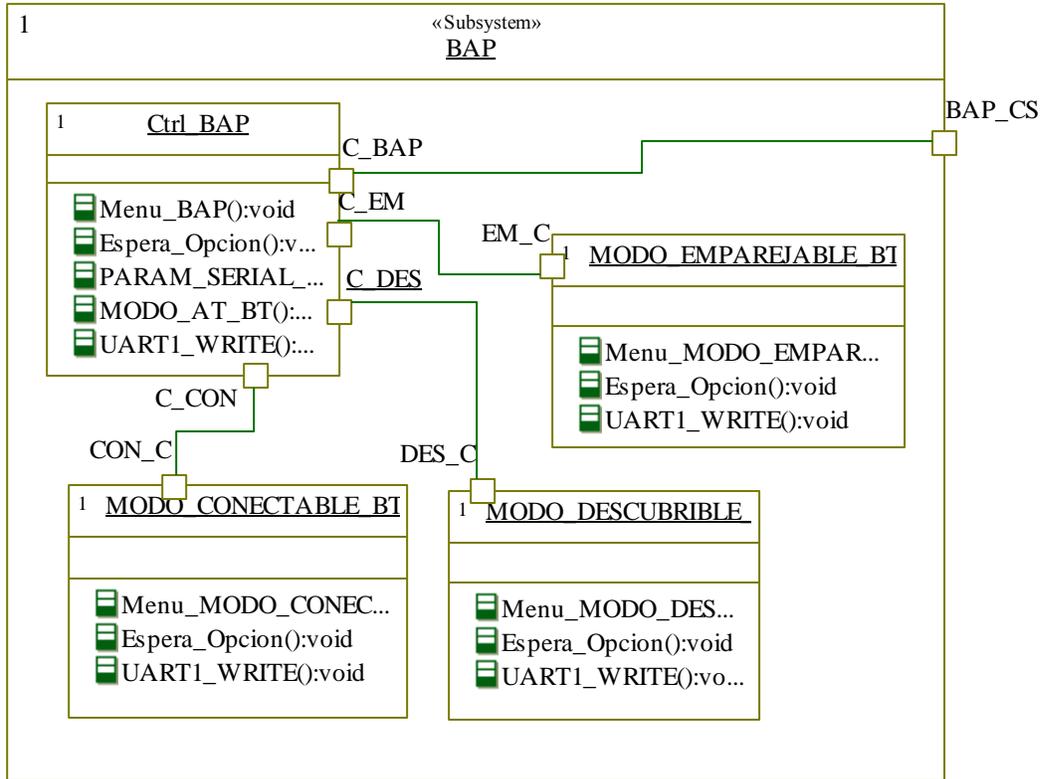


Figura 5.38. Diagrama de estructura del subsistema BAP.

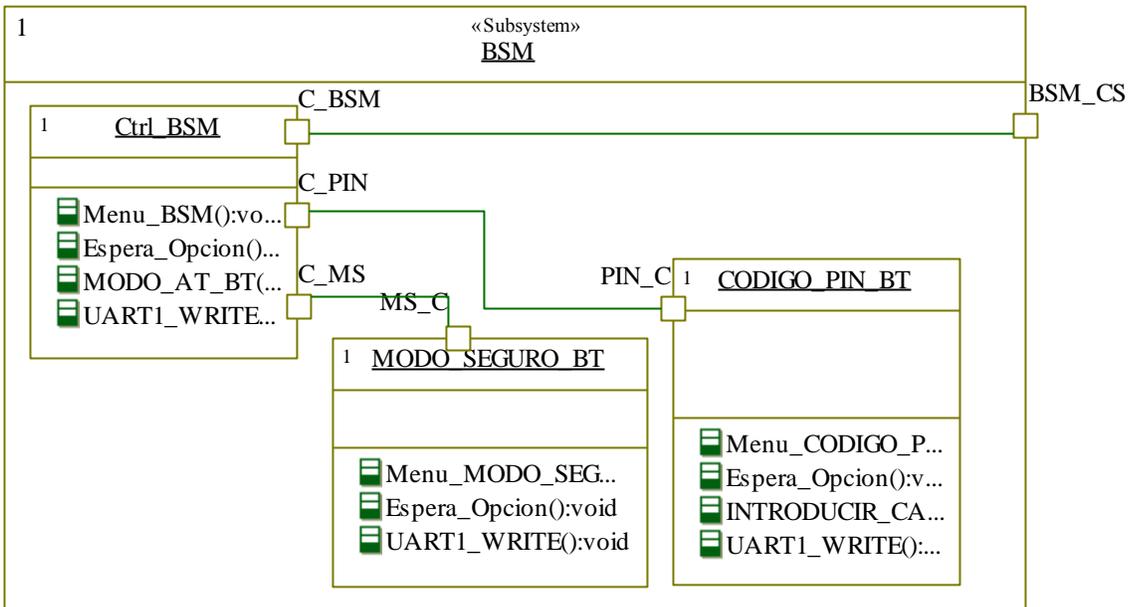


Figura 5.39. Diagrama de estructura del subsistema BSM.

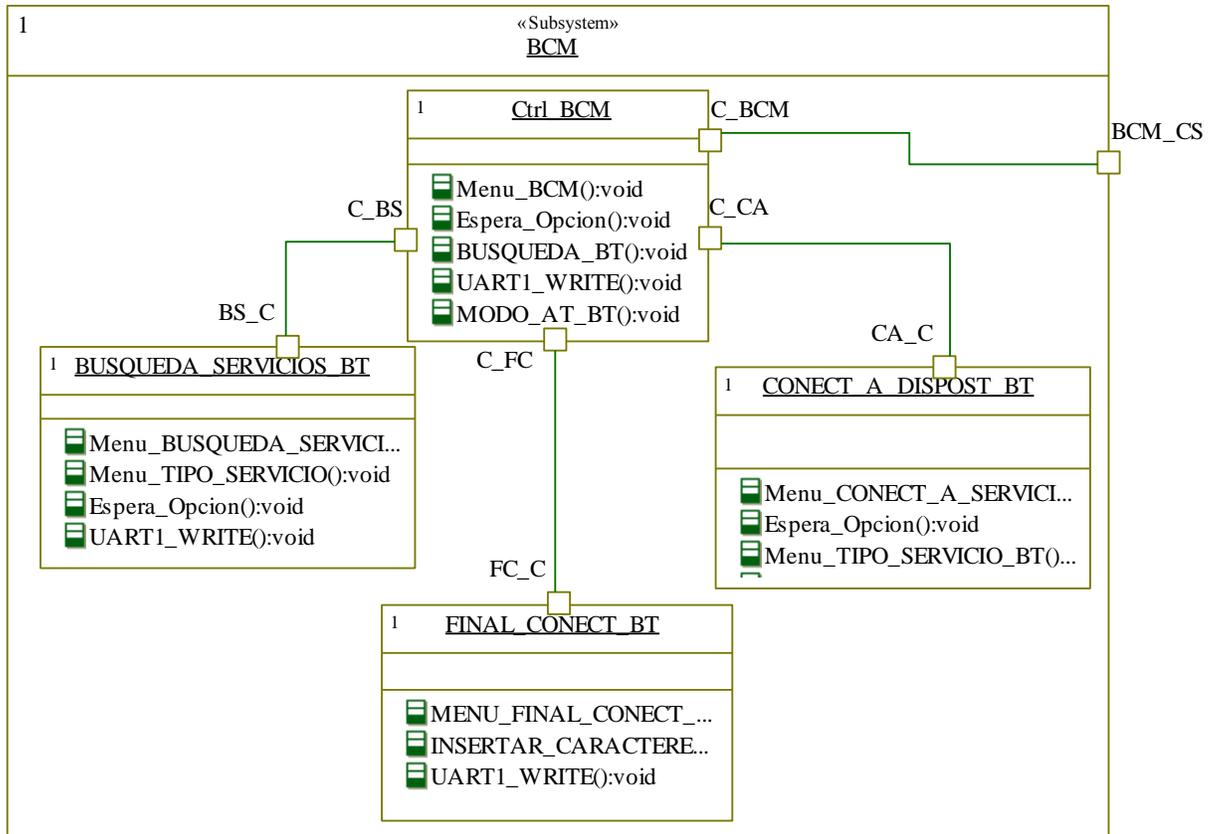


Figura 5.40. Diagrama de estructura del subsistema BCM.

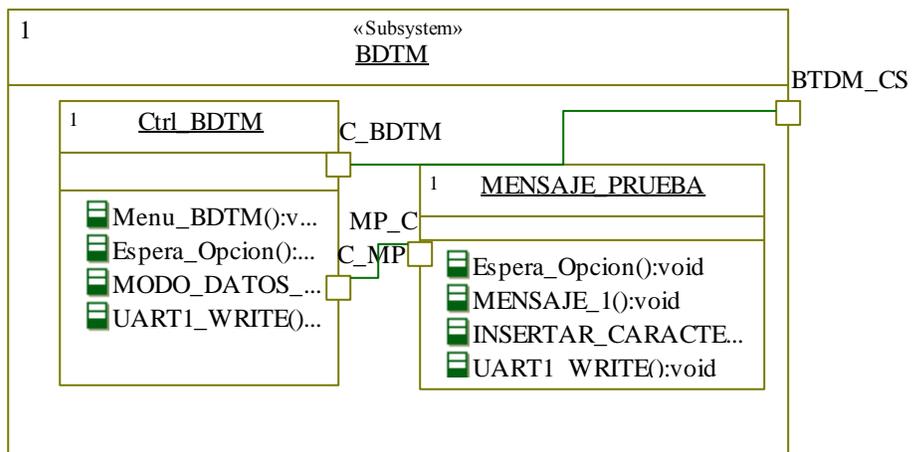


Figura 5.41. Diagrama de estructura del subsistema BDTM.

5.2.1.3. Diagramas de estructura del sistema DreamFi

La Figura 5.42 muestra la arquitectura funcional de forma estática del sistema DreamFi.

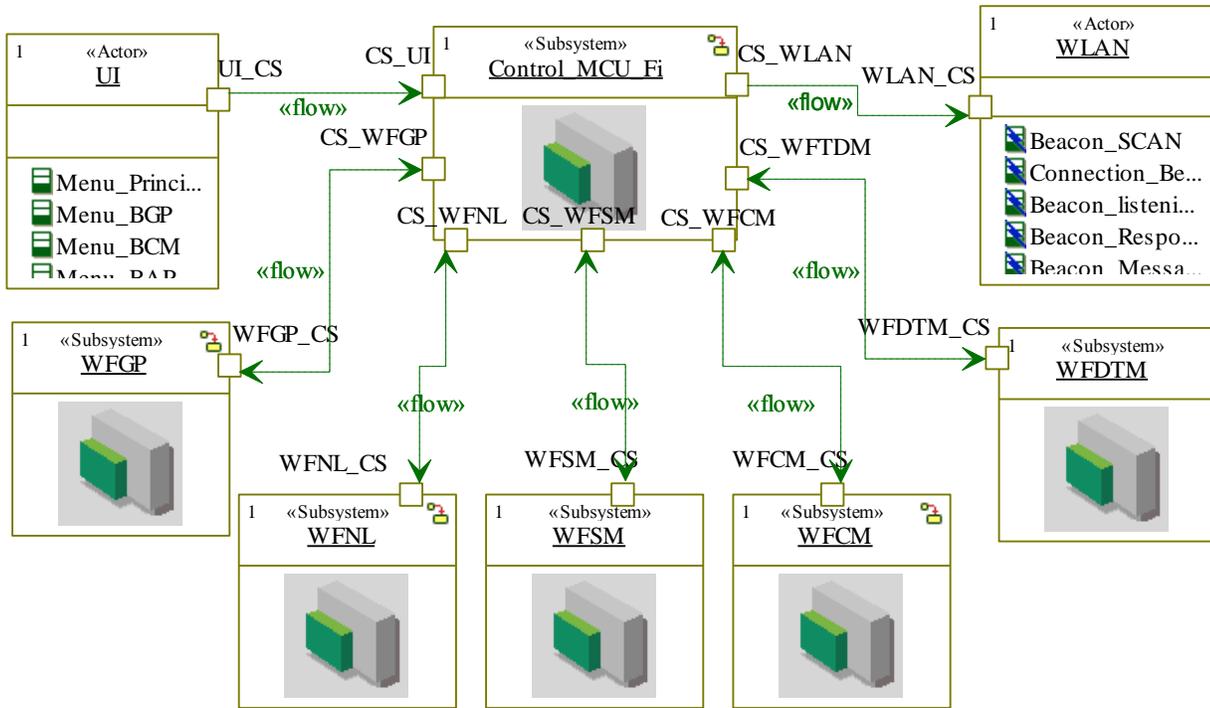


Figura 5.42. Diagrama de estructura del sistema DreamFi.

La arquitectura interna del sistema DreamFi se compone por seis subsistemas y dos actores (UI y WLAN). El subsistema Control_MCU_Fi envía las respectivas órdenes AT indicadas por el usuario al WM Wi-Fi (véase Figura 5.43).

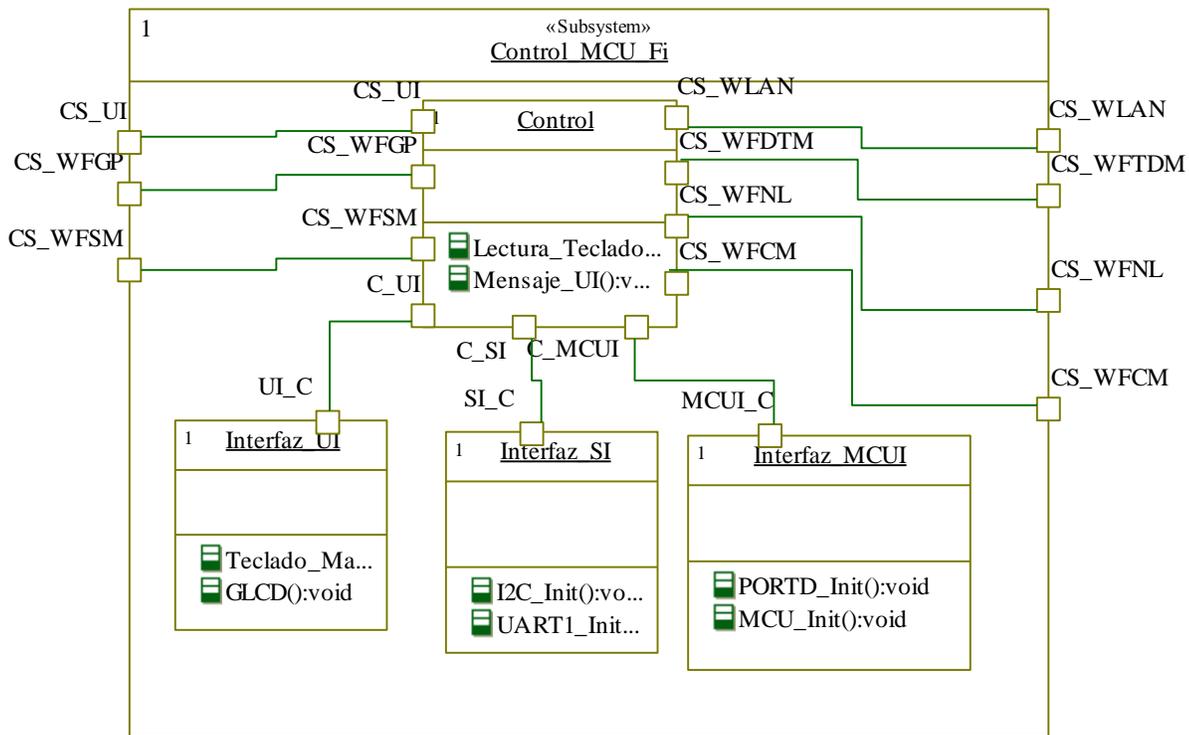


Figura 5.43. Diagrama de estructura del subsistema Control_MCU_Fi.

Los diagramas de estructura para cada subsistema (WFGP, WFNL, WFSM, WFCM y WFDTM) del sistema DreamFi representan de forma estática la funcionalidad dentro de los subsistemas. Los subsistemas son gestionados por un objeto denominado control (véanse Figura 5.44, Figura 5.45, Figura 5.46, Figura 5.47 y Figura 5.48).

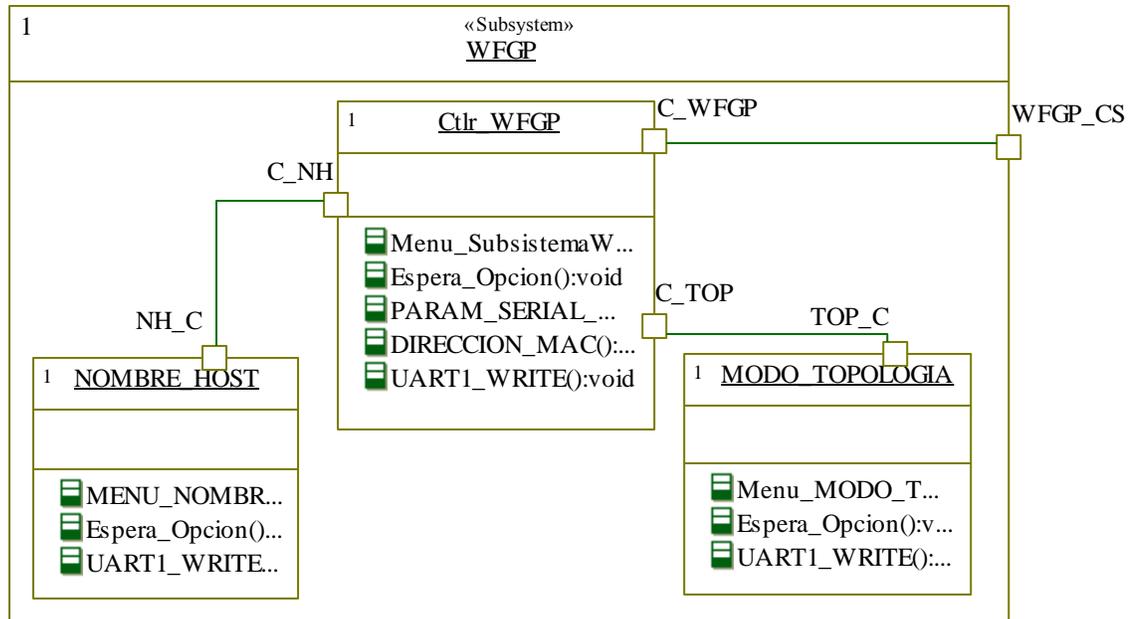


Figura 5.44. Diagrama de estructura del subsistema WFGP.

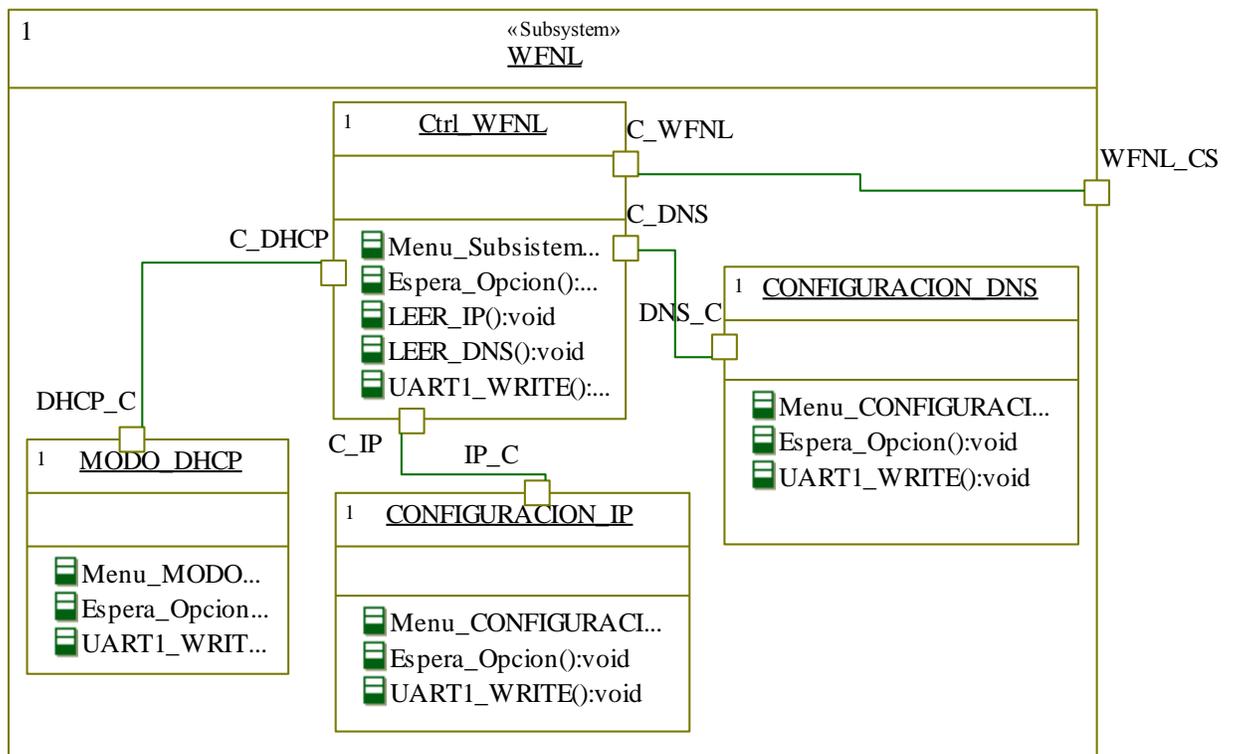


Figura 5.45. Diagrama de estructura del subsistema WFNL.

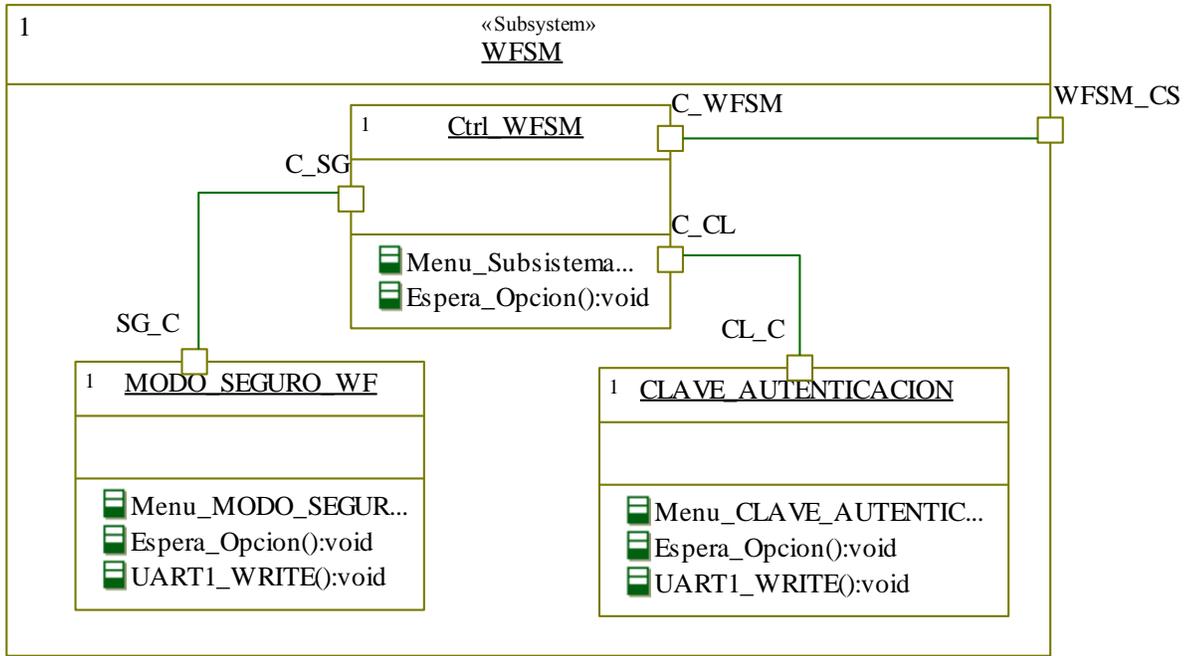


Figura 5.46. Diagrama de estructura del subsistema WFSM.

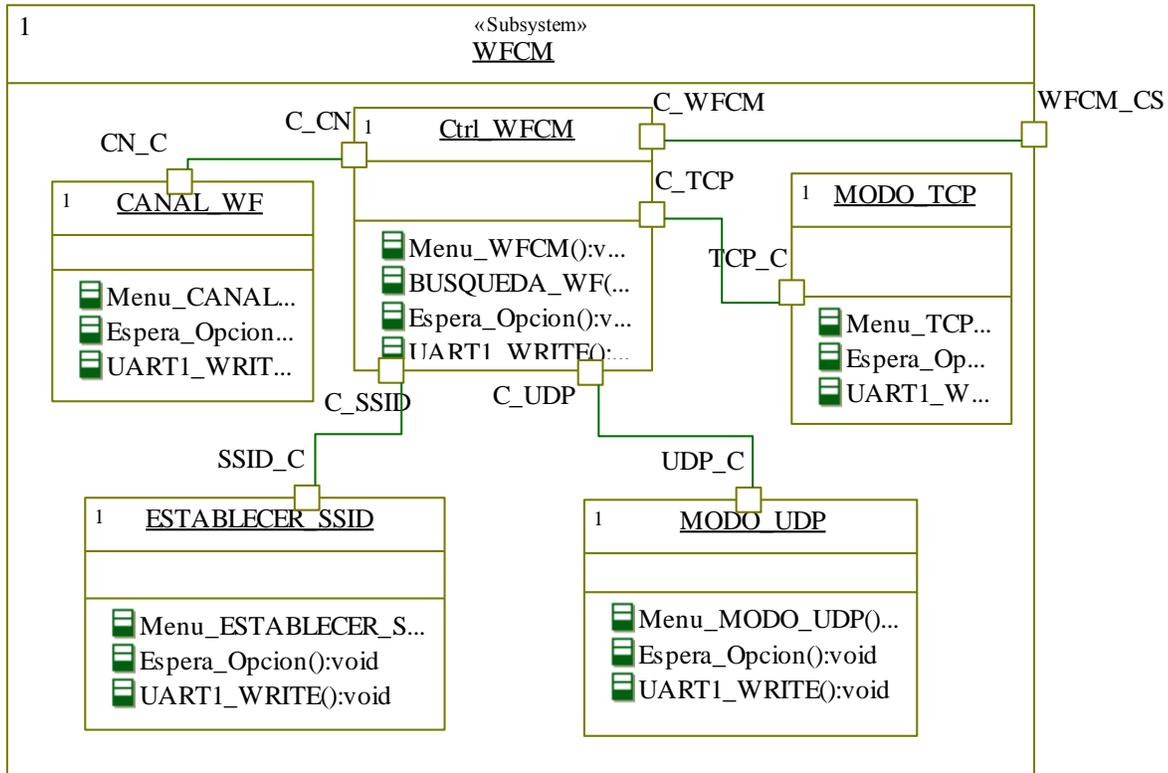


Figura 5.47. Diagrama de estructura del subsistema WFCM.

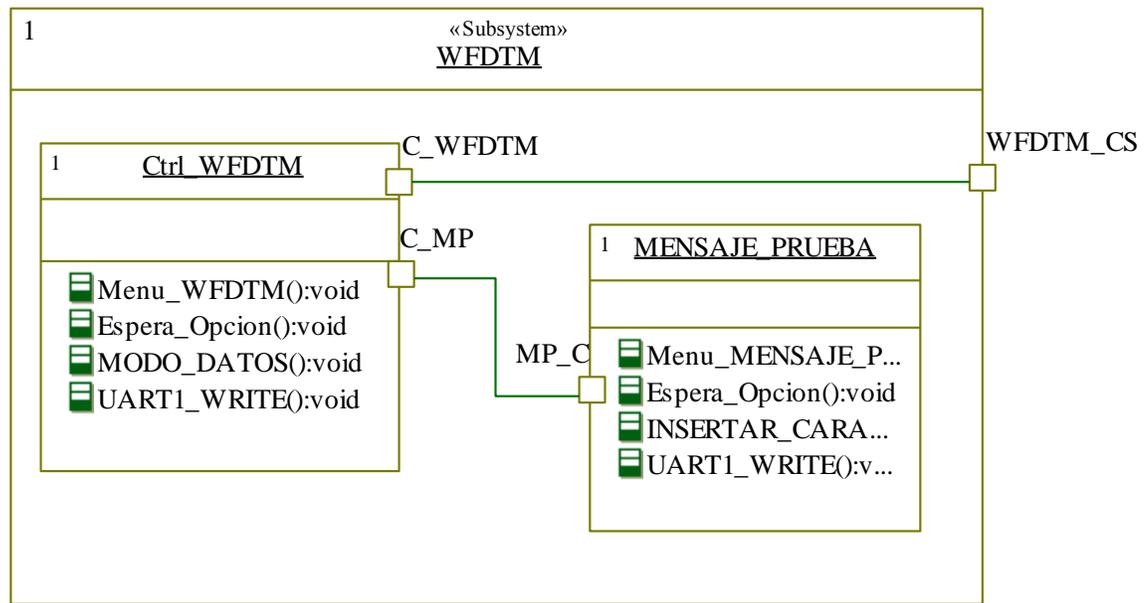


Figura 5.48. Diagrama de estructura del subsistema WFDTM.

5.2.2. Diagramas de secuencia del conjunto de sistemas IronBlue

Los diagramas de secuencia modelan las actividades que realizan los componentes de los diferentes sistemas DreamBee, DreamBlue y DreamFi.

Los diagramas de secuencia se encuentran divididos por subsistemas, donde se involucran a los escenarios de casos de uso (configuración de los módulos) para todas las órdenes involucradas en los diversos sistemas. Los escenarios modelan procesos de operación de los subsistemas, no se modelan errores o escenarios de fallo, solo escenarios de éxito (véase Anexo D).

Cada diagrama de secuencia se compone de roles clasificadores o líneas de vida (véase Anexo D), modelan cada uno de los subsistemas (módulos, librerías, macros, etc.), éstos se comunican entre sí mediante mensajes (métodos, eventos, funciones, etc.).

Cada mensaje en el diagrama de secuencia es un método o función traducible a código en C del firmware del MCU. Mientras que cada subsistema representa librerías o módulos del proyecto. Los actores o líneas de frontera representan las interfaces correspondientes a los actores y además las líneas de frontera pueden comunicarse con los subsistemas a través de mensajes.

Los roles clasificadores pueden comunicarse consigo mismos modelando procesos o tareas cíclicas, instrucciones de control de flujo como sentencias if, for, while, etc.)

A continuación se presenta un diagrama de secuencia por cada subsistema, para mostrar sus respectivas configuraciones.

5.2.2.1. Diagramas de secuencia del sistema DreamBee

El diagrama de secuencia de la Figura 5.49 muestra el escenario de asignación de nombre al WM ZigBee.²⁶

²⁶ La metodología SPIES indica que se tienen que realizar por lo menos 3 y no más de 30 diagramas de secuencia para cada subsistema, por cuestiones de espacio se presenta en el documento un diagrama por cada subsistema.

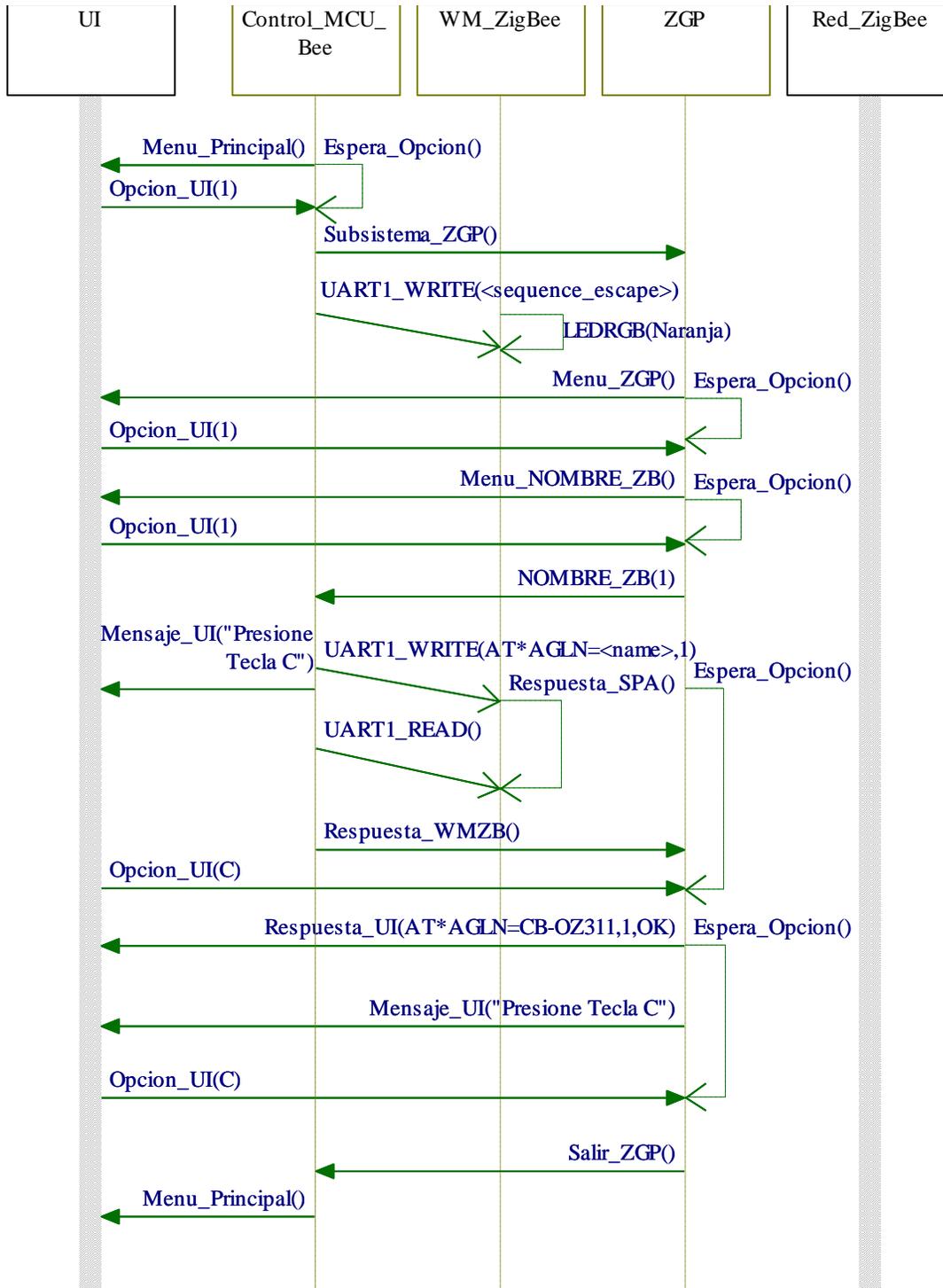


Figura 5.49. Diagrama de secuencia - Asignación de nombre al WM ZigBee.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.50 muestra el escenario de activación del modo visible del WM ZigBee.

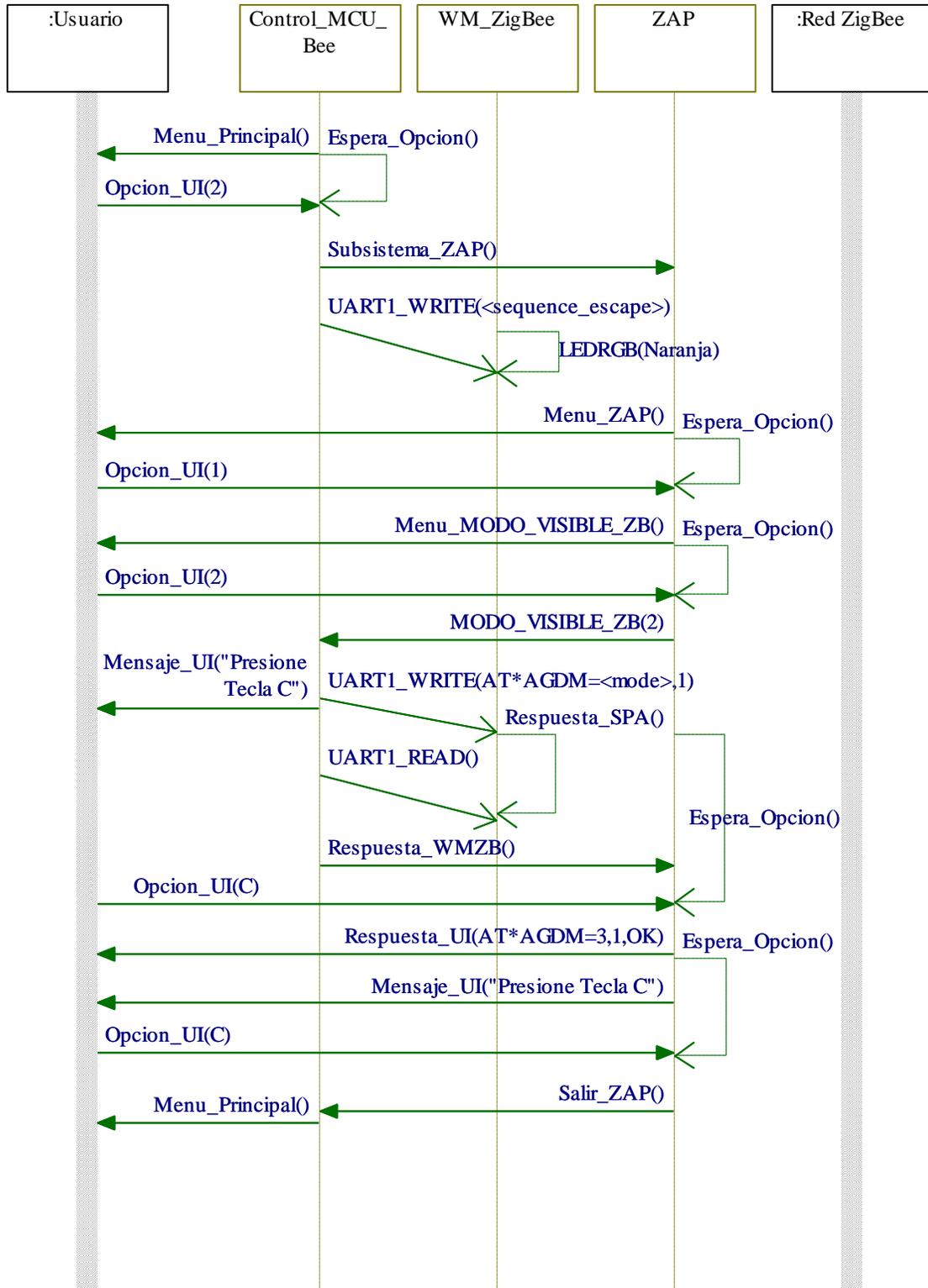


Figura 5.50. Diagrama de secuencia - Activación del modo visible ZigBee.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.51 muestra el escenario de activación del modo seguro del WM ZigBee.

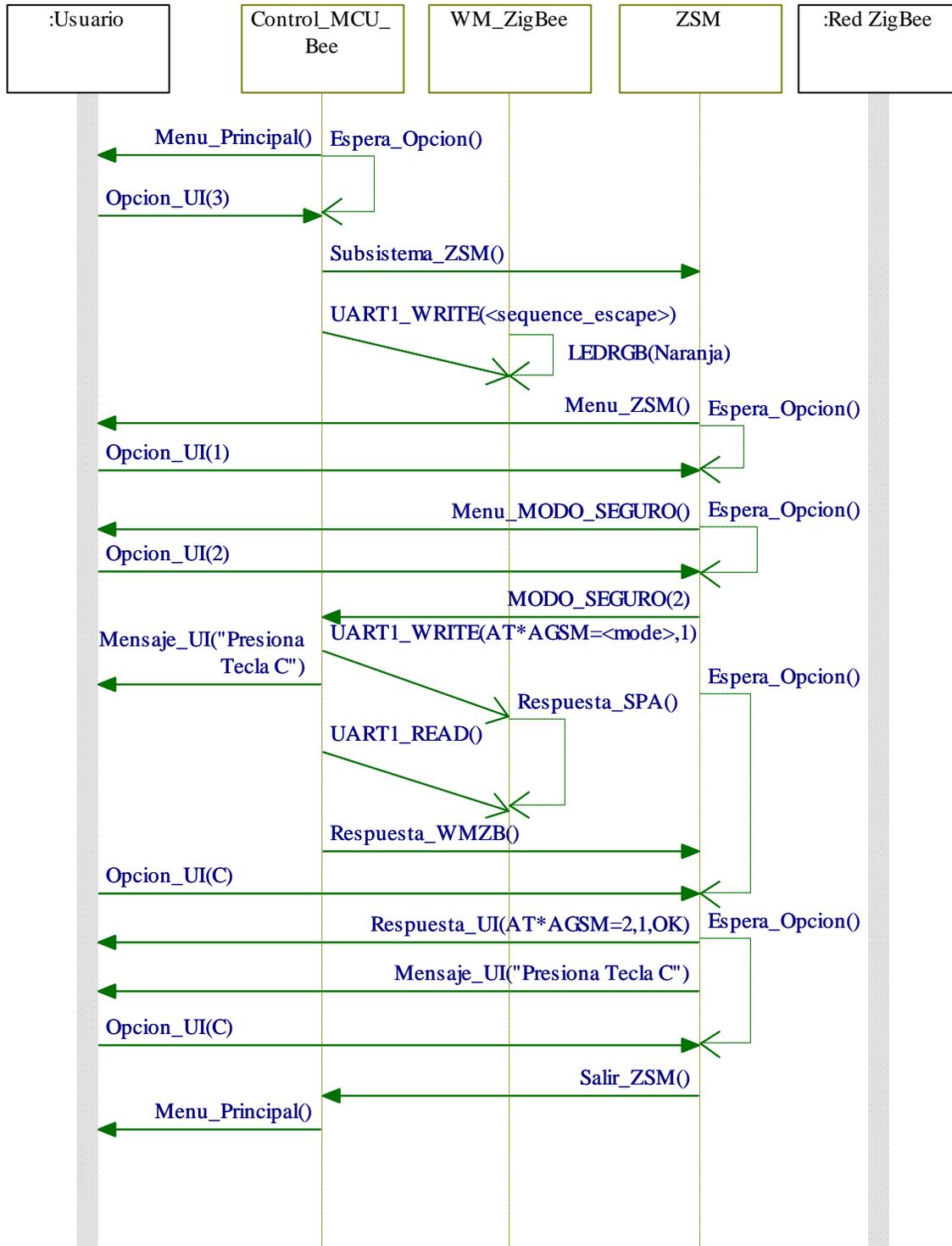


Figura 5.51. Diagrama de secuencia - Activación del modo seguro ZigBee.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.52 muestra el escenario para la asignación de la clave de seguridad del WM ZigBee.

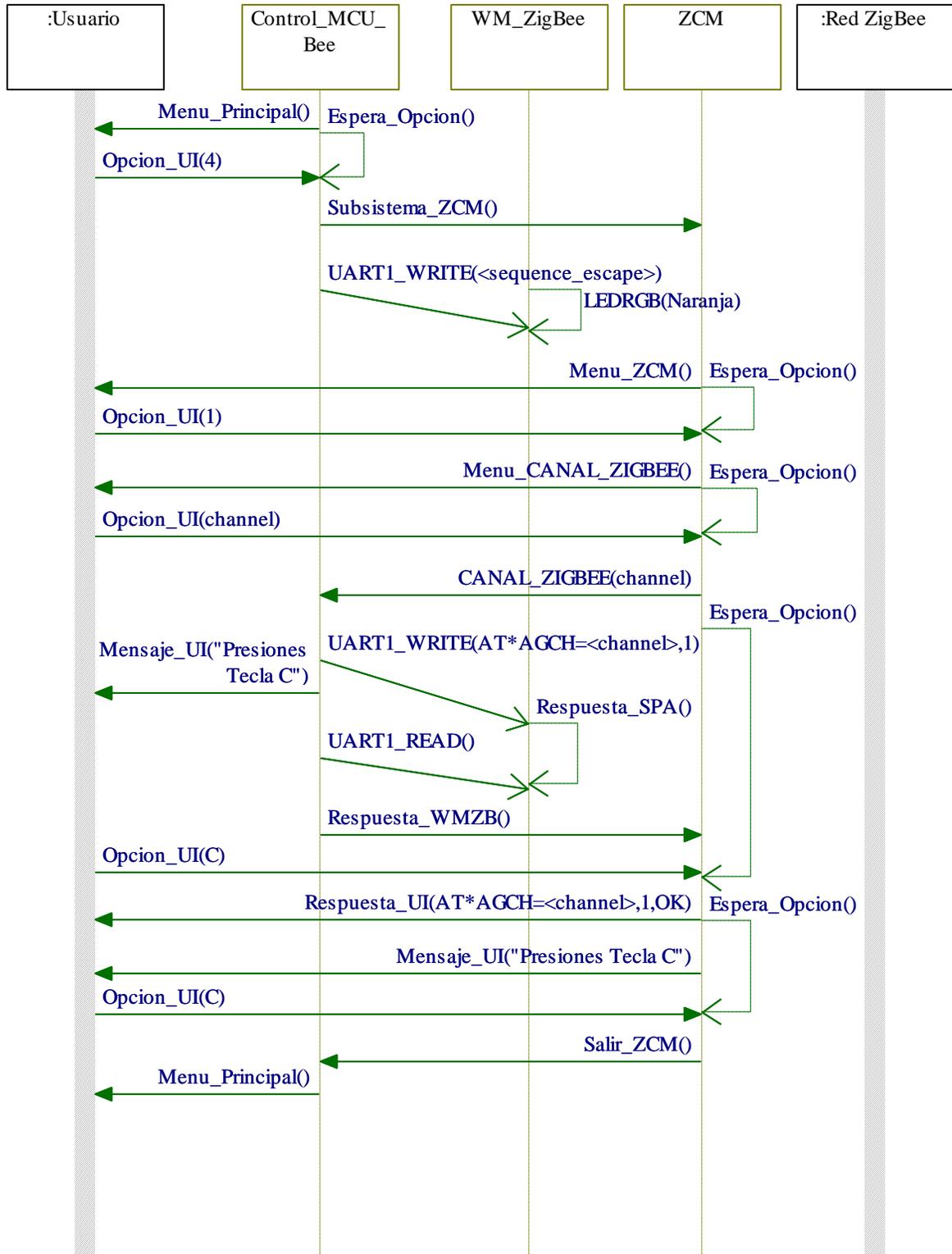


Figura 5.52. Diagrama de secuencia – Asignación del canal de operación ZigBee.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.53 muestra el escenario para enviar un mensaje de prueba entre el WM ZigBee y un dispositivo ZigBee conectado.

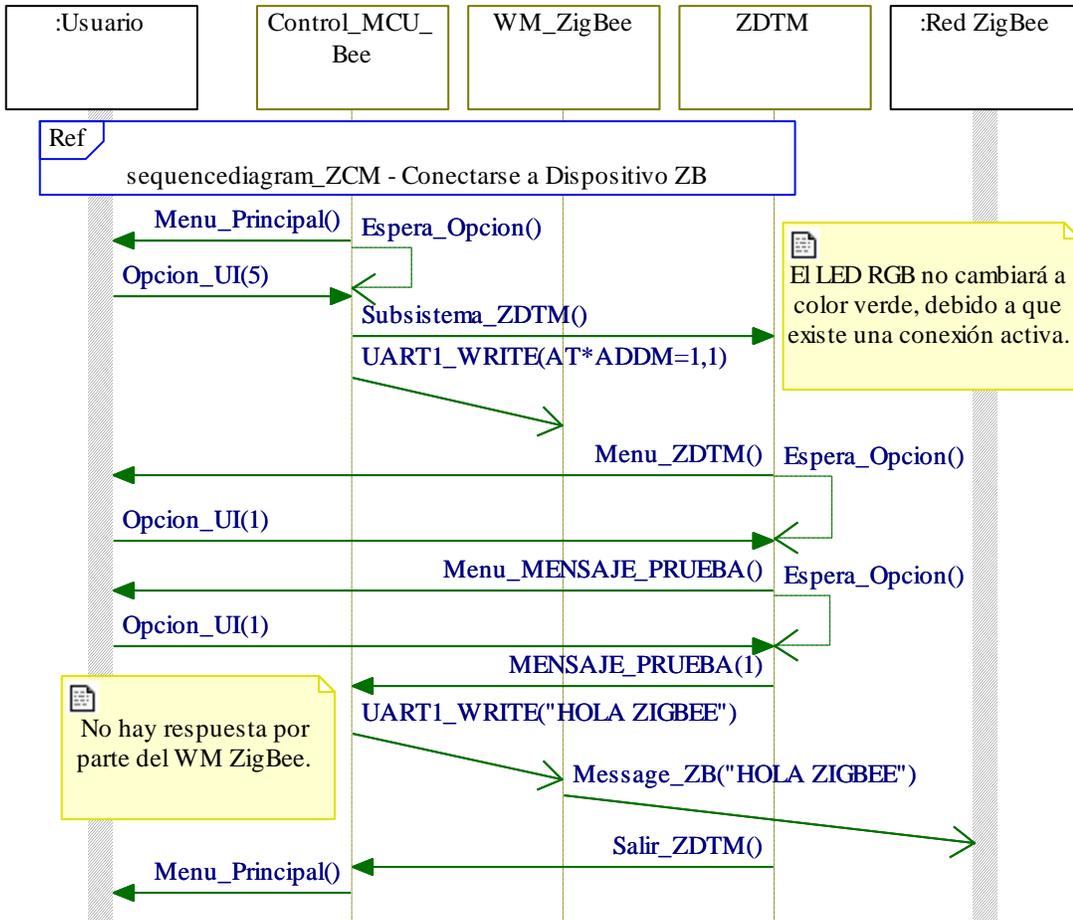


Figura 5.53

Figura 5.54. Diagrama de secuencia – Envío de mensaje de prueba “HOLA ZIGBEE”.

5.2.2.2. Diagramas de secuencia del sistema DreamBlue

Los diagramas de secuencia para las órdenes AT en el sistema DreamBlue se muestran a continuación.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.55 muestra el escenario de asignación de nombre amigable al WM Bluetooth.

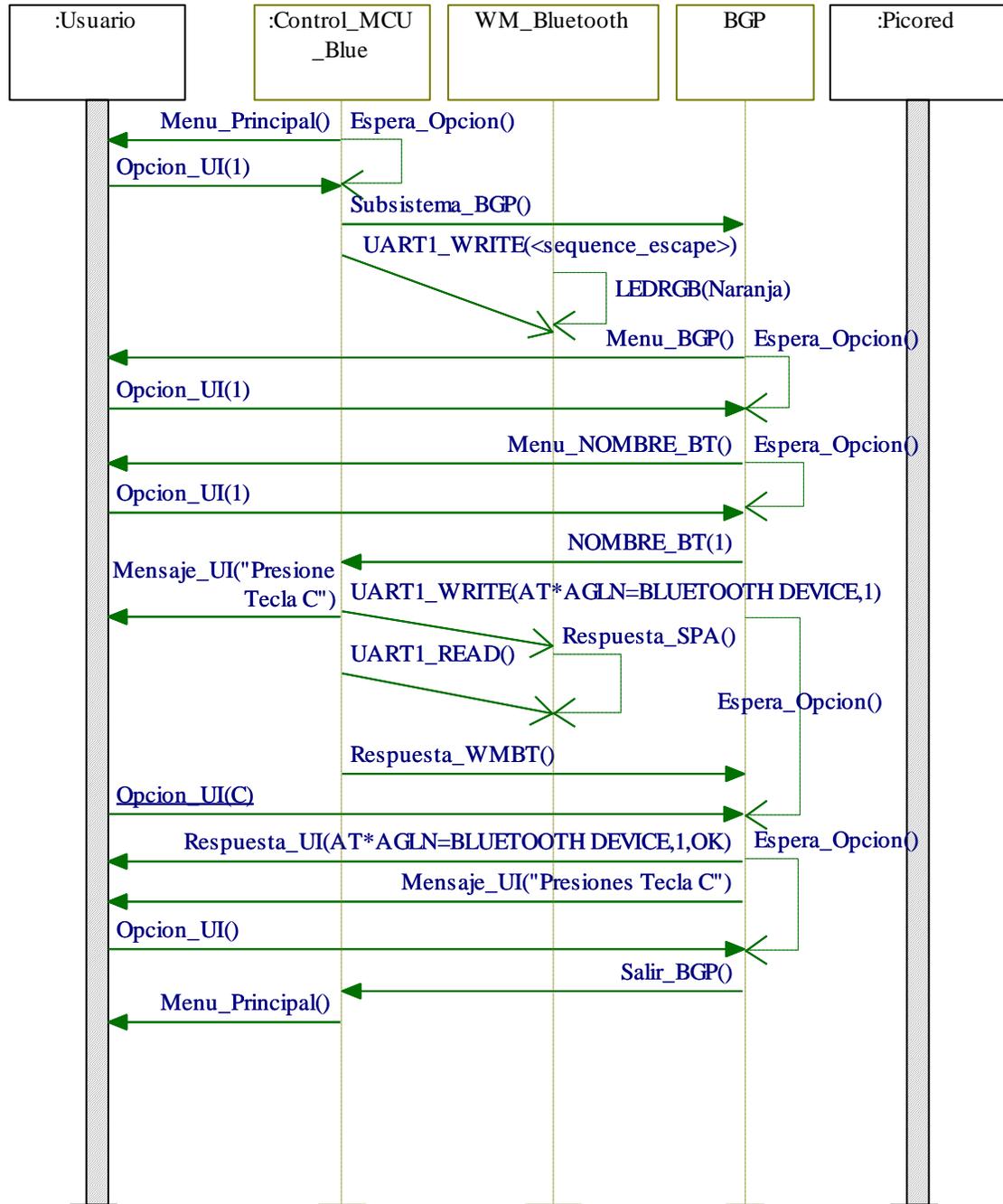


Figura 5.55. Diagrama de secuencia – Asignar nombre amigable al WM Bluetooth.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.56 muestra el escenario para activar el modo conectable del WM Bluetooth.

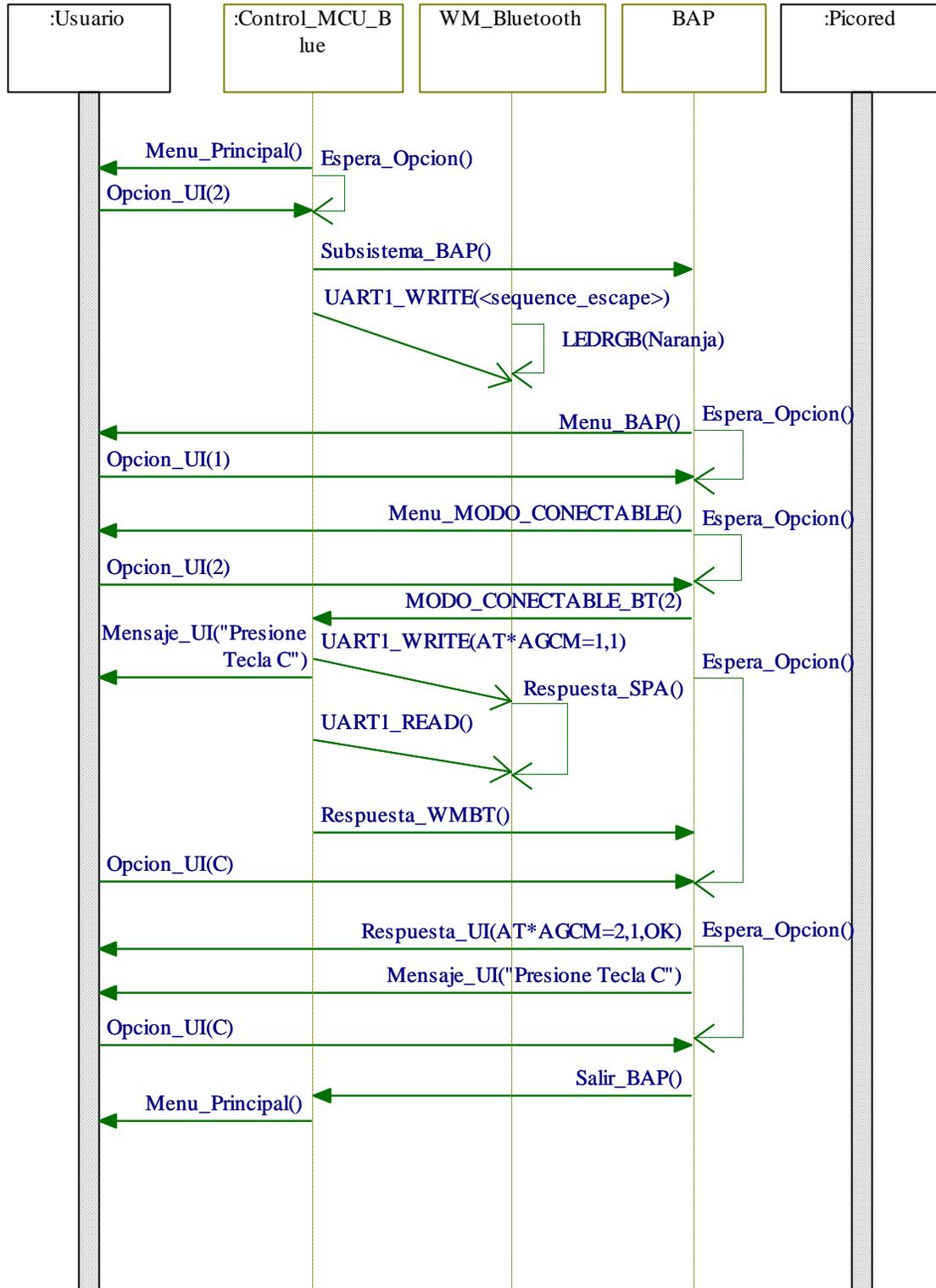


Figura 5.56. Diagrama de secuencia - Activación del modo conectable del WM Bluetooth.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.58 muestra el escenario para realizar una búsqueda de dispositivos con el WM Bluetooth.

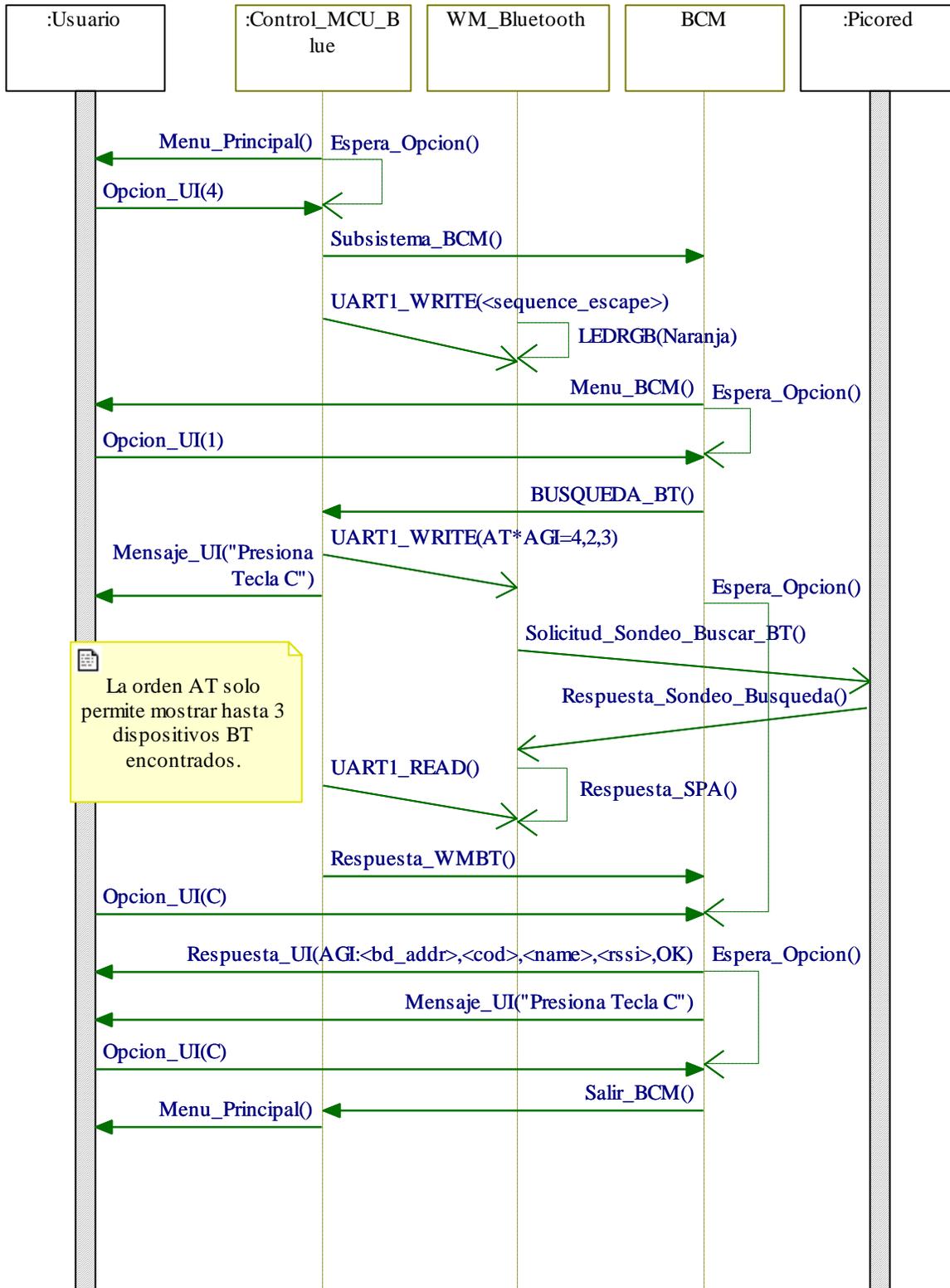


Figura 5.58. Diagrama de secuencia – Búsqueda de dispositivos Bluetooth.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.59 muestra el escenario para enviar el mensaje “HOLA BLUETOOTH” del WM Bluetooth a un dispositivo con el servicio SPP habilitado.

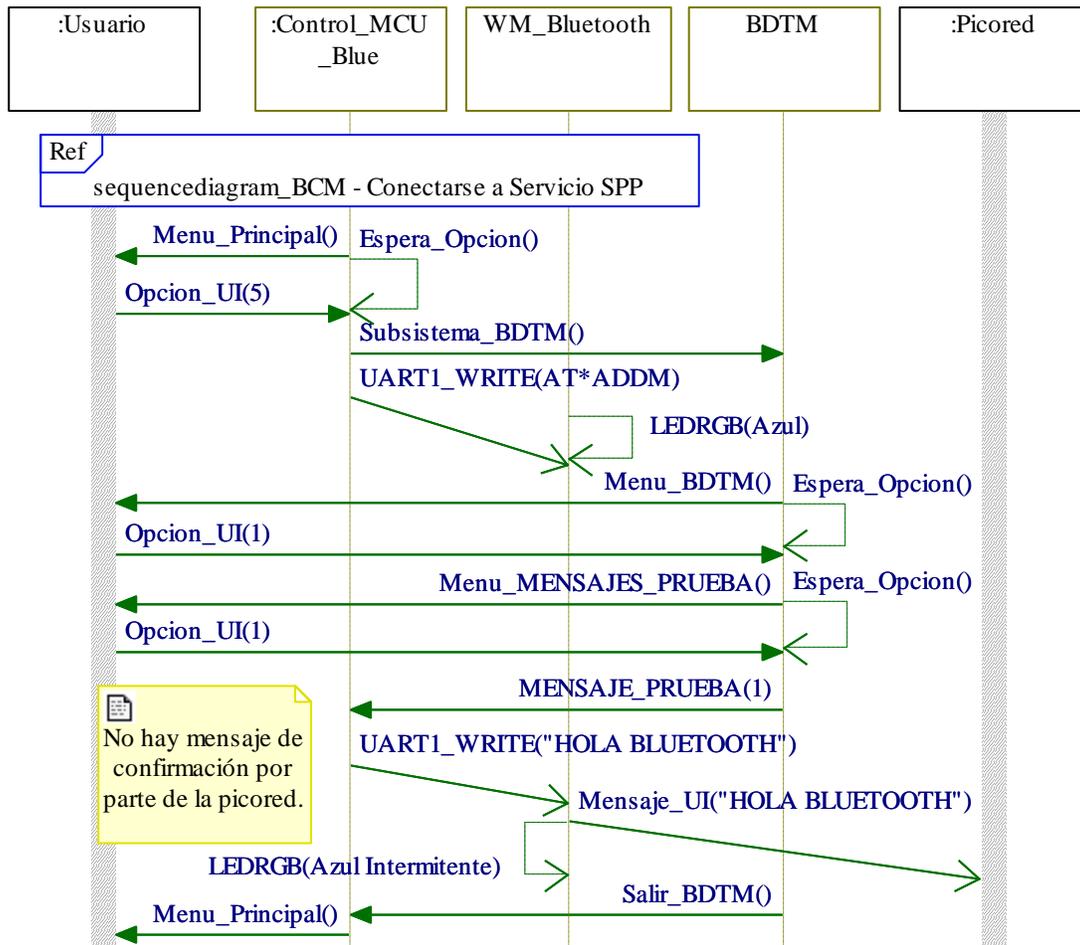


Figura 5.59. Diagrama de secuencia – Enviando mensaje “HOLA BLUETOOTH”.

5.2.2.3. Diagramas de secuencia del sistema DreamFi

Los diagramas de secuencia para las órdenes AT en el sistema DreamFi se muestran a continuación.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.60 muestra el escenario de asignación de nombre amigable al WM Fi.

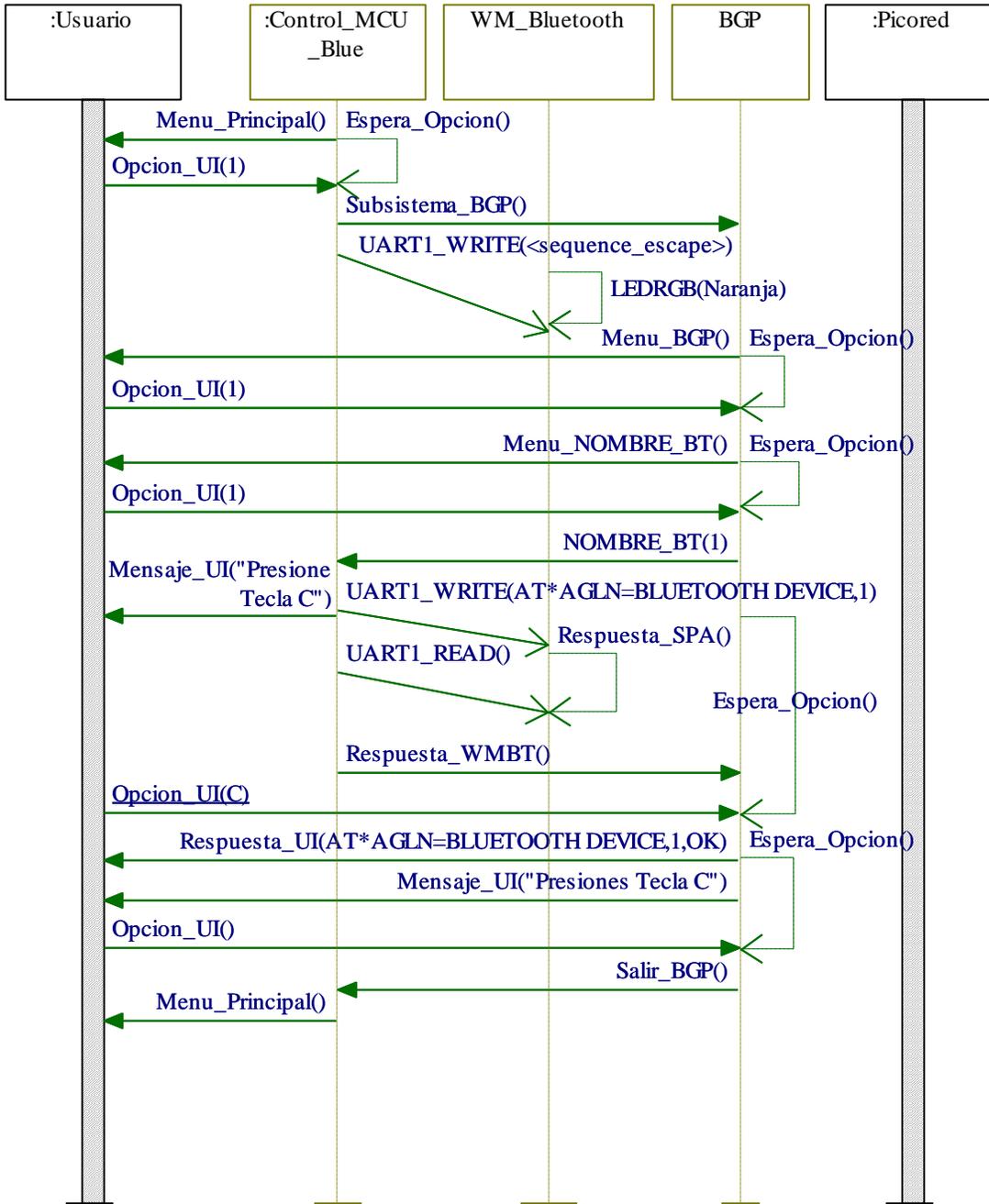


Figura 5.60. Diagrama de secuencia – Asignar nombre *host* al WM Wi-Fi.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.61 muestra el escenario para activar el DHCP en modo cliente y obtener más adelante la dirección IP para el WM Wi-Fi de forma dinámica.

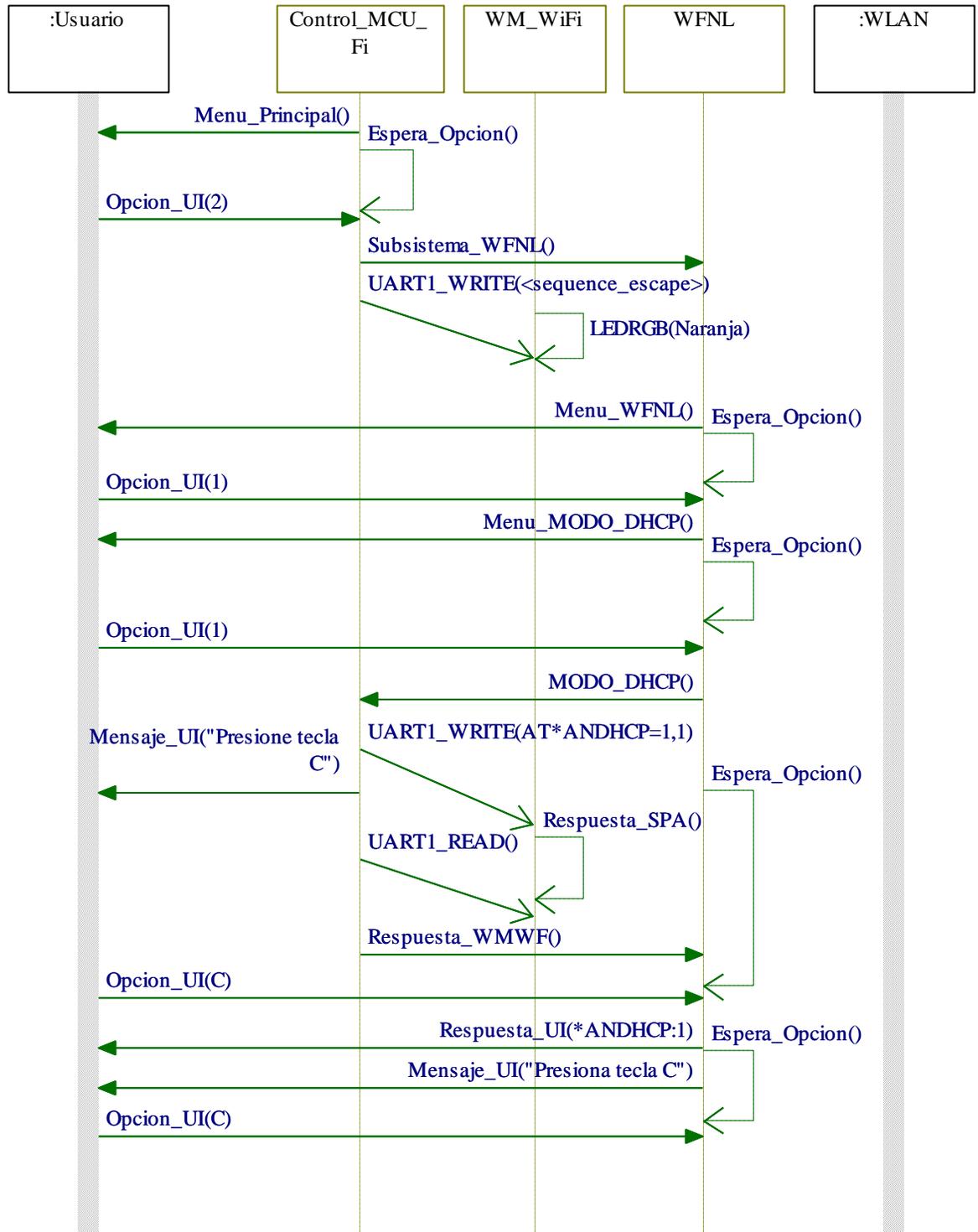


Figura 5.61. Diagrama de secuencia - Activación del DHCP en modo cliente.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.62 muestra el escenario para habilitar el modo de autenticación por clave compartida y el método de encriptación WEP128 del WM Wi-Fi.

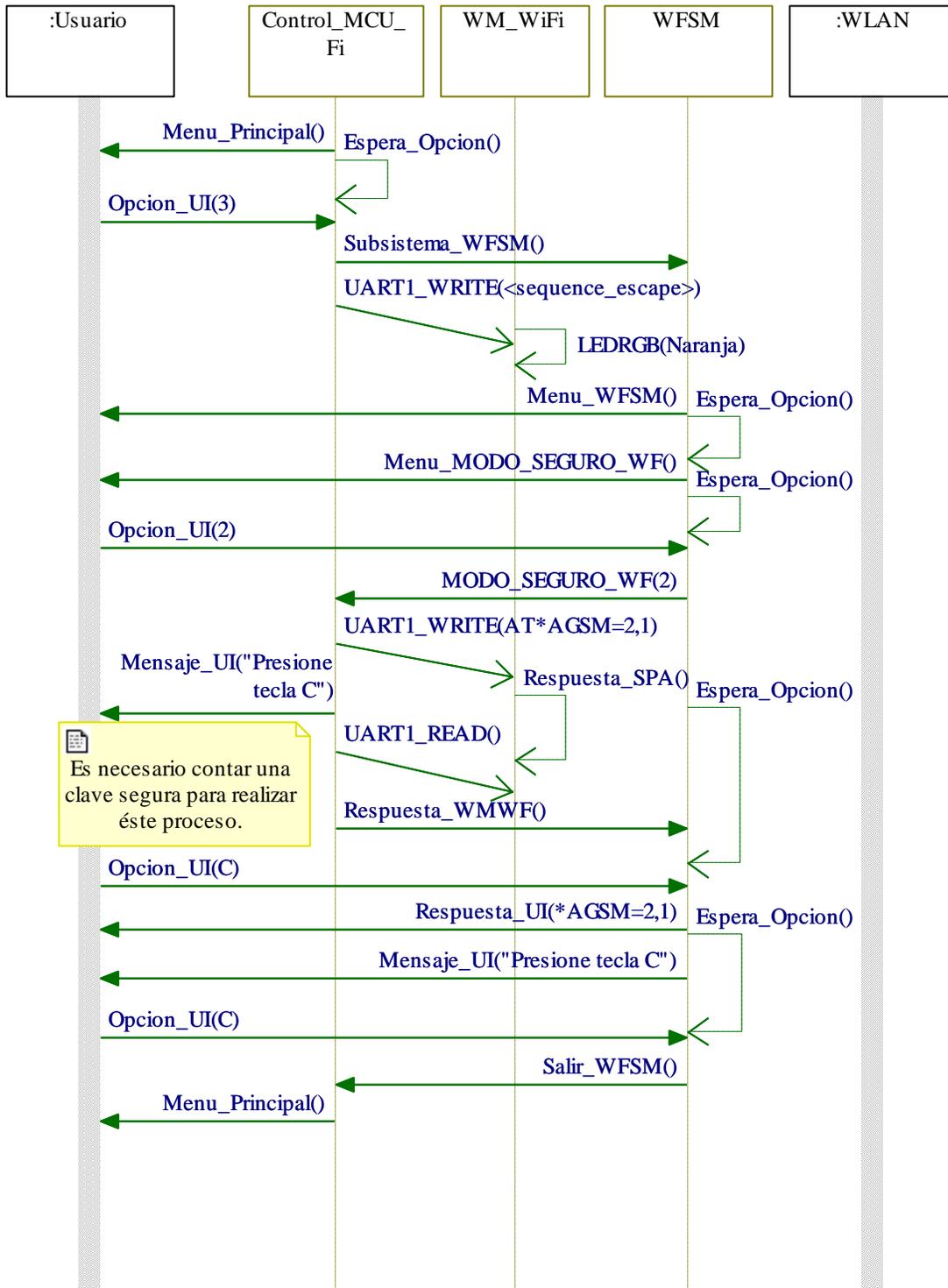


Figura 5.62. Diagrama de secuencia - Activación del modo seguro del WM Wi-Fi (Clave-WEP128).

El diagrama de secuencia de la Figura 5.63 muestra el escenario para realizar una búsqueda de dispositivos AP en el rango de cobertura del WM Wi-Fi.

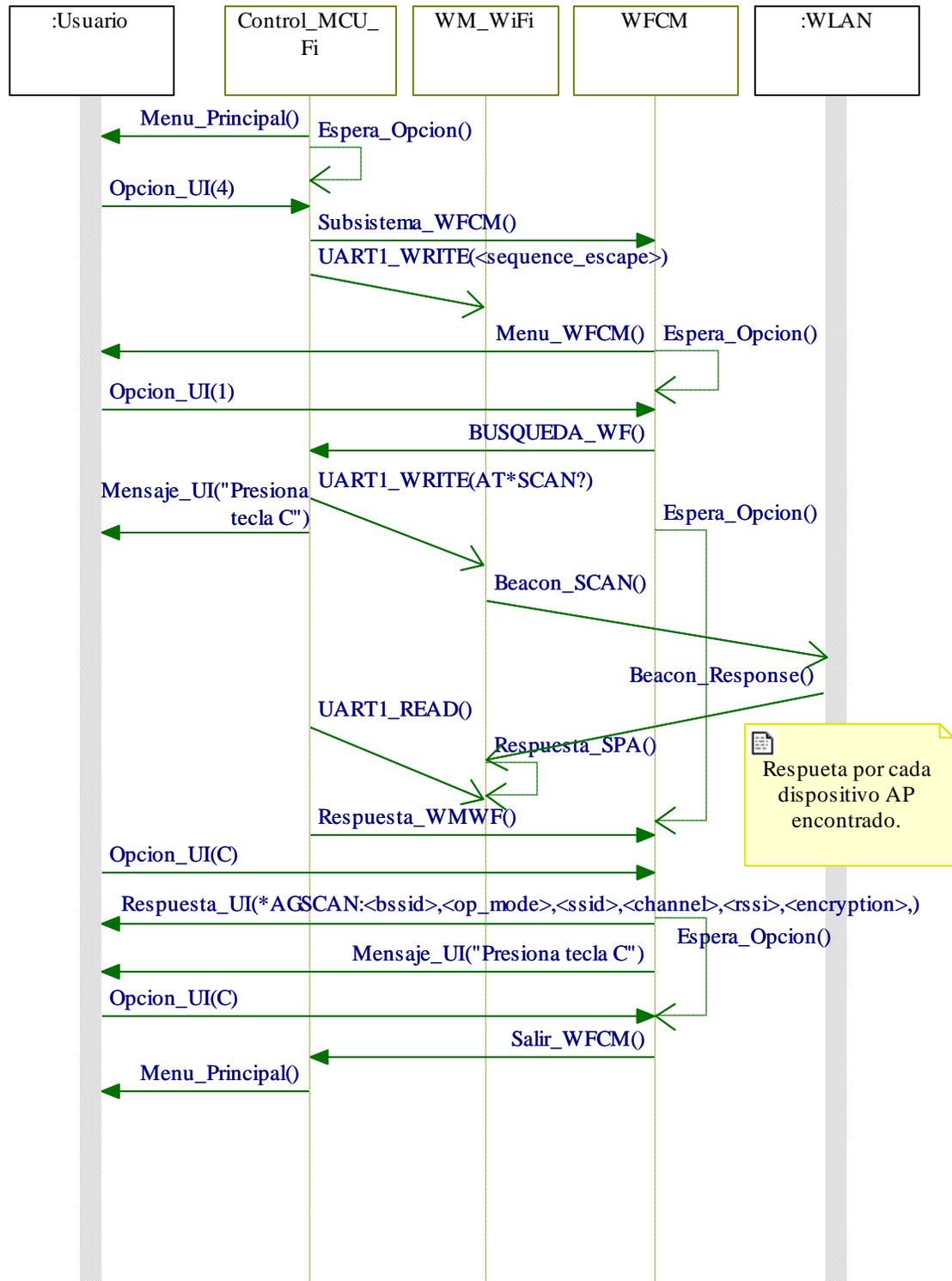


Figura 5.63. Diagrama de secuencia – Búsqueda de dispositivos AP Wi-Fi.

El diagrama de secuencia de la Figura 5.64 muestra el escenario para activar el modo escucha TCP del WM Wi-Fi y asignar un número de puerto específico para este servicio.

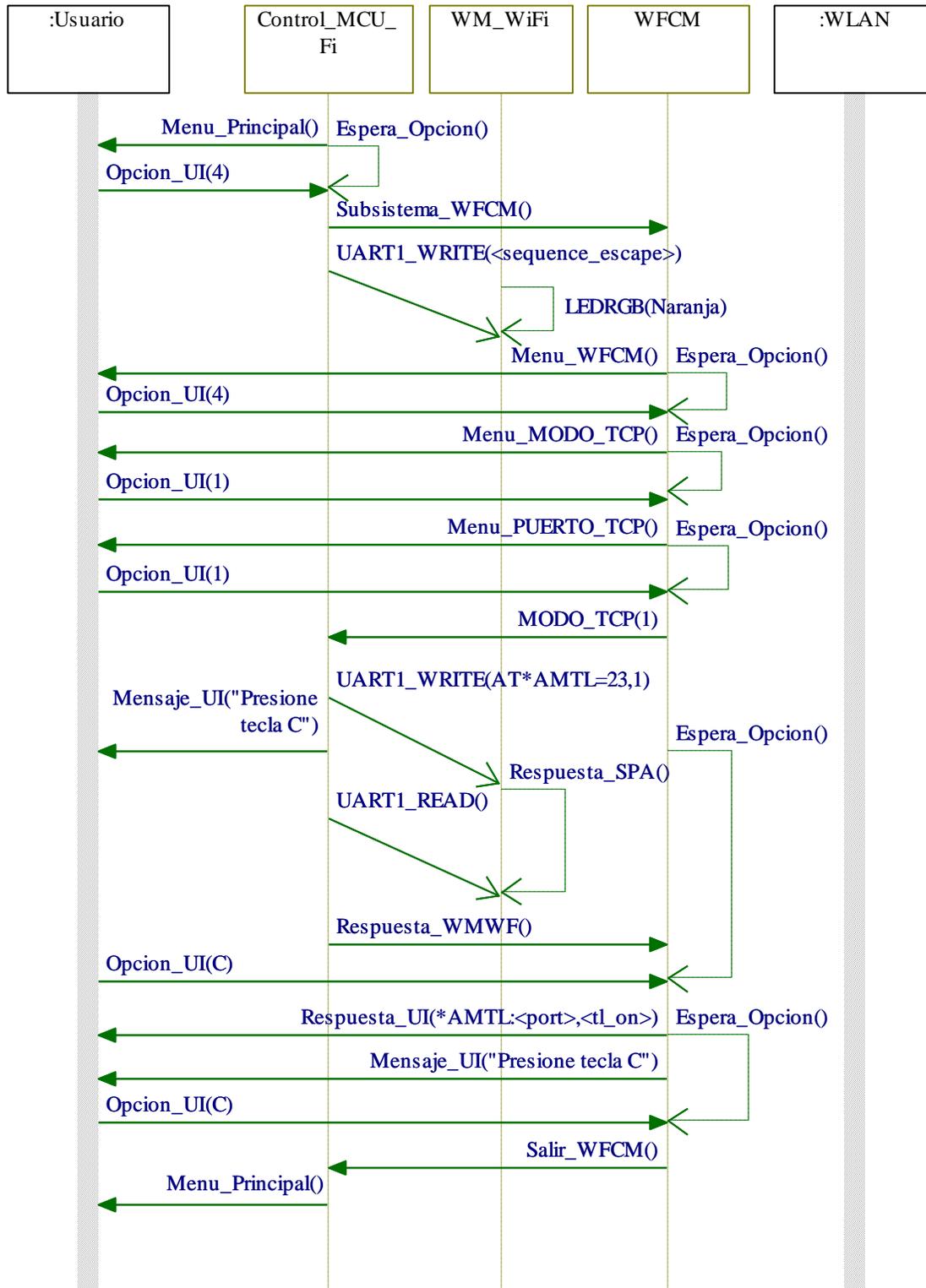


Figura 5.64. Diagrama de secuencia – Activar servicio TCP y asignar puerto de escucha.

A continuación la Figura 5.65 muestra el escenario para recibir mensajes a través del servicio TCP montado en el WM Wi-Fi. El WM Wi-Fi se encuentra configurado en modo de infraestructura, sin el modo seguro habilitado, asociado a la SSID “tallermotorola.

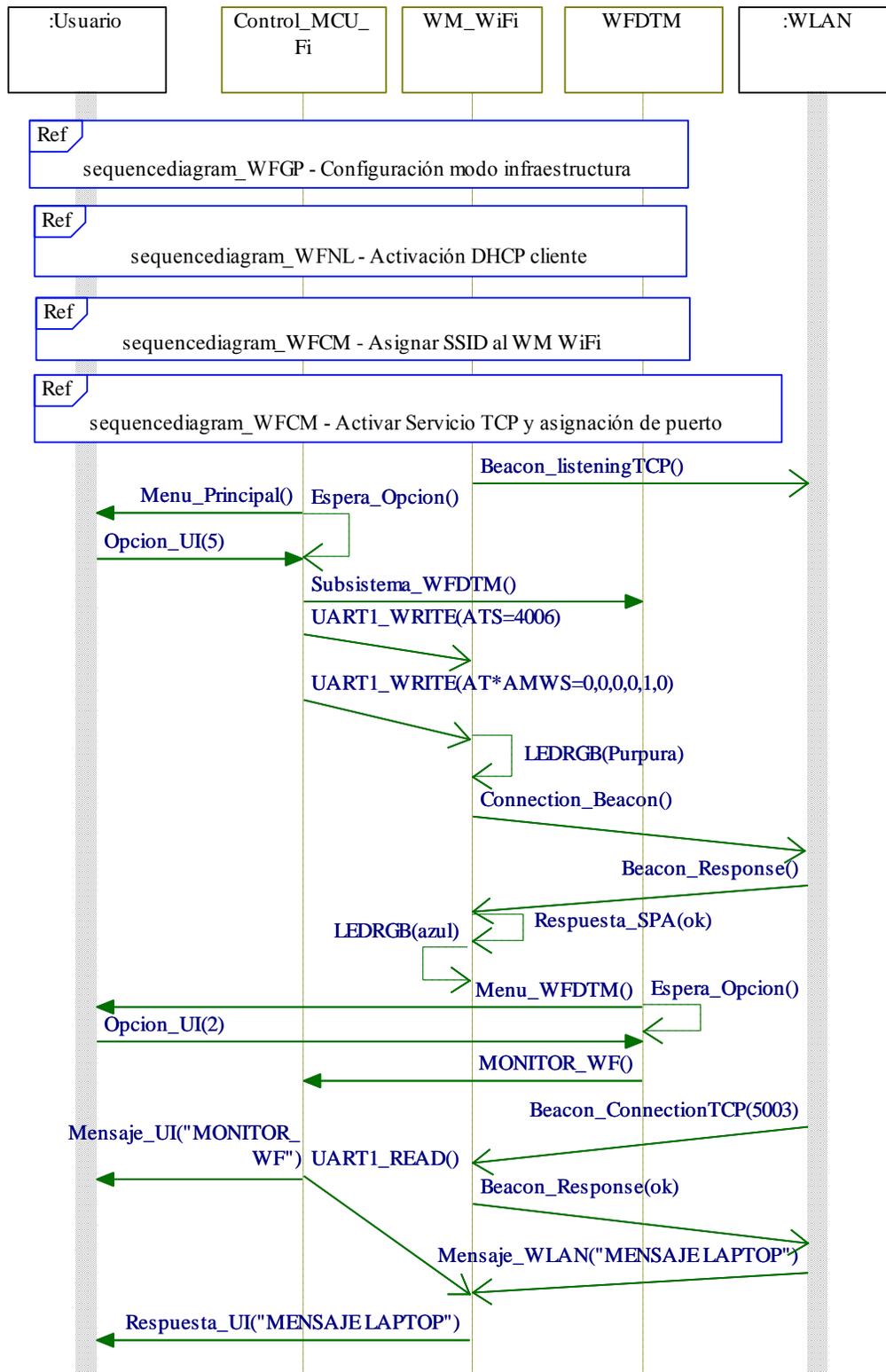


Figura 5.65. Diagrama de secuencia – Recepción de mensajes a través del servicio TCP en el WM Wi-Fi.

5.2.3. Diagramas de máquinas de estado del conjunto de sistemas IronBlue

Los diagramas de máquinas de estado modelan las actividades que realizan los componentes y subsistemas de forma dinámica. De esta forma, se cuenta con una mayor visión en cuanto a la interacción del usuario-sistema (véase Anexo D).

5.2.3.1. Diagramas de máquina de estado del sistema DreamBee

El primer diagrama de máquina de estados (véase Figura 5.66), corresponde al subsistema Control_MCU_Bee que se encargará de proporcionar al usuario el menú principal. De este menú se desprende la primera condición donde el usuario puede elegir un subsistema asociado a las diferentes opciones mostradas en pantalla. De la misma manera los diagramas de máquinas de estado para los subsistemas DreamBee (véanse Figura 5.67, Figura 5.68, Figura 5.69, Figura 5.70 y Figura 5.71), siguen la misma lógica para facilitar la interacción existente entre usuario y el sistema.

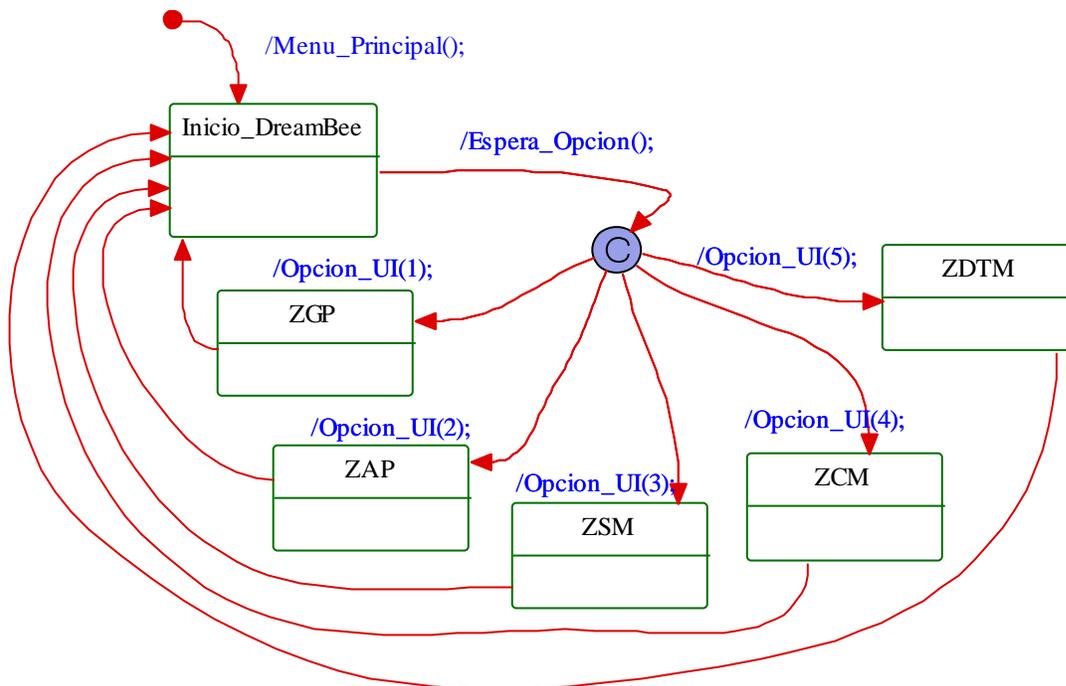


Figura 5.66. Máquina de estado del Control_MCU_Bee.

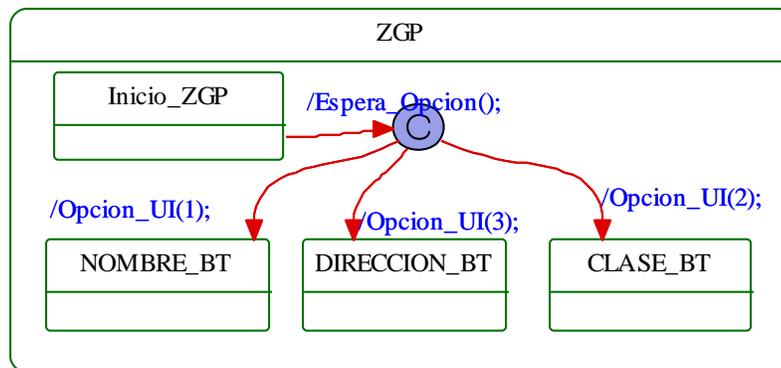


Figura 5.67. Máquina de estado del subsistema ZGP.

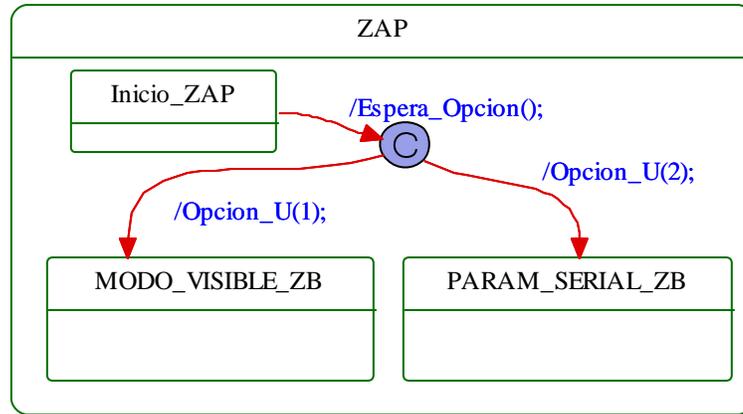


Figura 5.68. Máquina de estado del subsistema ZAP.

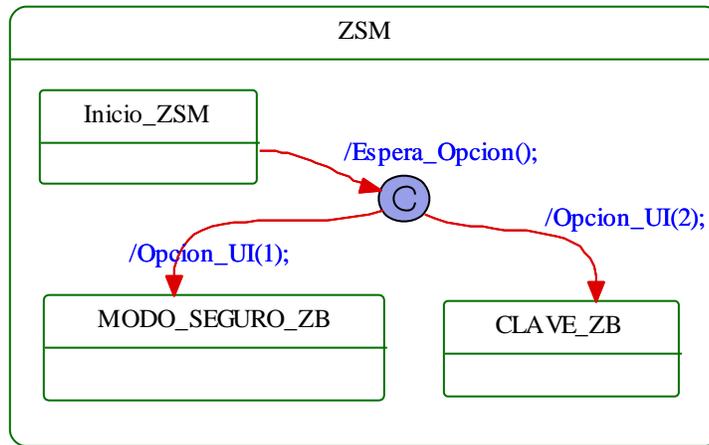


Figura 5.69. Máquina de estado del subsistema ZSM.

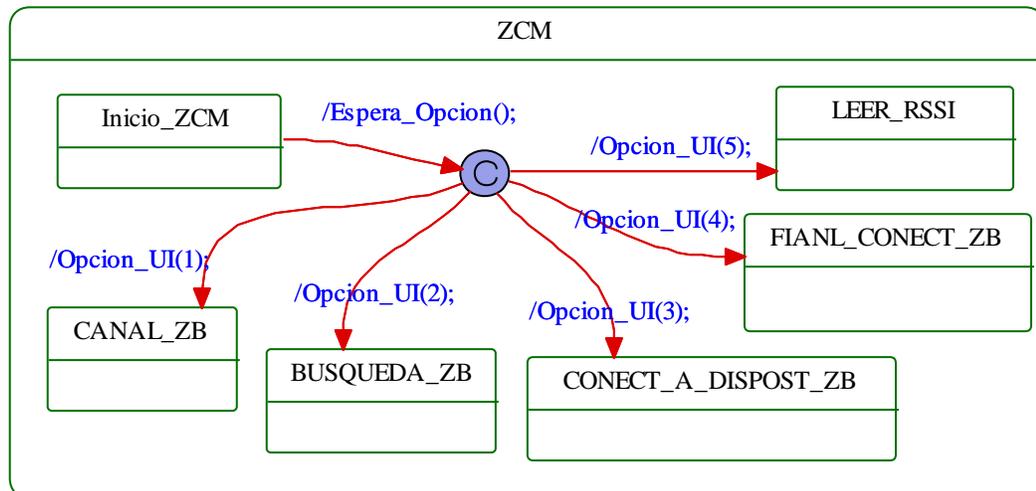


Figura 5.70. Máquina de estado del subsistema ZCM.

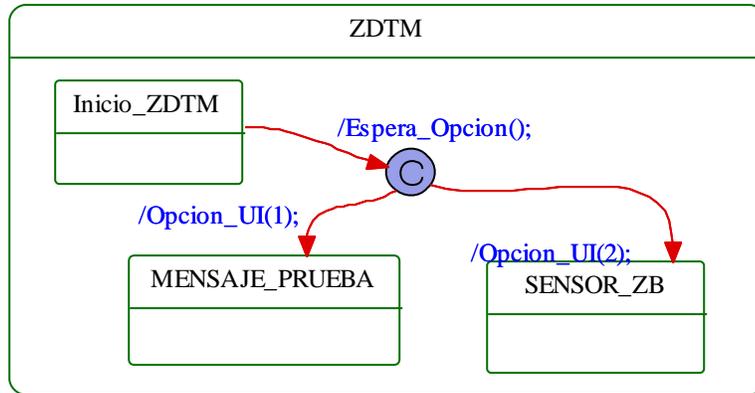


Figura 5.71. Máquina de estado del subsistema ZDTM.

5.2.3.2. Diagramas de máquina de estados del sistema DreamBlue

El control principal para el sistema DreamBlue Control_MCU_Blue, ejecuta el menú principal en espera de la opción otorgada por el usuario para decidir a qué subsistema ingresar (véase Figura 5.72). La funcionalidad dinámica de los demás subsistemas se encuentran representados por las figuras: Figura 5.73, Figura 5.74, Figura 5.75, Figura 5.76 y Figura 5.77.

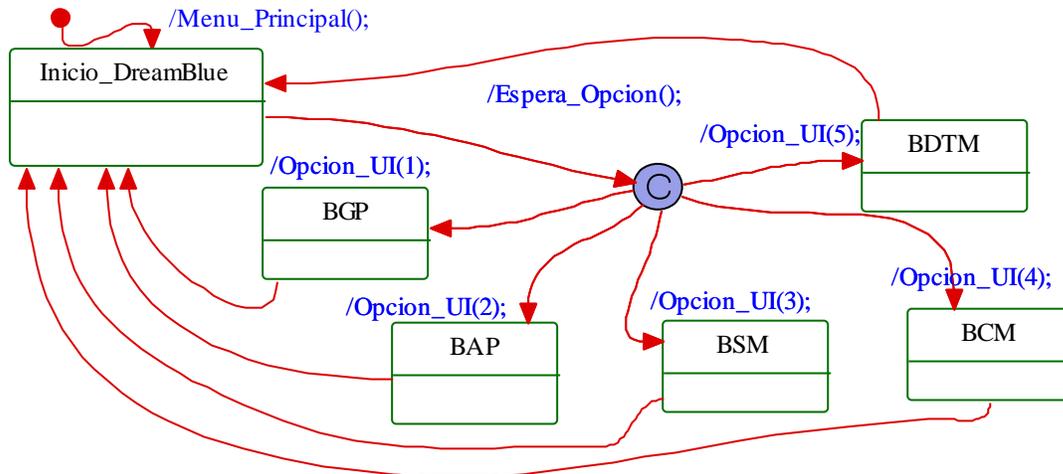


Figura 5.72. Máquina de estado del subsistema Control_MCU_Blue.

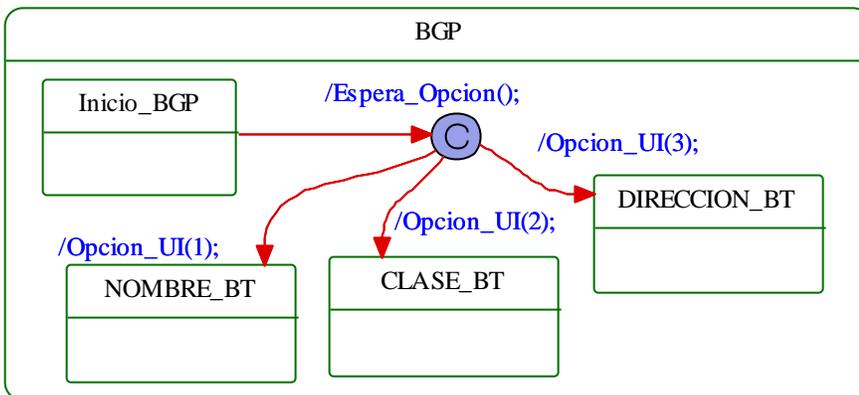


Figura 5.73. Máquina de estado del subsistema BGP.

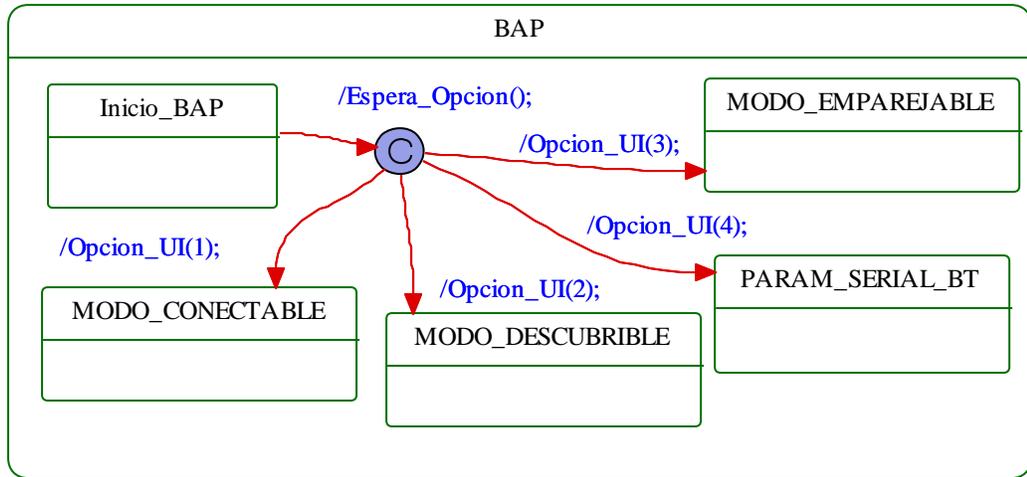


Figura 5.74. Máquina de estado del subsistema BAP.

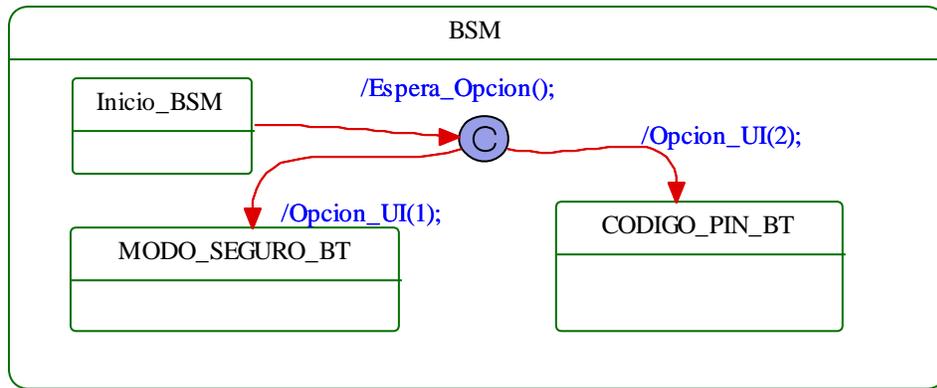


Figura 5.75. Máquina de estado del subsistema BSM.

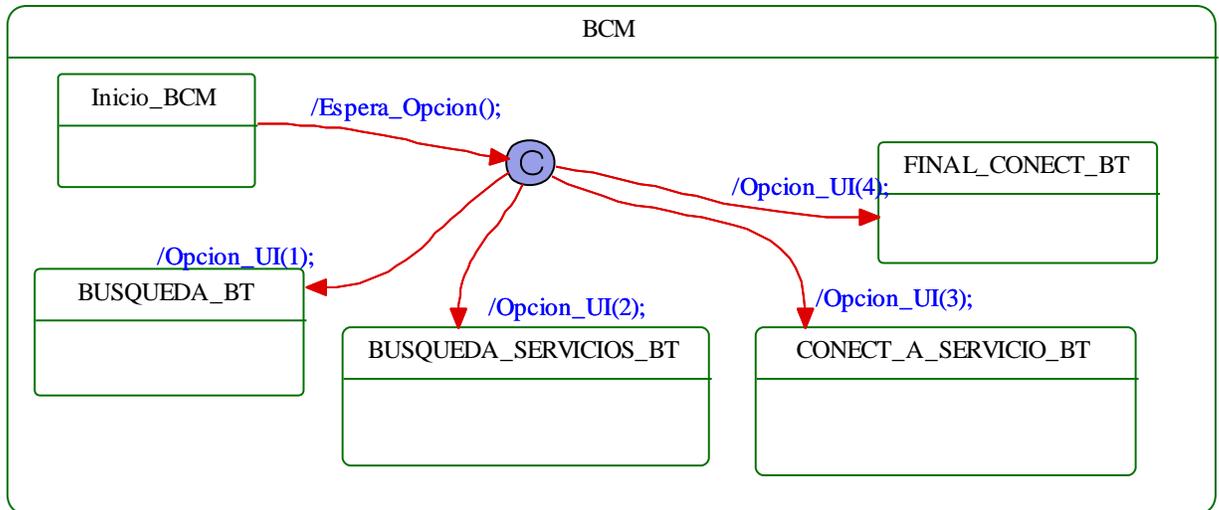


Figura 5.76. Máquina de estado del subsistema BCM.

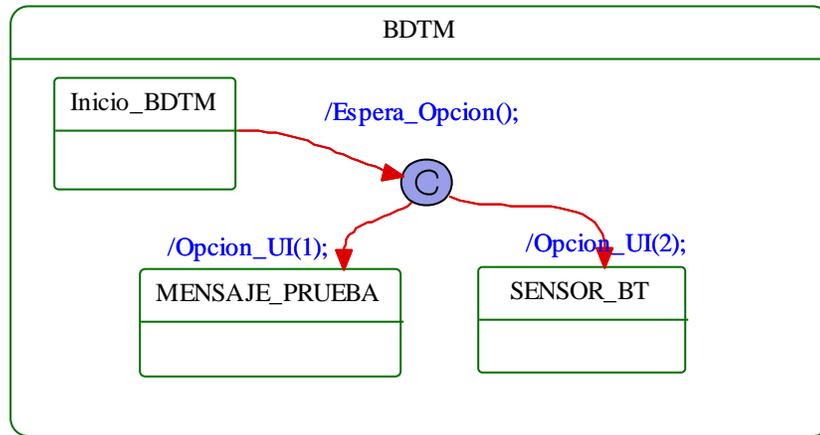


Figura 5.77. Máquina de estado del subsistema BDTM.

5.2.3.3. Diagramas de máquina de estado del sistema DreamFi

El control principal para el sistema DreamFi Control_MCU_Fi, ejecuta el menú principal en espera de la opción otorgada por el usuario para decidir a qué subsistema ingresar (véase Figura 5.78). La funcionalidad dinámica de los demás subsistemas se encuentra representada por las figuras: Figura 5.79, Figura 5.80, Figura 5.81, Figura 5.82 y Figura 5.83.

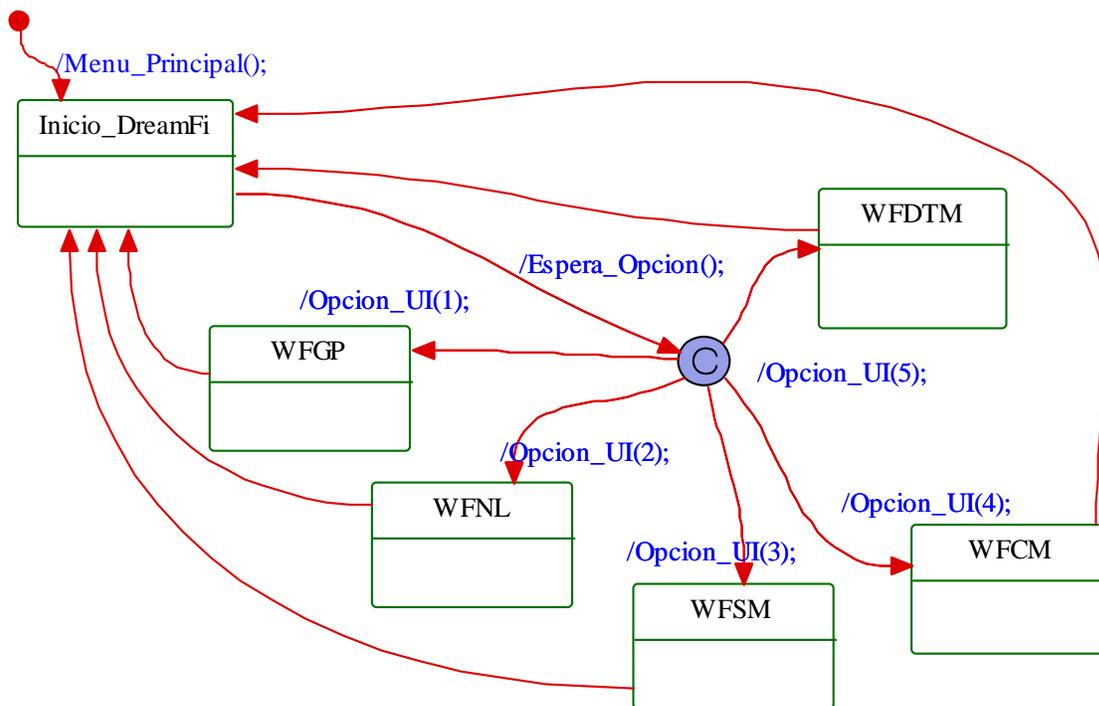


Figura 5.78. Máquina de estado del subsistema Control_MCU_Fi.

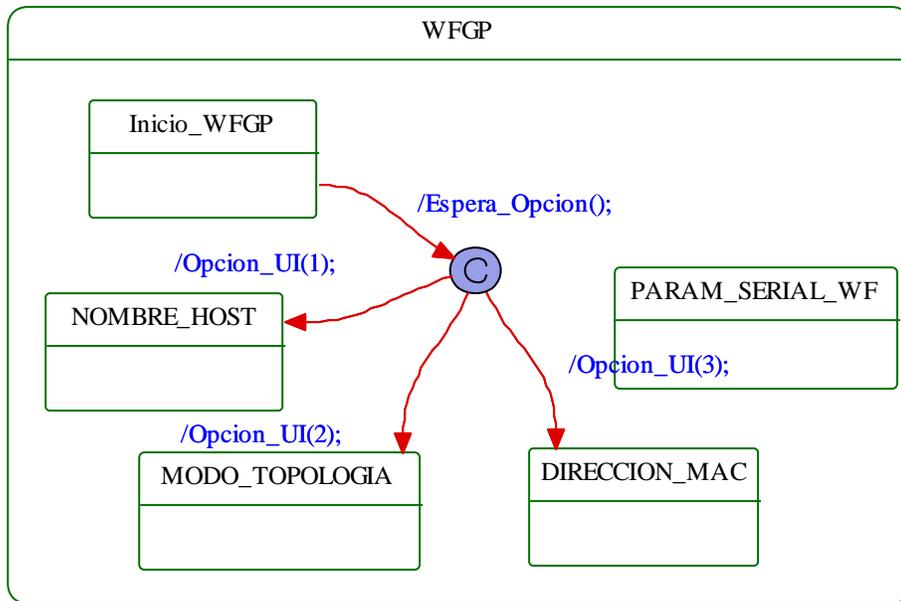


Figura 5.79. Máquina de estado del subsistema WFGP.

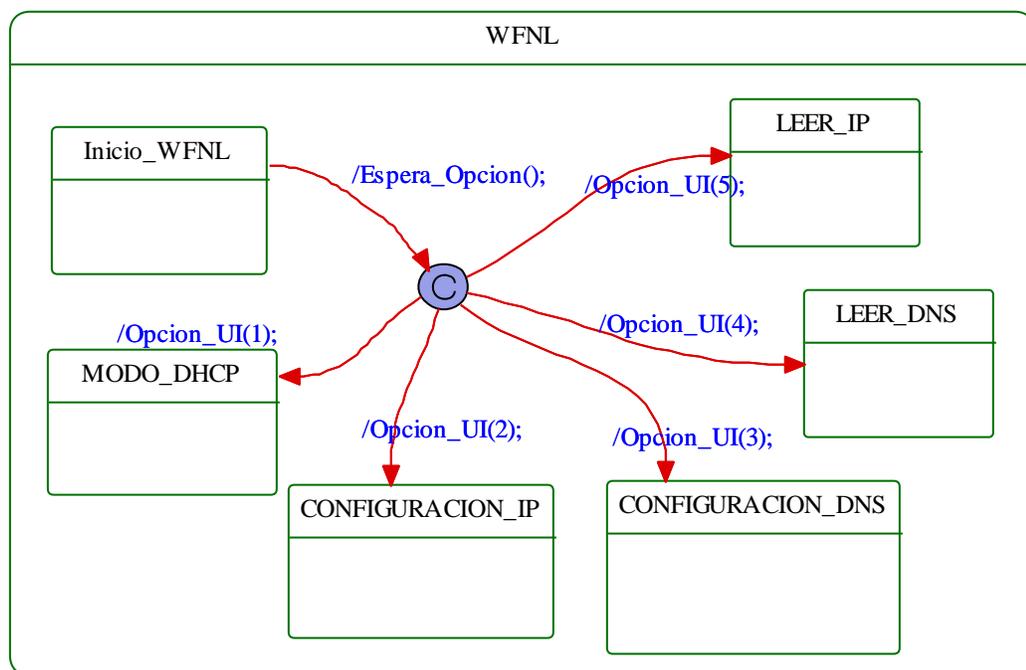


Figura 5.80. Máquina de estado del subsistema WFNL.

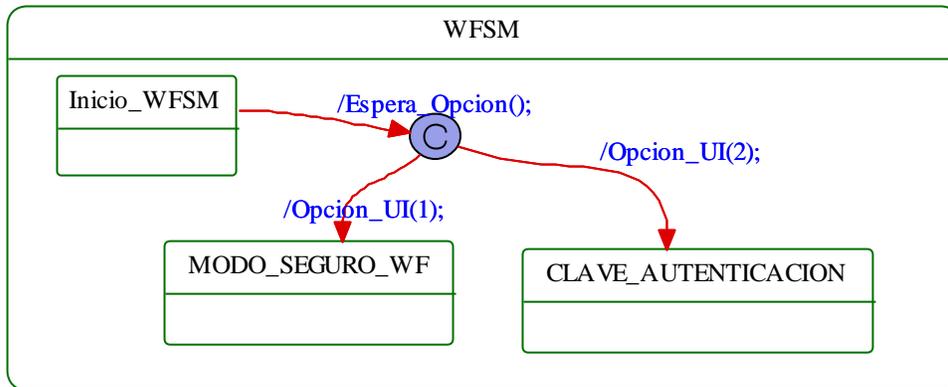


Figura 5.81. Máquina de estado del subsistema WFSM.

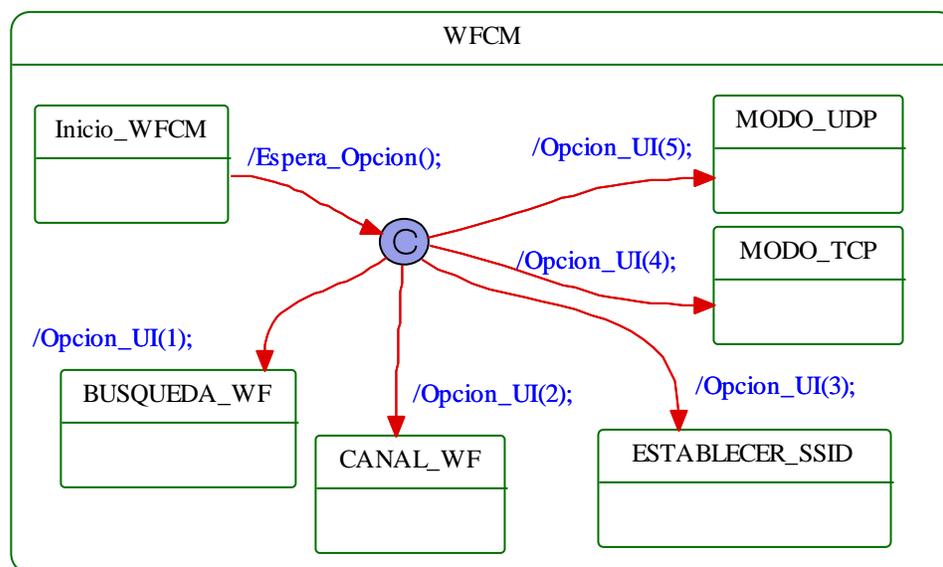


Figura 5.82. Máquina de estado del subsistema WFCM.

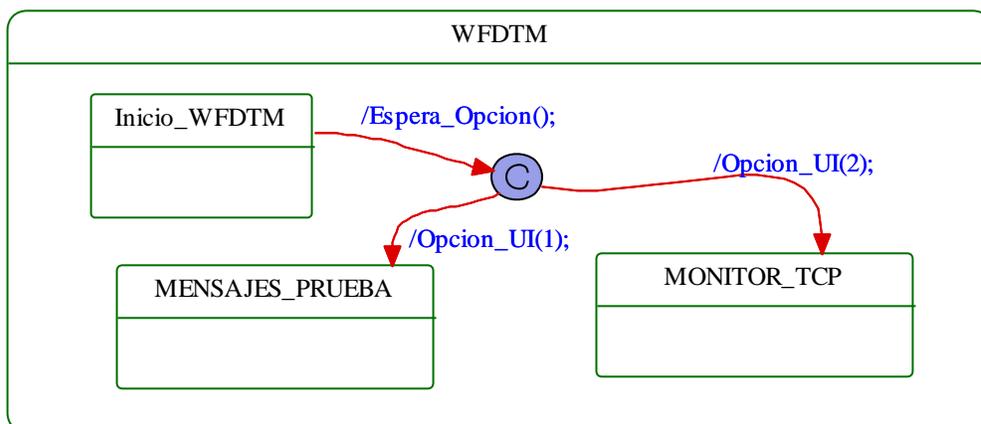


Figura 5.83. Máquina de estado del subsistema WFDTM.

5.3. Desarrollo del conjunto de sistemas IronBlue

En la fase de desarrollo se emplearon los diagramas generados durante el diseño del conjunto de sistemas IronBlue. La construcción de la Plataforma Iron se llevo a cabo conforme al diagrama de PCB generado en el desarrollo Hardware, así como la selección de los módulos inalámbricos a emplear. La fase de desarrollo consta de dos etapas: Desarrollo Hardware y Desarrollo Software.

5.3.1. Desarrollo Hardware

La elección de los componentes Hardware se realizó con base en los siguientes puntos:

- Los componentes Hardware deben cumplir con todos los puntos de la fase de requerimientos.
- En el caso de la elección del MCU, éste debe contar con:
 - Al menos 2KB memoria de programa para efectuar todos los subsistemas diseñados.
 - Un temporizador (*timer*) encargado de realizar el efecto del cursor en pantalla.
 - Dos módulos UART para establecer la comunicación serial entre la Plataforma Iron y dos módulos inalámbricos.
 - Un puerto de salida/entrada de 8 terminales encargado de gestionar el control del GLCD y el teclado matricial.
 - Dos puertos de salida de 2 terminales dedicadas a la gestión de la comunicación RS232.
 - Un módulo CAN para controlar dispositivos bajo este protocolo industrial.
 - Un módulo I2C para controlar dispositivos bajo este protocolo serial.
 - Un módulo One-Wire para controlar dispositivos bajo este protocolo de una línea.
 - Un módulo PS2 para controlar periféricos mediante este protocolo serial.

Los componentes Hardware empleados para el desarrollo de la Plataforma Iron se listan en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20. Componentes de la Plataforma Iron.

Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
MCU dsPIC30F4013	1	Resistencia 330 ohm	8
GLCD de 128x64 píxeles	1	Resistencia 4.7 Kohm	3
Teclado matricial de 4x4 botones	1	Resistencia 1 Kohm	3
Interruptor tipo "push button"	1	Resistencia 10 Kohm	1
Transceptor RS232 MAX232	2	Capacitor electrolítico 10 us	8
Conector DB9 hembra	2	Capacitor cerámico 22 pF	2
Conector de alimentación de 2.1 mm	1	Preset 10 Kohm	1
Interruptor de encendido y apagado	1	LED	3
Zócalo de 8 terminales	1	Pines tipo macho	12
Zócalo de 40 terminales	2	Oscilador de cristal de 20 MHz	1
Transceptor CAN MC2551	1	Bornera de 2 terminales	1
Resistencia 100 ohm	5	Pines tipo hembra	3

El diagrama de PCB fue realizado en el entorno Software gratuito DesignSpark de la firma RS Components. Como primer paso fue dibujado el diagrama esquemático (véase Figura 5.84) para generar el diagrama de PCB de la Plataforma Iron (véase Figura 5.85).

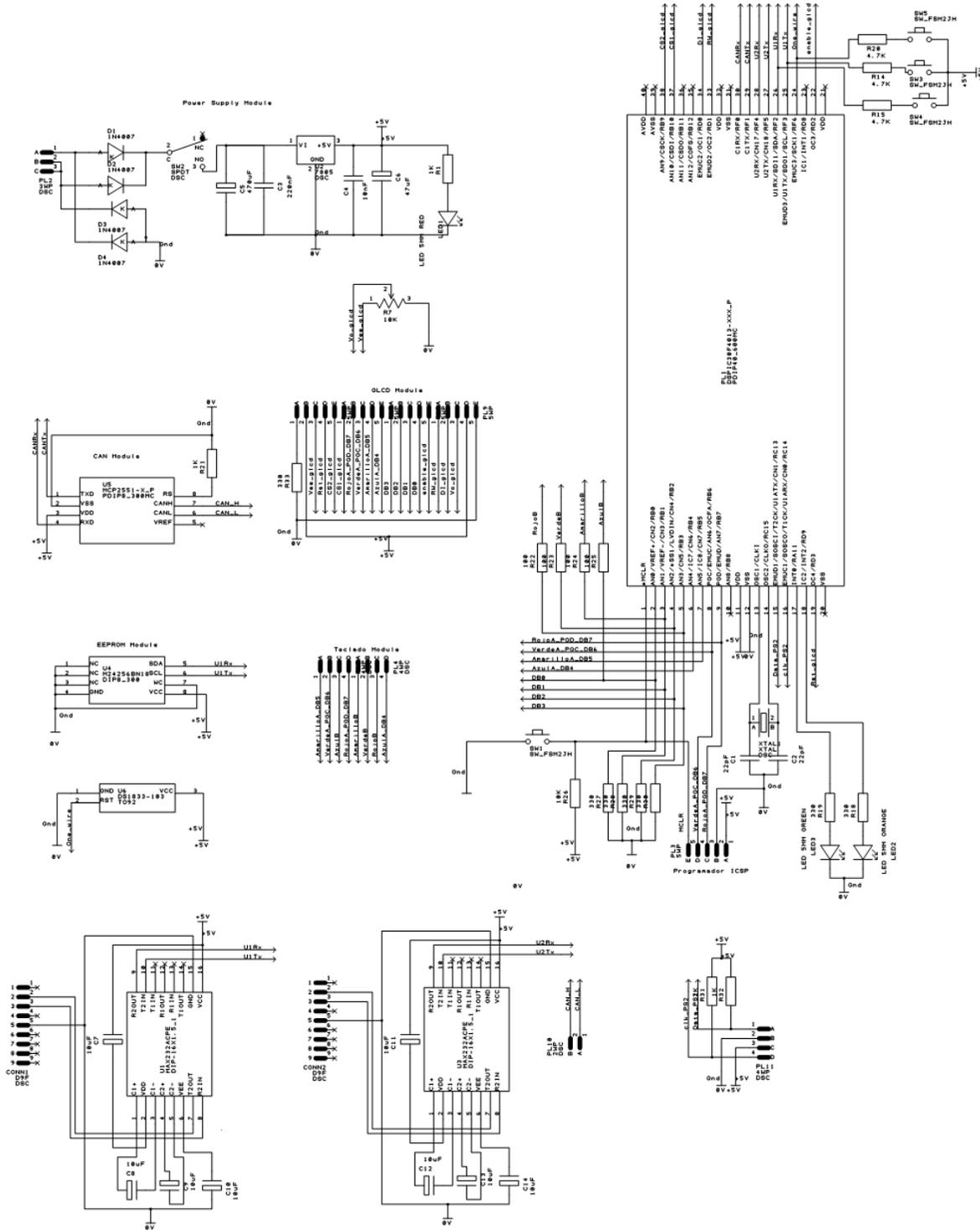


Figura 5.84. Diagrama esquemático de la Plataforma Iron.

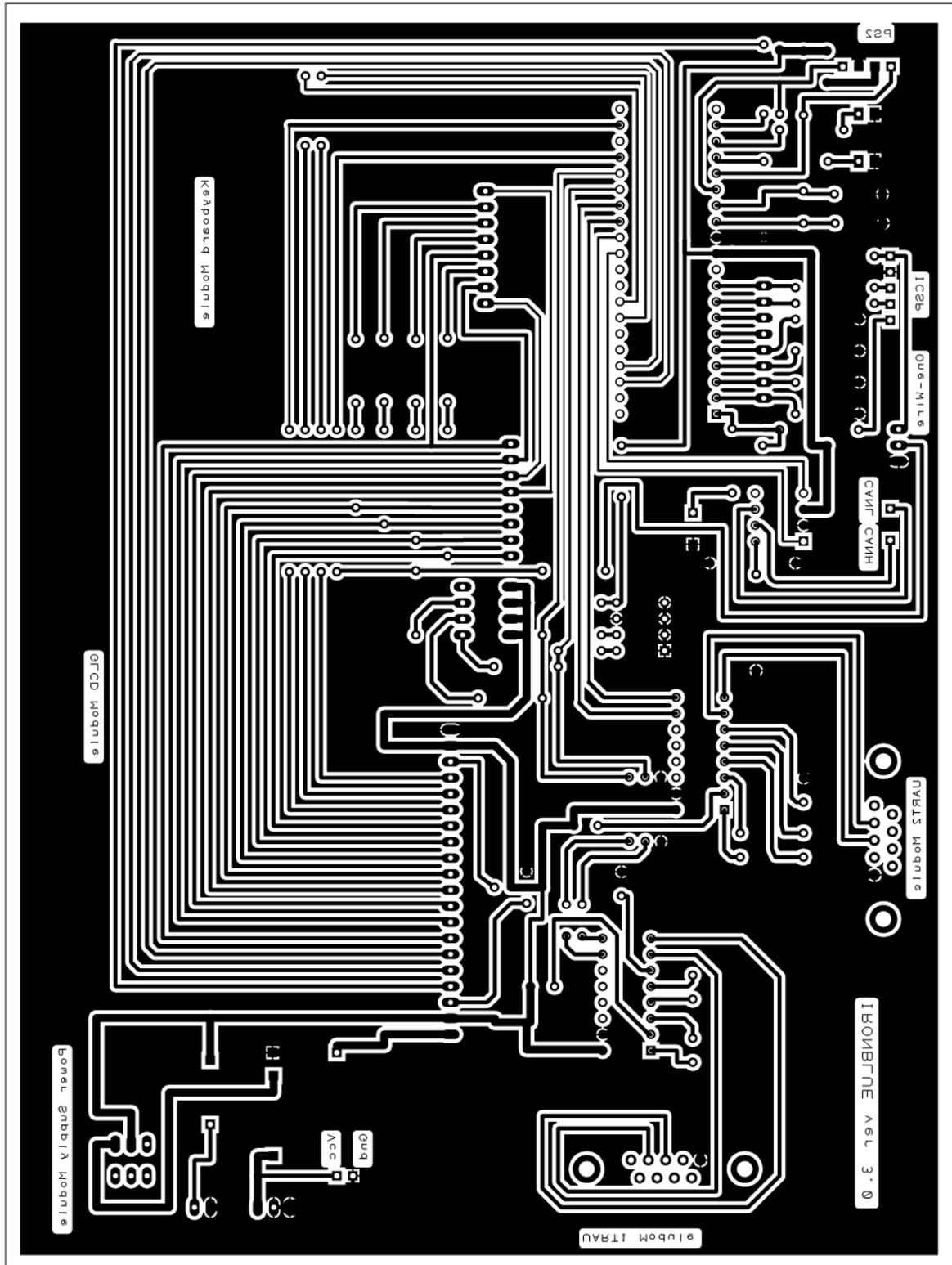


Figura 5.85. Diagrama de PCB de la Plataforma Iron.



Figura 5.86. Construcción de la Plataforma Iron.

La Figura 5.86 muestra la construcción final de la Plataforma Iron en su versión 2.0.

Para el desarrollo del WM se escogieron los dispositivos OEM OZS311, OEM OBS433, OEM OWS451. Cada uno de los dispositivos OEM se integran a un Adaptador de Puerto Serie RS232 OEM III. Los dispositivos para ensamblar los WM fueron presentados en la Sección 4.5.9 correspondiente al Capítulo 4 del presente documento de tesis.

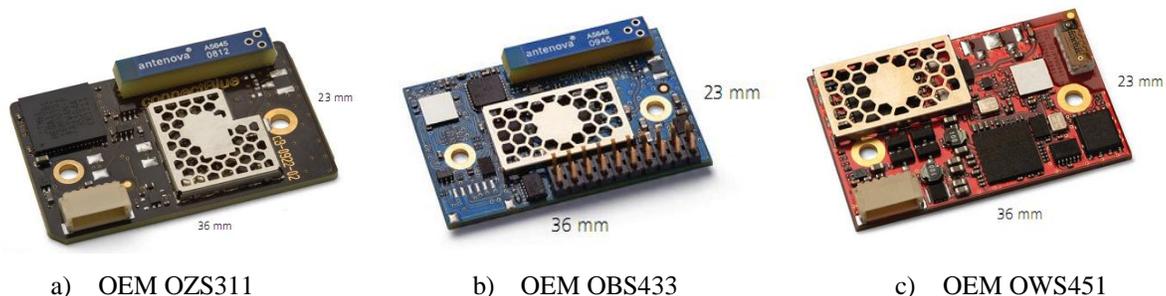


Figura 5.87. Módulos inalámbricos connectBlue [URL-9].

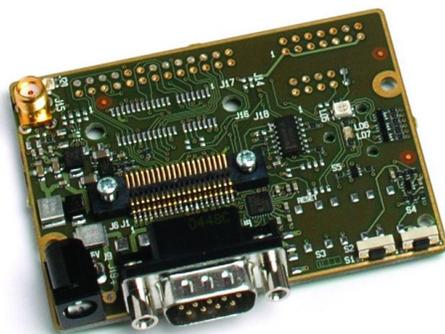


Figura 5.88. Tarjeta adaptadora de puerto serie RS232 OEM III [URL-9].

5.3.2. Desarrollo Software

Para la construcción del Software del conjunto de sistema IronBlue se emplearon las herramientas listadas en la Tabla 5.21.

Tabla 5.21. Herramientas Software empleadas.

Componente SW	Función	Fabricante
Rhapsody	Entorno de diseño y desarrollo utilizado para el modelado del sistema DreamBlue	Telelogic IBM
mikroC dsPIC	Entorno de desarrollo utilizado para realizar el programa sobre el MCU dsPIC30F4013	Mikroelektronika
MASTER-PROG	Programa utilizado para la programación y actualización del firmware sobre los MCU dsPIC30F4013	Edutronica
GLCD Bitmap generator	Entorno de desarrollo para crear figuras monocromáticas	MikroElektronika

El entorno de diseño Rhapsody fue empleado para generar los diagramas presentados en la fase de diseño de la metodología (véase Figura 5.89).

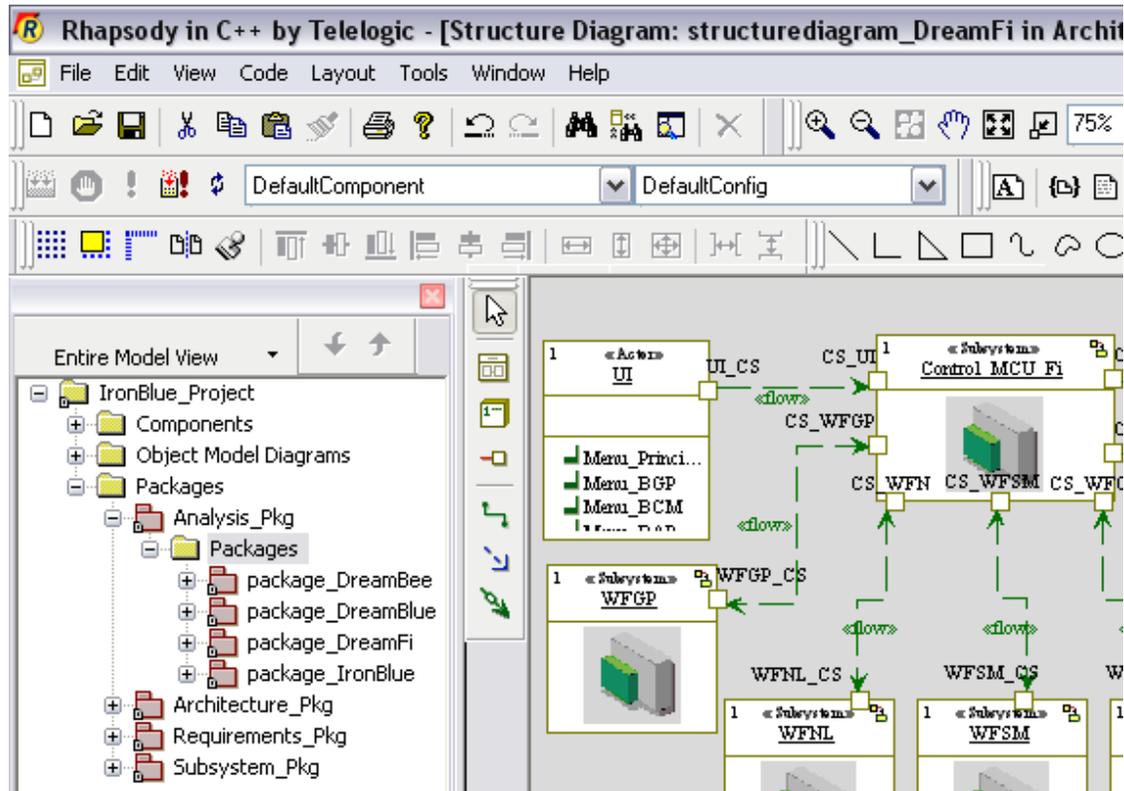


Figura 5.89. Entorno de diseño IBM Rhapsody.

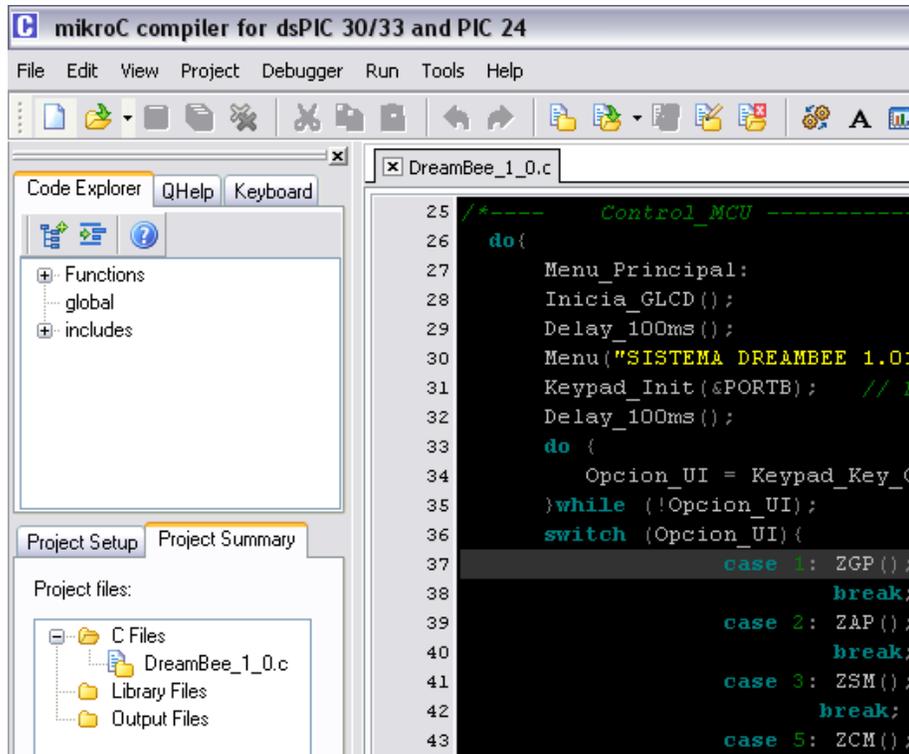


Figura 5.90. Entorno de desarrollo mikroC for dsPIC.

La programación de los sistemas Firmware se llevó a cabo en el entorno de desarrollo mikroC for dsPIC (véase Figura 5.90).

Por último, la Figura 5.91 muestra la interfaz del programador MASTER-PROG, utilizando el puerto ICSP para la programación y actualización de los Firmwares sobre el MCU dsPIC30F4013 empotrado en la Plataforma Iron.



Figura 5.91. Interfaz del programador MASTER-PROG.

5.4. Integración del conjunto de sistemas IronBlue

De acuerdo al diagrama mostrado por la Figura 5.92, en la fase de integración se ensamblaron los WM ZigBee, WM Bluetooth y WM Wi-Fi (véase Figura 5.93).

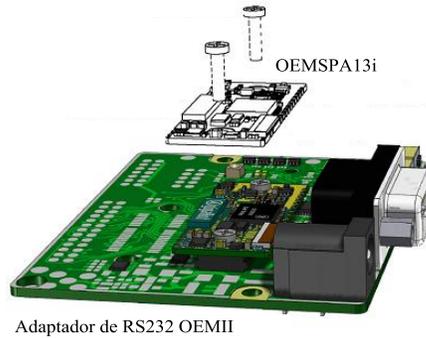


Figura 5.92. Diagrama de integración del WM.

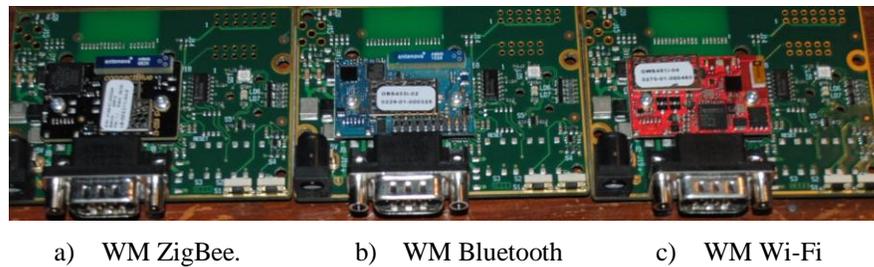


Figura 5.93. Integración de los módulos inalámbricos.

Por último la integración completa de la Plataforma Iron con el WM Bluetooth se muestra en la Figura 5.94.

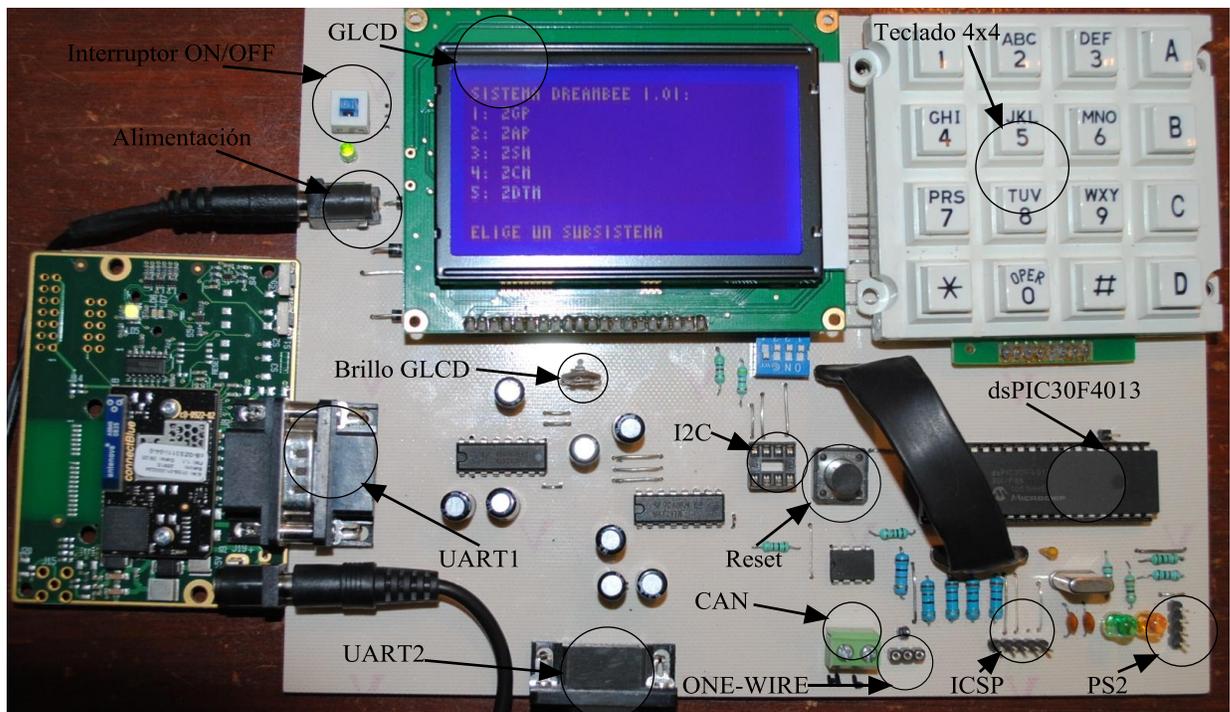


Figura 5.94. Integración de la Plataforma Iron con el WM.

5.5. Validación del conjunto de sistemas IronBlue

La fase de validación consiste de una serie de pruebas efectuadas a los sistemas elaborados para comprobar el correcto funcionamiento de los mismos, así como examinar e identificar posibles errores que surjan durante su uso.

Para verificar y validar el funcionamiento del conjunto de sistemas IronBlue, se implementó el programa en JAVA 2 denominado Terminal Puerto Serial Java (*Serial Port Terminal Java*).

La fase de validación está segmentada en cuatro etapas correspondientes a la verificación de funcionamiento de la Plataforma Iron, el sistema DreamBee, el sistema DreamBlue y el sistema DreamFi.

5.5.1. Validación de la Plataforma Iron

Cómo primera etapa de la fase de validación, se realizaron las siguientes pruebas de funcionamiento sobre la Plataforma Iron:

- Verificación de encendido a través del conector de 2.1 mm, mediante una tensión de alimentación de 5 a 8 VCD.
- Verificación del correcto funcionamiento del GLCD mediante la visualización de figuras e imágenes monocromáticas.
- Comprobación del correcto funcionamiento del teclado matricial a través de la captura, decodificación y visualización en el GLCD de los caracteres asociados a los botones.
- Verificación de la interfaz serial RS232 por medio del envío y recepción de mensajes de una terminal remota y la Plataforma Iron.
- Verificación de la interfaz serial I2C mediante el envío y recepción de datos entre la Plataforma Iron y un dispositivo de almacenamiento EEPROM conectado al zócalo I2C.
- Verificación de la interfaz serial CAN mediante el envío y recepción de datos entre la Plataforma Iron y un dispositivo externo que soporte el protocolo CAN.
- Verificación de la interfaz serial One-Wire a través del envío y recepción de datos entre la Plataforma Iron y un dispositivo One-Wire conectado al zócalo correspondiente de la plataforma.
- Verificación de funcionamiento del puerto ICSP para descargar los sistemas Firmware al MCU.

Para la verificación de funcionamiento del correcto funcionamiento del GLCD de la Plataforma Iron se dibujaron las imágenes monocromáticas mostradas en la Figura 5.95.



Figura 5.95. Figuras monocromáticas para el GLCD.

Para probar el módulo UART1 y el teclado matricial de la Plataforma Iron, se envió el mensaje “HOLA PLATAFORMA” vía una conexión RS232 a la PC en ejecución con la Terminal de Puerto Serie en JAVA 2 (véase Figura 5.96)

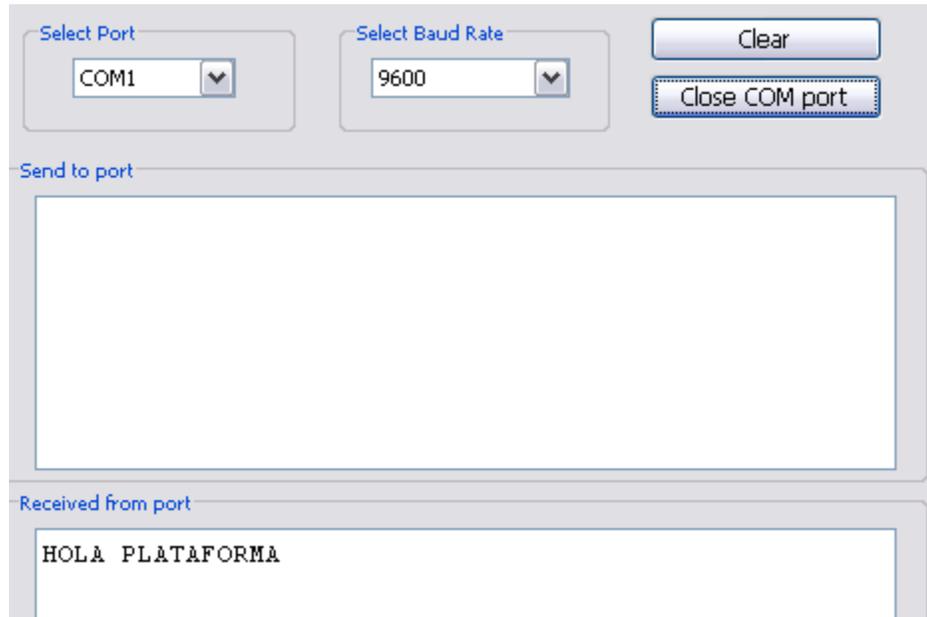
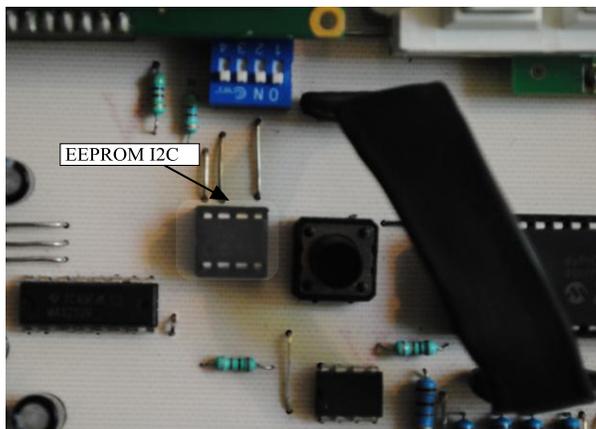


Figura 5.96. Mensaje de Plataforma Iron.

Para verificar el módulo I2C se almacenó el mensaje “PLATAFORMA IRON” en la memoria EEPROM 24LC64 de la firma Microchip. Dicha memoria se encuentra empotrada en el zócalo para dispositivos I2C de la Plataforma Iron (véase Figura 5.97).



a) Escritura de cadena “PLATAFROMA IRON”



b) Cadena escrita en memoria

Figura 5.97. Memoria EEPROM I2C 24LC64.

El mensaje almacenado en la memoria se muestra en el GLCD (véase Figura 5.98b). Para comprobar la correcta grabación de datos en la memoria I2C, se construyó el grabador de libre distribución TE20-SE que opera junto con el Software libre programación IC-Prog para MCU y memorias EEPROM [URL-25]. Con el Software y el grabador se prosiguió a la lectura de la memoria (véase Figura 5.98).

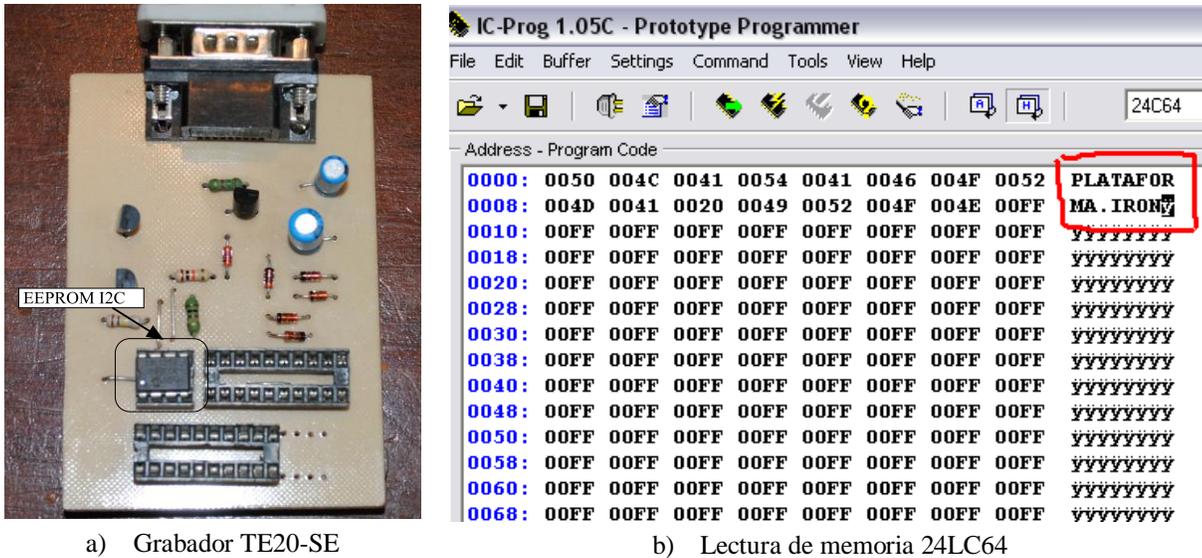


Figura 5.98. Comprobación de funcionamiento del módulo I2C.

Para verificar el funcionamiento de la interfaz CAN se envió y recibió una cuenta decimal por medio de dos Plataformas Iron. De esta forma, el experimento consistió en el incremento en una unidad de un contador y visualizado en ambas pantallas GLCD (véase Figura 5.99).

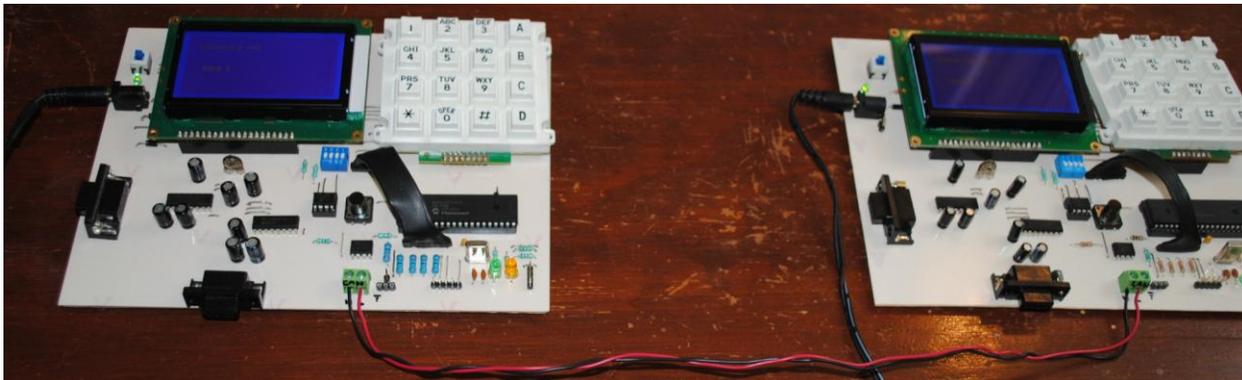


Figura 5.99. Envío de datos a través del protocolo CAN.

Para la verificación de la interfaz serial One-Wire, se realizó el envío y recepción de datos provenientes del sensor DS18B20 empotrado en la Plataforma Iron y visualizado su valor en grados centígrados en el GLCD de la Plataforma Iron (véase Figura 5.100).

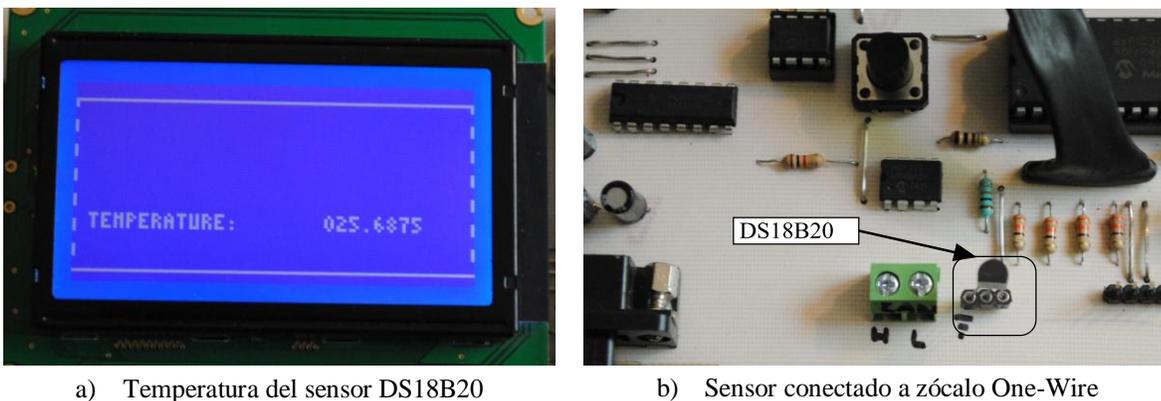


Figura 5.100. Visualización de valor del sensor One-Wire DS18B20.

Por último, para verificar el funcionamiento del puerto de programación en circuito ICSP, la Figura 5.101 muestra el reconocimiento del dsPIC30F4013 almacenado en la Plataforma Iron mediante el programador MASTER-PROG.



a) Conexión del puerto ICSP de la Plataforma Iron al programador MASTER-PROG

b) Reconocimiento del dsPIC30F4013

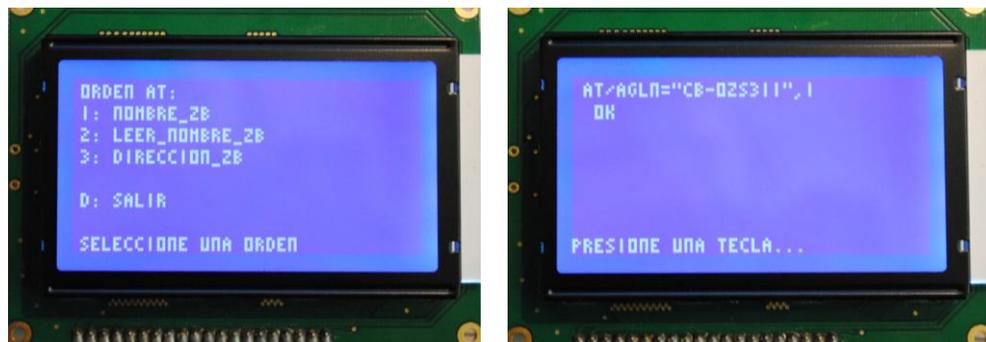
Figura 5.101. Conexión y reconocimiento del dsPIC30F4013 vía ICSP.

5.5.2. Validación del sistema DreamBee

En la validación del sistema DreamBee se realizaron las siguientes pruebas:

- Verificación de encendido del WM ZigBee por medio del cable 2.1 mm a USB conectado a un puerto USB.
- Verificación de la correcta integración entre el SPA y el módulo OEM OZS311 a través del estado en color verde del LEDRGB del WM ZigBee.
- Verificación de integración entre la Plataforma Iron y el WM ZigBee.
- Verificación de cada subsistema y opciones de sistema DreamBee.
- Establecimiento de la conexión entre el sistema DreamBee sobre la Plataforma Iron y otro dispositivo ZigBee.
- Verificación del envío de mensajes entre el sistema DreamBee sobre la Plataforma Iron enlazado con otro dispositivo ZigBee.

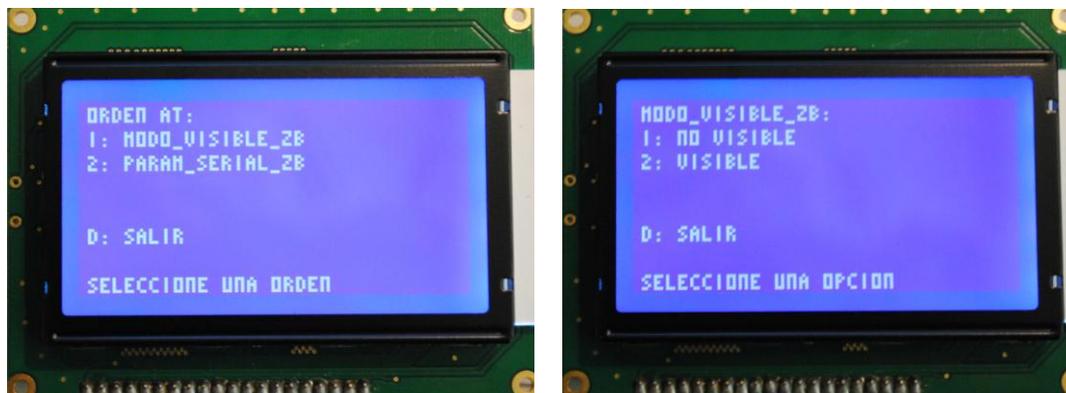
Para las pruebas de verificación, se emplearon dos dispositivos WM ZigBee. Los cuales se nombraron como “CB-OZS311” (véase Figura 5.102).



a) Subsistema ZGP

b) Respuesta a asignación de nombre

Figura 5.102. Configuración de subsistemas ZGP y ZAP.

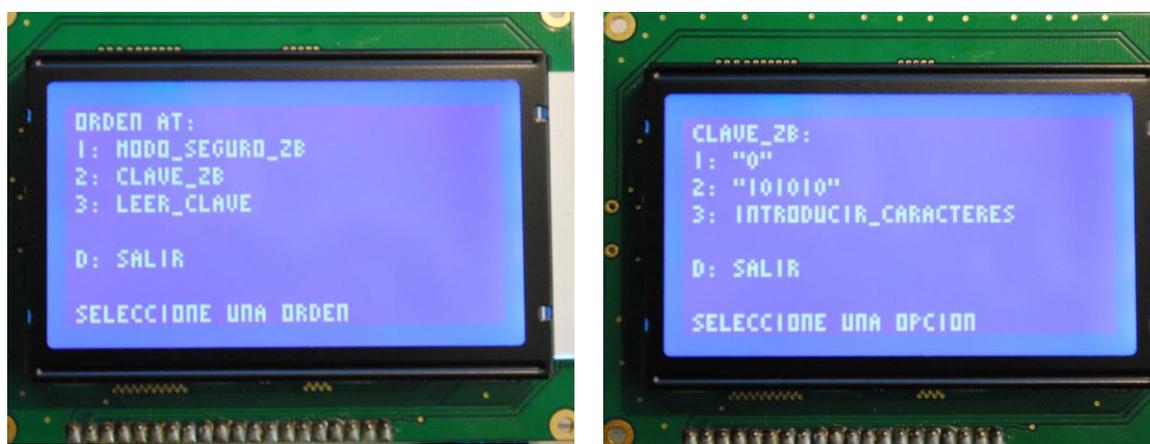


a) Subsistema ZAP

b) Activación del modo visible

Figura 5.103. Configuración subsistema ZAP.

Se activó el modo visible del para ambos WM ZigBee (véase Figura 5.103).

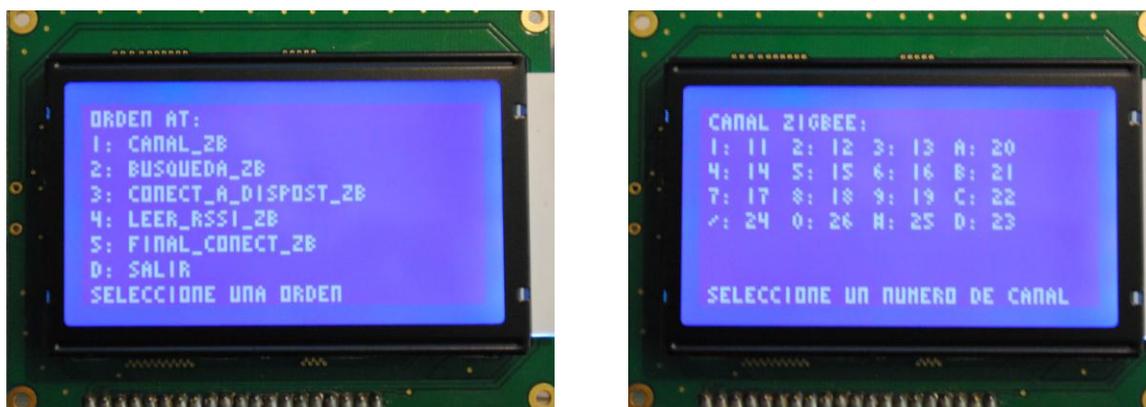


a) Subsistema ZSM

b) Clave secreta ZigBee"

Figura 5.104. Configuración subsistema ZSM.

Se activó la característica de seguridad ZigBee del WM con la clave "010101", la clave es compartida por ambos dispositivos (véase Figura 5.104).



a) Subsistema ZCM

b) Selección de canal de operación

Figura 5.105. Configuración subsistema ZCM.

A continuación, ambos dispositivos WM ZigBee se ajustaron al canal de operación 16 (véase Figura 5.105). Enseguida se realizó una búsqueda ZigBee con el dispositivo “CB-OZS311” encontrando al dispositivos con dirección 0012F3FFFF0B59DD (véase Figura 5.106).



Figura 5.106. Búsqueda de dispositivos ZigBee.

Para establecer el enlace entre los WM ZigBee, con el dispositivo “CB-OZS311” se ingresó al subsistema ZCM y se realizó una petición de conexión al dispositivo con dirección 0012F3FFFF0B59DD (véase Figura 5.107).



a) Petición de conexión ZigBee



b) Respuesta a solicitud de conexión

Figura 5.107. Establecimiento de la conexión ZigBee.

Con el fin de comprobar el correcto enlace entre los WM ZigBee, con el “CB-OZS311” se envió al dispositivos ZigBee con dirección 0012F3FFFF0B59DD el mensaje “HOLA ZIG-BEE”, el dispositivo que recibe el mensaje se conectó al puerto serial de una PC con la terminal de puerto serie Java para la visualización del mensaje de prueba (véase Figura 5.108).

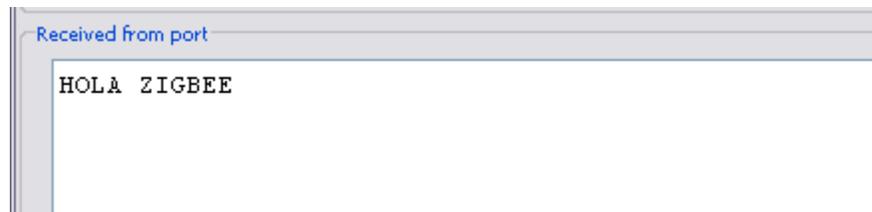


Figura 5.108. Envío del mensaje “HOLA ZIGBEE” por el CB-OZS311.

5.5.3. Validación del sistema DreamBlue

En la tercera etapa de la validación, se llevaron a cabo las siguientes pruebas para verificar el funcionamiento del sistema DreamBlue y validar los requerimientos precisados en la sección 5.1.4. Las pruebas de verificación realizadas son:

- Verificación de encendido del WM Bluetooth por medio del cable 2.1 mm a USB conectado a un puerto USB.
- Verificación de la correcta integración entre el SPA y el módulo OEM OBS433 a través del estado en color verde del LED RGB del WM Bluetooth.
- Verificación de integración entre la Plataforma Iron y el WM Bluetooth.
- Verificación de cada subsistema y opciones de sistema DreamBlue.
- Establecimiento de la conexión entre el sistema DreamBlue sobre la Plataforma Iron y otro dispositivo Bluetooth enlazado.
- Verificación del envío de mensajes entre el sistema DreamBlue sobre la Plataforma Iron conectado con otro dispositivo Bluetooth.

Para la realización de las pruebas de verificación del sistema DreamBlue se contó con una antena adaptadora de Bluetooth por USB de la firma Manhattan, proporcionando de conectividad inalámbrica (Figura 5.109). El fabricante ofrece la antena Bluetooth junto con el software de libre distribución BlueSoleil v2.6, proporcionando de forma fácil las siguientes características:



Figura 5.109. Antena Bluetooth de la firma Manhattan.

- Bluetooth v2.1 + EDR.
- Rango de frecuencia de 2.4 a 2.483 GHz.
- Velocidad de transferencia de datos máxima hasta 3 Mbps
- Alcance a 100m (clase 1)
- Tipos de modulación: GFSK (1 Mbps), D/4-DOPSK (2 Mbps) y 8DPSK (3 Mbps).
- Saltos de Frecuencia por Espectro Expandido.
- Interfaz de E/S de alta velocidad USB.
- Soporte de los perfiles: SSP, DUN, FTP, HID, Auricular, OBEX y PAN.

Se configuró el WM Bluetooth en modo conectable, en modo descubrible y en modo emparejamiento (véase Figura 5.110).

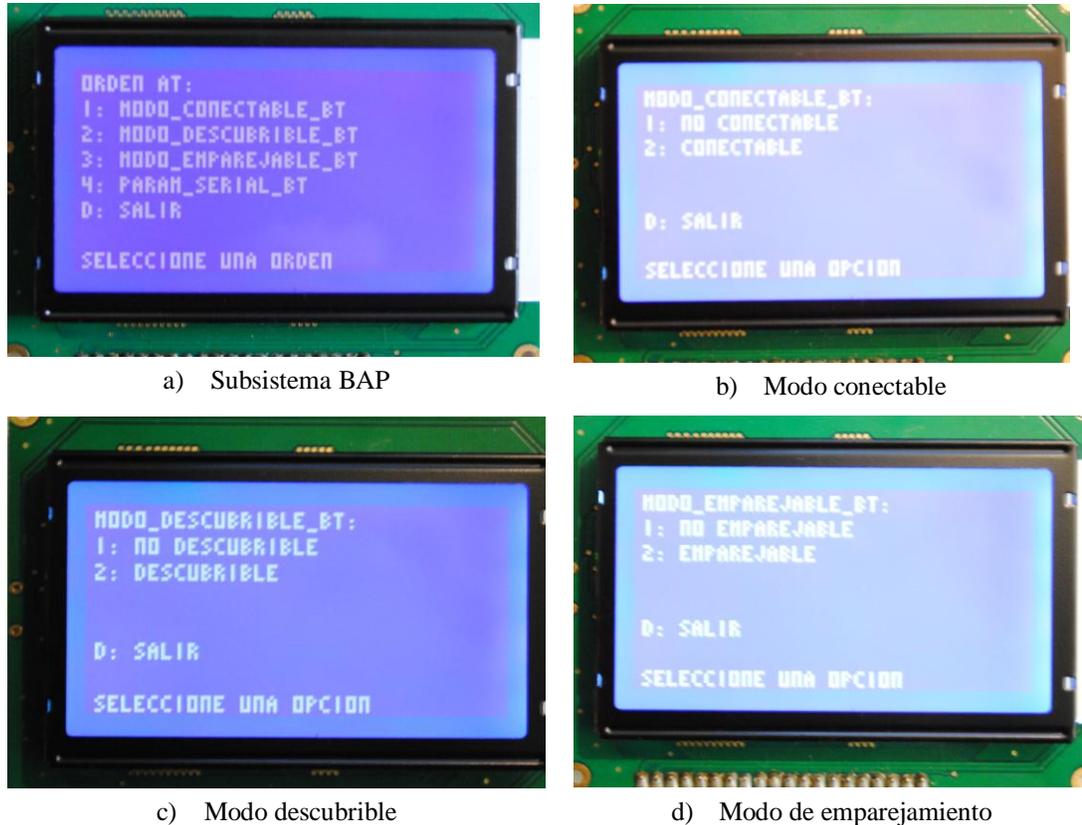


Figura 5.110. Configuración del subsistema BAP.

Se activó la característica de seguridad Bluetooth del WM con la clave “123456”, dicha clave está asignada tanto en la antena como en el WM Bluetooth y sirve para establecer la unión entre los dispositivos (véase Figura 5.111).

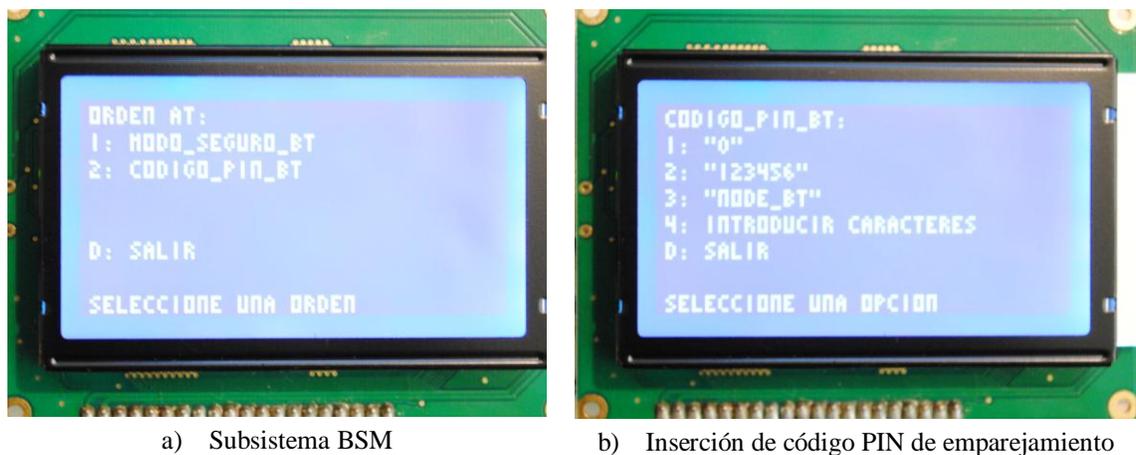


Figura 5.111. Configuración del subsistema BSM.

Para el establecimiento de la conexión entre el WM Bluetooth y la antena Manhattan, primero se realizó una búsqueda de dispositivos en el rango de cobertura del WM Bluetooth, en la búsqueda se encontró la dirección Bluetooth de la antena Manhattan. En seguida, se llevó a cabo una búsqueda de servicios ofrecidos por la antena encontrándose de esta manera el número de canal RFCOMM para el SPP dado por la antena Manhattan (véase Figura 5.112).

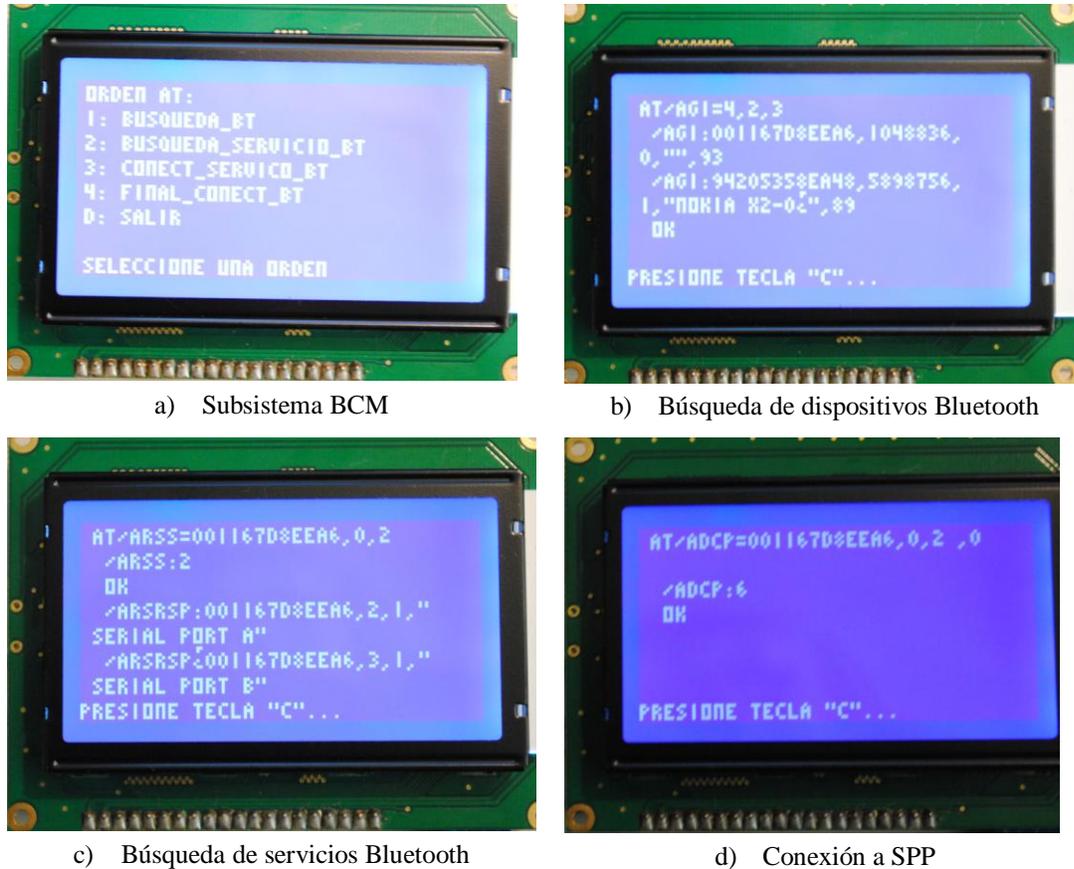


Figura 5.112. Configuración del subsistema BCM.

Para establecer la conexión entre el WM Bluetooth y la antena Manhattan, se realiza una petición de conexión con el WM Bluetooth otorgando el correspondiente puerto. La Figura 5.113 muestra la petición al usuario de la clave de seguridad Bluetooth realizada por el software Blue-Soleil en respuesta a la petición de conexión del WM Bluetooth. Ya una vez establecida la conexión entre la antena Manhattan y el WM Bluetooth, la antena declaró al puerto virtual COM 11 para las conexiones seriales con el servicio SPP (véase Figura 5.114).

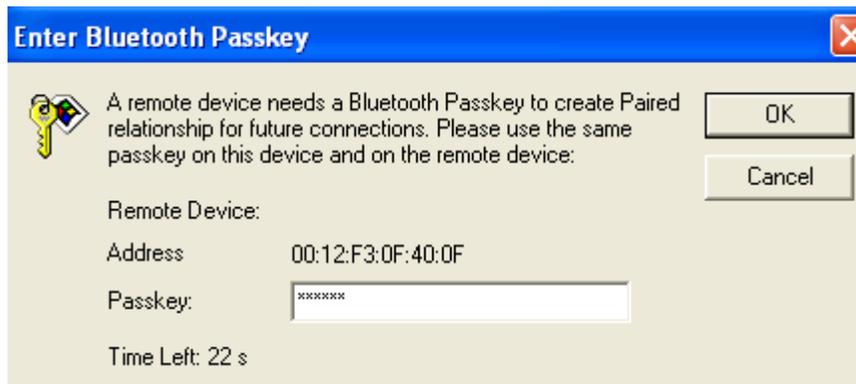


Figura 5.113. Petición de clave de seguridad Bluetooth por CASA-PC.

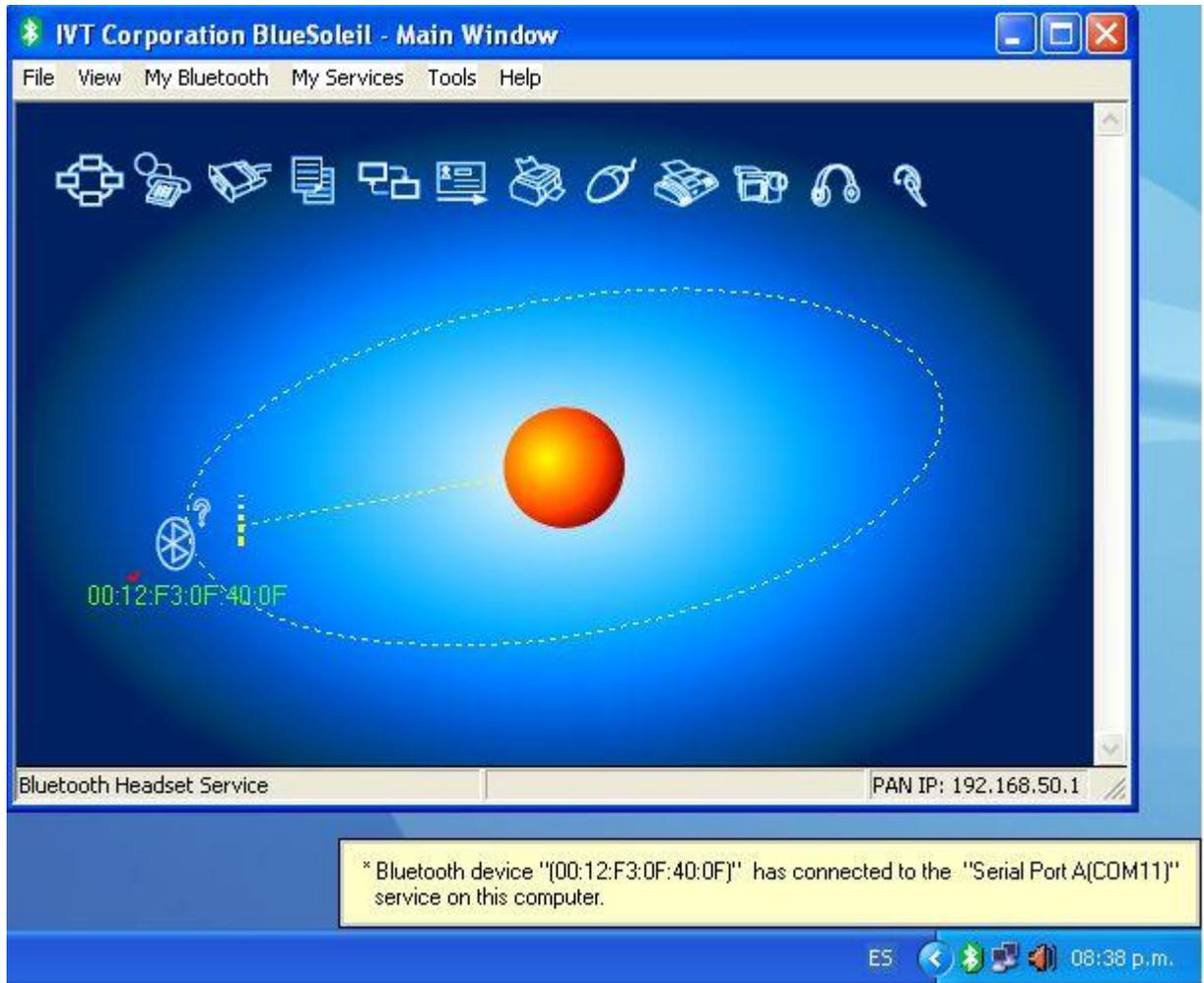


Figura 5.114. Conexión y asignación del puerto COM 11 para el SPP.

Una vez establecida la conexión entre el WM Bluetooth y el SPP de la antena Manhattan, se envió el mensaje “HOLA BLUETOOTH” con la Plataforma Iron a CASA-PC. El mensaje se visualizó en el programa Terminal de Puerto Serie Java a través del puerto COM 11 (destinado por la antena) (véase Figura 5.115).

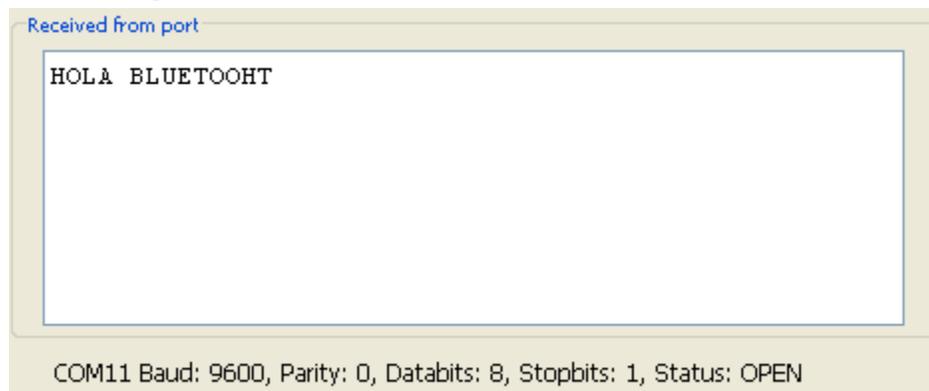


Figura 5.115. Recepción del mensaje “HOLA BLUETOOTH” enviado por el WM Bluetooth.

5.5.4. Validación del sistema DreamFi

Por último, en la cuarta etapa se realizaron las siguientes pruebas de funcionamiento para verificar el funcionamiento del sistema DreamFi:

- Prueba de encendido del WM Wi-Fi por medio del cable 2.1 mm a USB conectado a un puerto USB.
- Prueba de integración entre el SPA y el módulo OEM OWS451 a través del estado en color verde del LEDRGB del WM Wi-Fi.
- Prueba de integración entre la Plataforma Iron y el WM Wi-Fi.
- Pruebas unitarias por cada subsistema y opciones del sistema DreamFi.
- Prueba de establecimiento de la conexión entre el sistema DreamFi sobre la Plataforma Iron y un dispositivo AP Wi-Fi.
- Prueba de verificación del envío de mensajes entre el sistema DreamFi sobre la Plataforma Iron enlazado a una red WLAN con un dispositivo Wi-Fi.

Para la realización de las pruebas de verificación del sistema DreamFi se contó con un modem de la firma Thomson modelo TG585v7, llamado simplemente Thomson Gateway (véase Figura 5.116).



Figura 5.116. Modem router Thomson Gateway.

Por medio de la Plataforma Iron se configuró el WM Wi-Fi para operar en modo de infraestructura y con el nombre host “WM-WIFI” (véase Figura 5.120.); de la misma forma el DHCP del WM Wi-Fi se configuró en modo cliente para posteriormente recibir una dirección IP dinámica proveniente del Thomson Gateway (véase Figura 5.118).

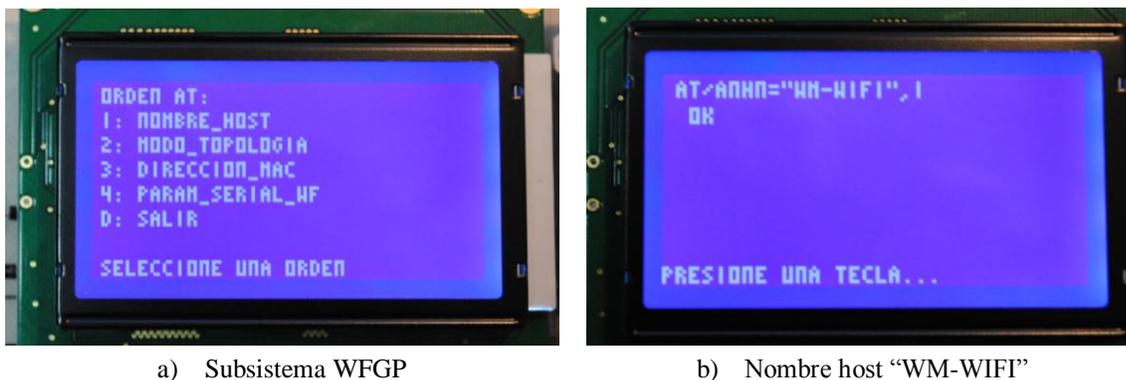


Figura 5.117. Configuración del subsistema WFGP.

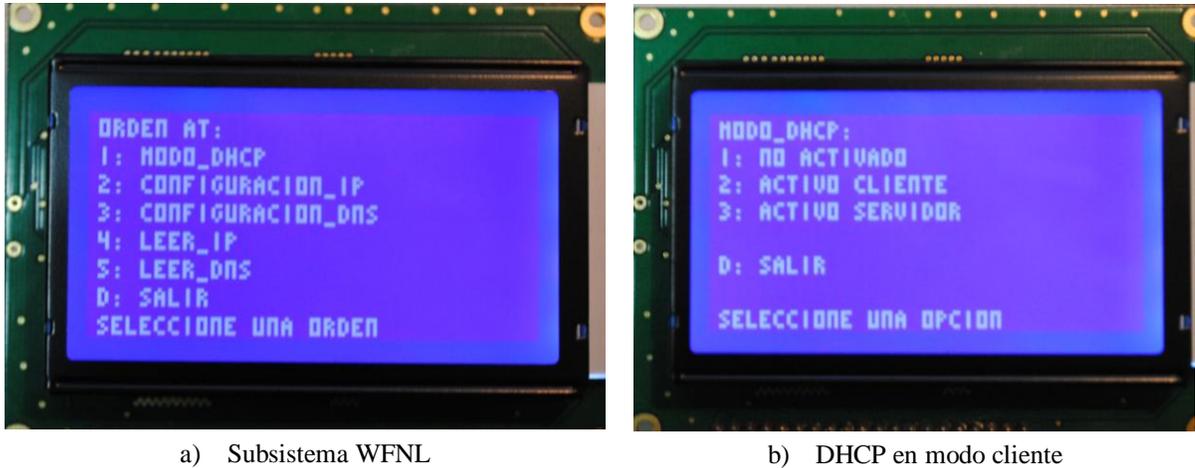


Figura 5.118. Configuración del subsistema WFNL.

En cuanto a la seguridad, el WM Wi-Fi se configuró con el método de autenticación WPA2-PSK y el método de encriptación AES. La clave de seguridad configurada establecida es “D1A5F0868D” (véase Figura 5.119).

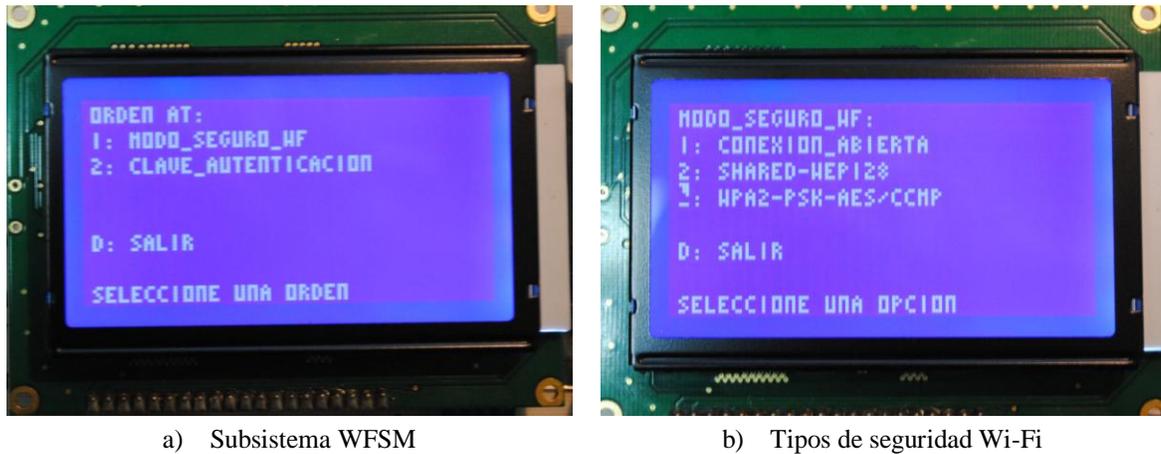
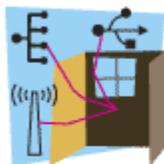


Figura 5.119. Configuración del subsistema WFSM.

Con el sistema WM Wi-Fi se realizó una búsqueda de SSID encontrando a SSID_CASA. De esta forma se prosiguió a asociar el WM Wi-Fi con la SSID en cuestión configurando el canal correspondiente; además se levantó un servicio TCP con el puerto 23 activado para “escuchar” conexiones entrantes.

Por otra parte, el Thomson Gateway contiene un punto de acceso inalámbrico integrado configurado para propagar la señal inalámbrica denominada “SSID_CASA” con las características de la Figura 5.120.

[TELMEX]

[Resumen](#) | [Detalles](#) | [Confi](#)[Inicio](#) > [Red doméstica](#) > [Interfaces](#) > [WLAN: SSID_CASA](#)

Punto de acceso inalámbrico - SSID_CASA

- **Configuración**

Interfaz habilitada:	Sí
Dirección física:	00:26:44:0F:A8:F3
Nombre de red (SSID):	SSID_CASA
Tipo de interfaz:	802.11b/g
Velocidad exacta:	54 Mbps
Banda:	2.4G Hz
Selección de canal:	Auto
Región:	USA
Canal:	11
Permitir multidifusión desde la red de banda ancha:	Sí

- **Seguridad**

Difundir nombre de la red :	Sí
Permitir nuevos dispositivos:	Nuevas estaciones permitidas (automáticamente)
Modo de seguridad:	WPA-PSK
Clave WPA-PSK previamente compartida:	D1A5F0868D
Cifrado WPA-PSK:	AES
Versión de WPA-PSK:	WPA2

Figura 5.120. Propiedades de la SSID “SSID_CASA”.

Se capturaron los parámetros asociados al WM Wi-Fi con el Thompson Gateway. El DHCP del Thompson Gateway en modo de servidor otorgó al WM Wi-Fi la dirección IP 192.168.1.68 (véase Figura 5.121).

[TELMEX]

R:

[Inicio](#) > [Red doméstica](#) > [Dispositivos](#) > [WM-WIFI](#)

WM-WIFI

- **Información**

Estado:	Activa
Tipo:	Generic Device
Conectado a:	WLAN (Wireless)
Permitido en WLAN:	Sí

- **Direccionamiento**

Dirección física:	00:12:f3:12:70:75
Asignación de dirección IP:	DHCP
Dirección IP:	192.168.1.65

Figura 5.121. Información adquirida por el Thompson Gateway.

Una vez establecidos todos los parámetros para asociar al AP del Thomson Gateway con el WM Wi-Fi, se prosiguió a levantar una aplicación Cliente Telnet sobre el puerto 23 en una PC con nombre “CASA-PC” y en una laptop denominada “CASA-LAPTOP”, ambas computadoras conectadas vía Ethernet al Thomson Gateway como se muestra en el diagrama de conexión de la Figura 5.122. La Figura 5.123 muestra las conexiones establecidas de los dispositivos con el Thomson Gateway.

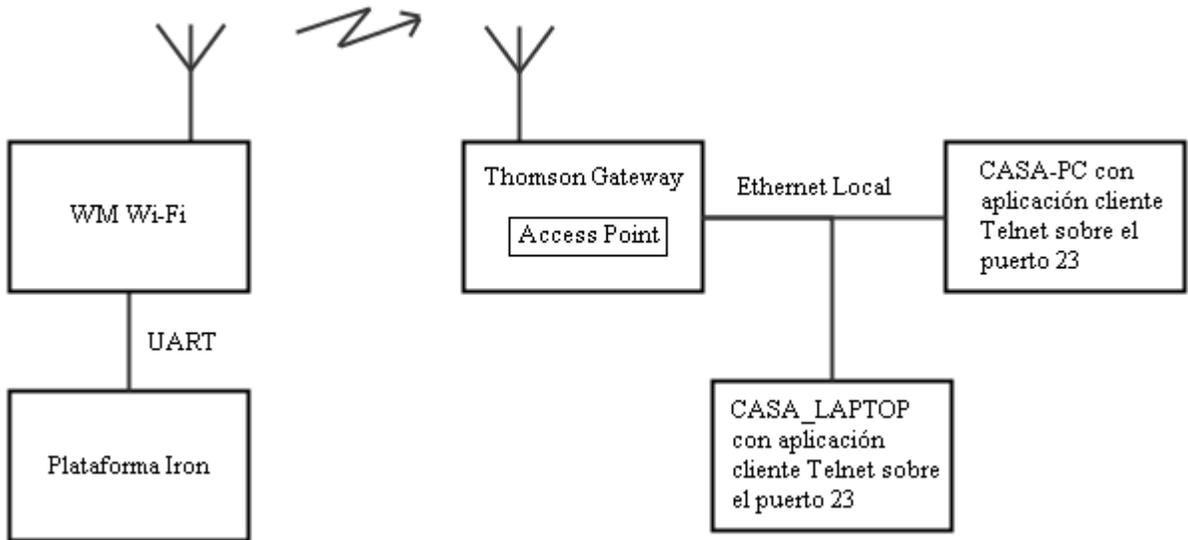


Figura 5.122. Diagrama de conexiones para prueba de verificación del WM Wi-Fi.

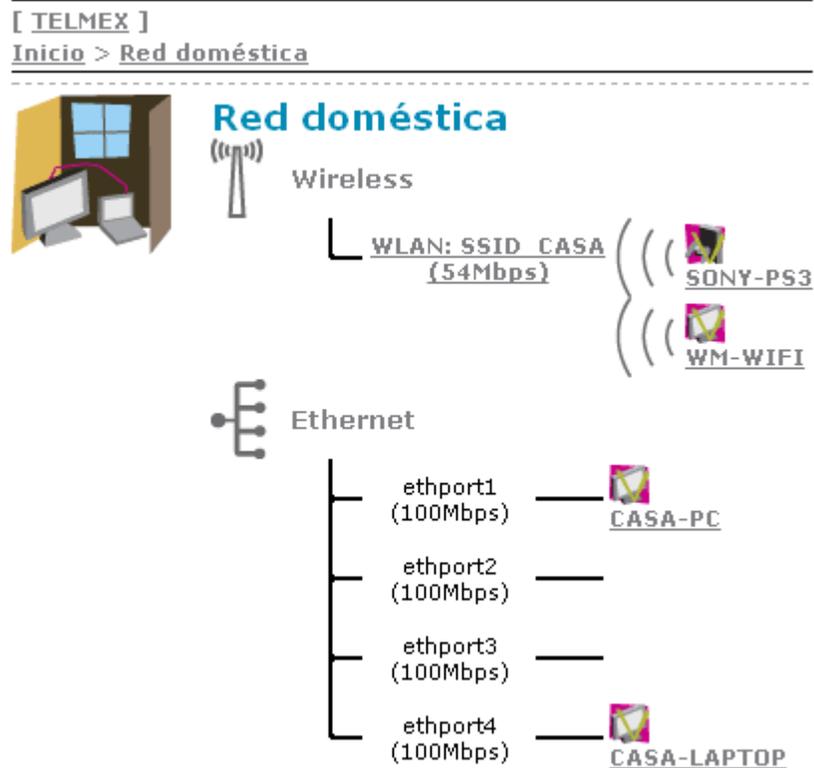


Figura 5.123. Red doméstica administrada por el Thomson Gateway.

Una vez realizada la conexión TCP entre el WM Wi-Fi y las computadoras conectadas al Thomson Gateway, se envió con la Plataforma Iron el mensaje de verificación “HOLA WI-FI” recibiendo el mensaje ambos clientes Telnet (véase Figura 5.124).

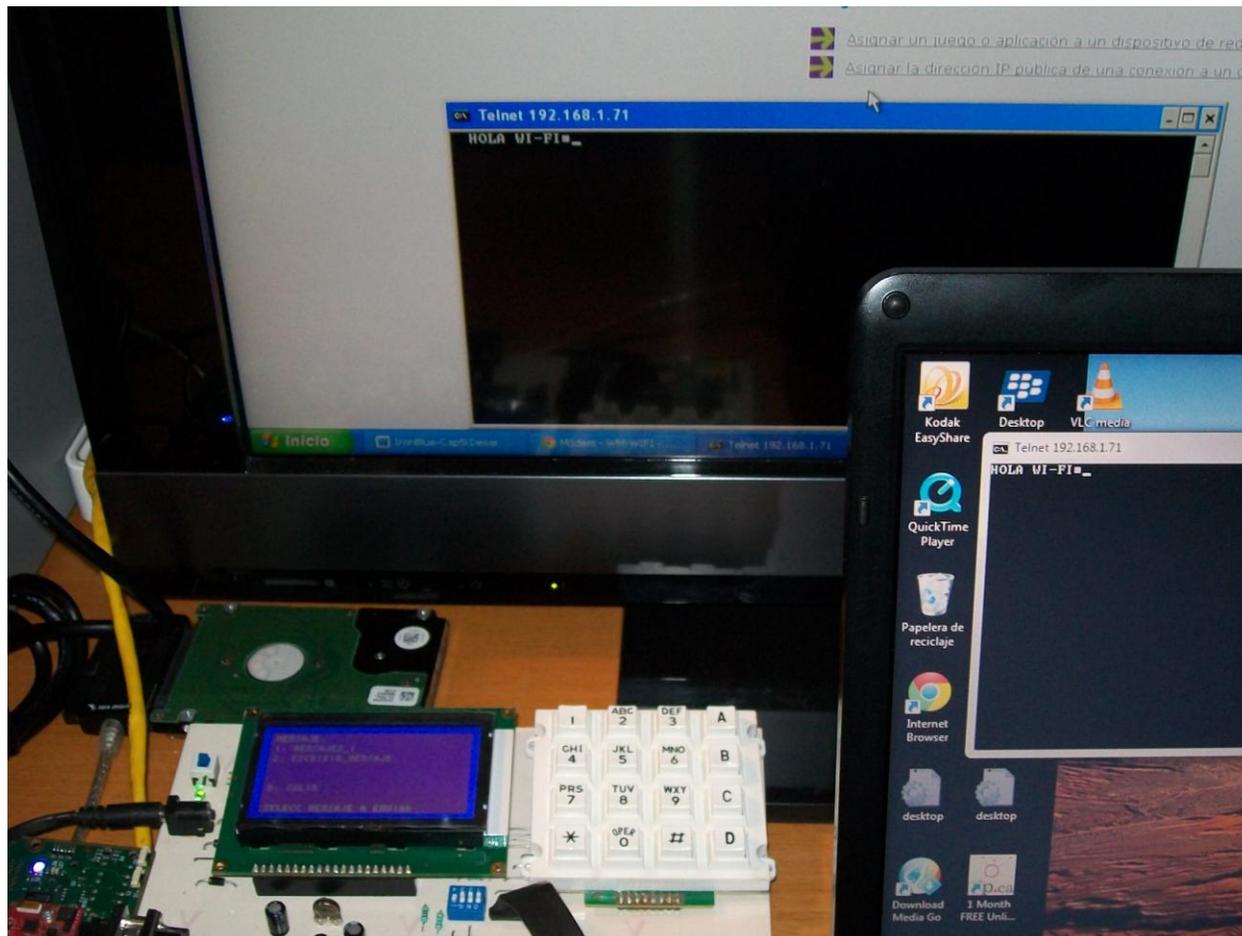


Figura 5.124. Captura del mensaje “HOLA WI-FI” en los clientes Telnet.

5.6. Entrega y mantenimiento del conjunto de sistemas IronBlue

La Tabla 5.22 lista las actualizaciones realizadas al sistema DreamBlue durante su ciclo de vida y que forman parte de la fase de entrega y mantenimiento de la metodología SPIES.

Tabla 5.22. Versiones de actualización del sistema DreamBee ver 1.0.

Versión	Actualizaciones
0.1	- Subsistema ZAP incorporado.
0.2	- Error de sincronización con el modo de órdenes AT del WM ZigBee y la Plataforma corregido. - Error corregido en la orden “LEER_NOMBRE_ZB”.
0.3	- Subsistema ZGP incorporado. - Error en función “INSERTAR_CARACTERES” corregido.
0.4	- Subsistema ZSM incorporado. - Optimización de memoria de registros mediante el cambio de tipo de variable “int” al tipo “short”.

0.5	- Subsistema ZSM incorporado.
0.6	- Error corregido en la función “CANAL_ZIGBEE”.
0.7	- Incorporación de orden AT “LEER_RSSI_ZB”.
0.8	- Corrección de error en la función “OTRO” de la orden “LEER_RSSI_ZB”.
0.9	- Subsistema ZDTM incorporado - Error corregido en la función “INSERTAR_CARACTERES” de la orden “MENSAJE_PRUEBA”.
1.0	- Sistema liberado

La Tabla 5.23 lista las actualizaciones realizadas al sistema DreamBlue durante su ciclo de vida y que forman parte de la fase de entrega y mantenimiento de la metodología SPIES.

Tabla 5.23. Versiones de actualización del sistema DreamBlue ver 1.9.

Versión	Actualizaciones
1.1	- Subsistema BAP incorporado.
1.2	- Error de sincronización de módulo UART1 corregido.
1.3	- Subsistema BGP incorporado. - Error en función “INSERTAR_CARACTERES” corregido.
1.4	- Subsistema BSM incorporado. - Optimización de memoria de registros mediante el cambio de tipo de variable “int” al tipo “short”.
1.5	- Incorporación de la orden AT “BUSQUEDA_DISPOSITIVOS_BT”.
1.6	- Incorporación de orden AT “BUSCAR_SERVICIOS_BT”.
1.7	- Incorporación de orden AT “CONNECT_A_SERVICIO_BT”. - Error en función “CANAL_RFCOMM” corregido, admisión del canal 0 al canal 15. - Incorporación de ingreso manual de conexión a servicio Bluetooth.
1.8	- Incorporación de orden AT “CONNECT_A_SERVICIO_BT”. - Optimización de función “INSERTAR_CARACTERES”. - Subsistema BDTM incorporado.
1.9	- Sistema liberado.

La Tabla 5.24 lista las actualizaciones realizadas al sistema DreamFi durante su ciclo de vida y que forman parte de la fase de entrega y mantenimiento de la metodología SPIES.

Tabla 5.24. Versiones de actualización del sistema DreamFi ver 1.0.

Versión	Actualizaciones
0.1	- Subsistema WFGP incorporado.
0.2	- Subsistema WFNL incorporado.
0.3	- Corrección de error en orden AT “CONFIGURACION_IP”.
0.4	- Subsistema WFSM incorporado.
0.5	- Incorporación de la orden AT “BUSQUEDA_WF”.

0.6	- Incorporación de orden AT "ESTABLECER_SSID".
0.7	- Incorporación de orden AT "MODO_TCP". - Error en función "CANAL_WF" corregido. - Incorporación de ingreso manual de conexión a servicio TCP.
0.8	- Subsistema WFDTM incorporado.
0.9	- Sistema liberado.

La Tabla 5.25 lista los precios correspondientes a las herramientas Hardware y Software utilizados para la construcción de la Plataforma Iron y el conjunto de sistemas IronBlue.

Tabla 5.25. Costos de producción de la Plataforma Iron y los sistemas IronBlue.

HW	Precio (MX)	SW	Precio (MX)
dsPIC30F4013	\$ 130.00	Rhapsody (versión de evaluación)	\$ 0.00
Placa fenólica de 20 x15 cm	\$ 70.00	mikroC for dsPIC (versión de evaluación)	\$ 0.00
Teclado matricial	\$ 99.00	GLCD Bitmap generator (versión de evaluación)	\$ 0.00
Pantalla GLCD	\$ 320.00	MASTER-PROG (incluido con el programador)	\$ 0.00
Programador MASTER-PROG	\$350.00	-	-
OEM OZS311	\$ 849.56	-	-
OEM OBS433	\$ 1,626.08		
OEM OWS452	\$ 1,626.08		
Adaptador de Puerto Serie RS232 III (3 piezas)	(\$ 1,068.03) x3 = \$3,204.10	-	-
Cables de alimentación de los módulos inalámbricos	(\$ 200) x3 = \$600.00		
Cable de pruebas DB9 hembra-hembra	\$ 200.00	-	-
Transformador de voltaje para suministrar energía a la Plataforma Iron.	\$ 200.00		
Varios	\$ 500.00		
SUBTOTAL	\$ 9774.82	SUBTOTAL	\$ 0.00
		TOTAL	\$ 9774.82

6. Resultados y Conclusiones

El conjunto de sistemas IronBlue fue utilizado en el Semestre 2012-A con los alumnos del séptimo semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica durante el curso de Ingeniería de Sistemas de acuerdo al plan de estudios 2008. Los lugares de trabajo fueron el Laboratorio de Comunicaciones Digitales de los Laboratorios Avanzados de Electrónica, y las aulas 1 y 2 de la División de Estudios de Posgrado de la UTM (véase Figura 6.1).



Figura 6.1. Interacción de alumnos con la Plataforma Iron.

Así, a lo largo del semestre el titular de la materia introdujo los pasos para el diseño y modelado de sistemas electrónicos en UML mediante la herramienta IBM Rhapsody.

Se llevaron a cabo diversas clases sobre especificación, modelado y arquitectura de sistemas electrónicos, tomando al sistema DreamBlue cómo base. De esta manera y conforme al plan de actividades de la materia de Ingeniería de Sistemas, los alumnos llevaron clases teórico/prácticas en las cuales, con apoyo del profesor, implementaron diagramas de modelado en UML para el desarrollo de un sistema electrónico.

Una vez completadas las clases teórico/prácticas sobre el modelado de sistemas en UML, se prosiguió a modelar parte de la funcionalidad del sistema DreamBlue cómo base o núcleo para su estudio (véase Figura 6.2).

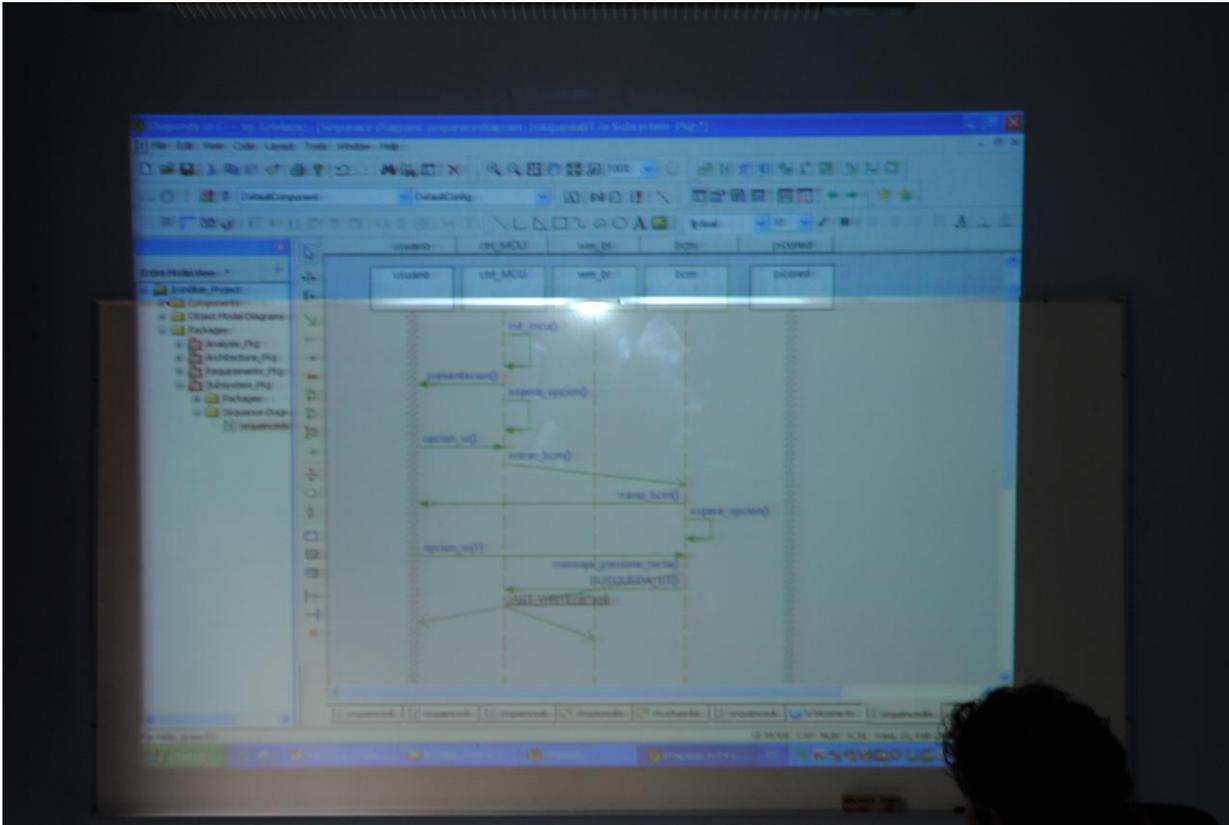


Figura 6.2. Clase sobre diagramas de secuencia del sistema DreamBlue.

En la parte final del curso e independientemente de las prácticas normales de la materia, se llevaron a cabo las prácticas del sistema DreamBlue (véase Anexo C). Con previa explicación del funcionamiento de las tecnologías de corto alcance tratadas en el presente trabajo de tesis. De esta forma, a los alumnos se les solicitó un reporte de prácticas para su posterior evaluación y respondieron a un cuestionario acerca de la satisfacción que obtuvieron con la herramienta DreamBlue.

Para la realización de las actividades de las prácticas se reunió un solo equipo de 5 integrantes, total de alumnos del séptimo semestre, debido a la baja matrícula en el curso. Los resultados del reporte generado por los alumnos se muestran a continuación.

6.1. Ingeniería de Sistemas

6.1.1. Práctica 1 – Propiedades generales Bluetooth

Actividad: Mediante el sistema DreamBlue asignar al WM Bluetooth los siguientes identificadores COD: Escritorio, Auricular y Teléfono.

Para la realización de esta actividad se desarrollaron los siguientes pasos:

- Como primer paso, el MCU despliega una pantalla de presentación (véase Figura 6.3) y espera a que el usuario elija una opción.



Figura 6.3. Menú principal del sistema DREAMBLUE.

- En seguida se eligió la opción 1 que corresponde al subsistema BGP.
- El sistema DreamBlue entra al subsistema BGP, mostrando un submenú en pantalla al usuario (véase Figura 6.4).



Figura 6.4. Menú del subsistema BGP.

- Se seleccionó la opción 2, la cual corresponde a la CLASE_BT.
- El subsistema BGP despliega el siguiente menú (véase Figura 6.5).



Figura 6.5. Menú de CLASE_BT.

- Se seleccionó una de las 4 clases (AUDIO).
- El subsistema BGP indica la selección de la opción (véase Figura 6.6).



Figura 6.6. Mensaje de selección de orden AT.

- Una vez que el subsistema BGP recibe la opción regresa la siguiente respuesta (véase Figura 6.7).



Figura 6.7. Respuesta de la orden CLASE_BT.

Se repitió el procedimiento para las diferentes opciones de CLASE_BT. El resultado obtenido es capturado por un teléfono y mostrado en la Figura 6.8.



Figura 6.8. Iconos que representan las diferentes clases COD.

6.1.2. Práctica 2 – Gestión de la conexión y seguridad Bluetooth

Actividad: Mediante el sistema DreamBlue realizar un proceso de búsqueda con el WM Bluetooth mostrando en una tabla los parámetros: Dirección Bluetooth, Clase de Dispositivo y nivel RSSI.

Para la realización de la actividad, primero se realizó el diagrama de secuencia de la Figura 6.9 y se prosiguió a seguir estos pasos en el sistema DreamBlue.

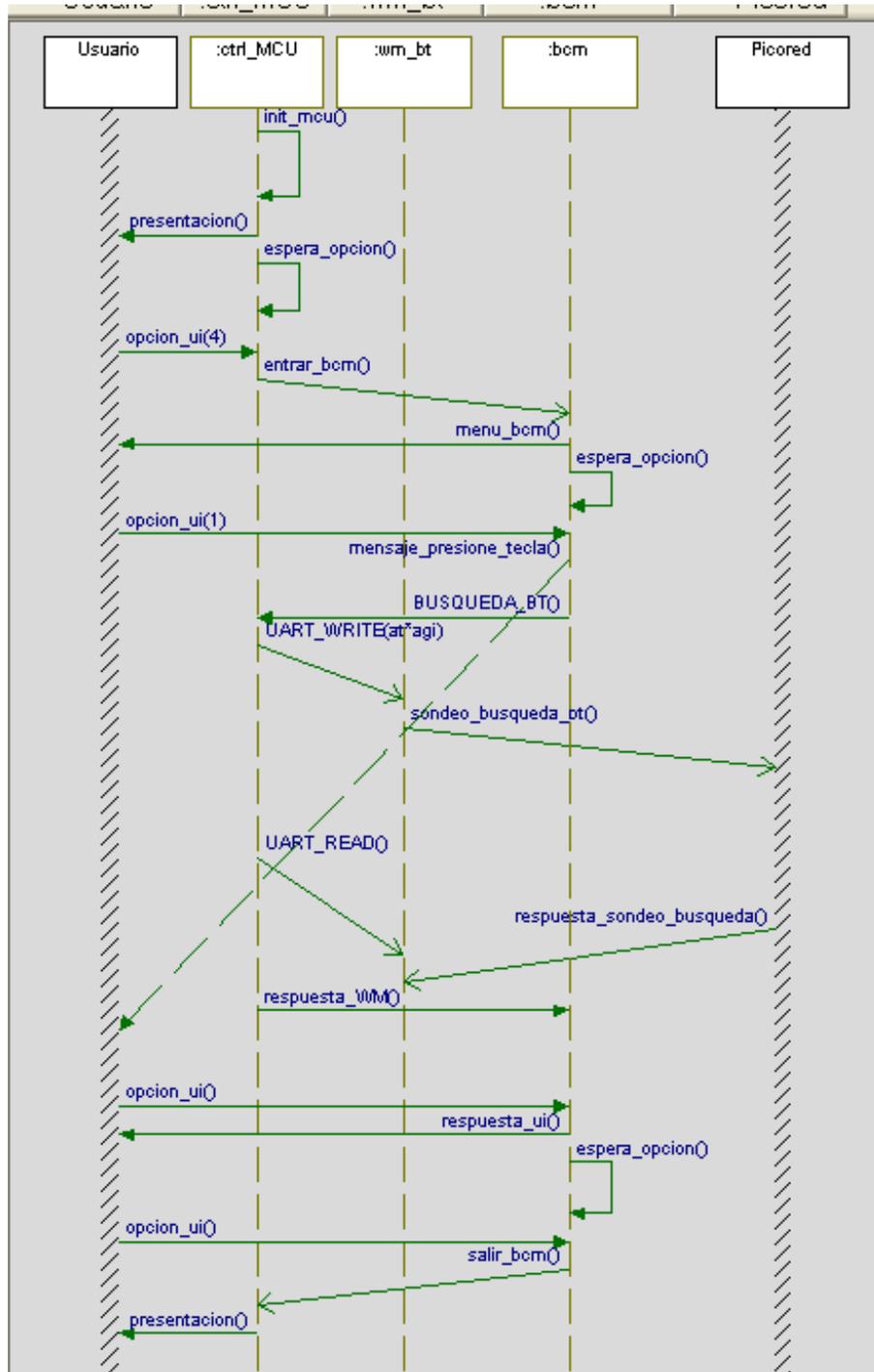


Figura 6.9. Diagrama de secuencia para la búsqueda de dispositivos BT.

Los pasos que se efectuaron para la actividad y de acuerdo al diagrama de secuencia previo son los siguientes:

- El sistema DreamBlue empieza mostrando al usuario la pantalla de presentación.
- Para efectuar la búsqueda de dispositivos Bluetooth, primero se eligió la opción 4 que corresponde al ingreso del subsistema BCM.
- El MCU ingresa al BCM y muestra el siguiente menú al usuario (véase Figura 6.10).



Figura 6.10. Menú del subsistema BCM.

- Una vez dentro del BCM, se eligió la opción 1.
- El BCM recibe la opción del usuario, y el MCU activa el WM_BT para realizar la búsqueda de dispositivos en la picored.
- La picored envía una respuesta al WM_BT y que a su vez es leída por el MCU.
- El MCU envía la respuesta del WM_BT al BCM.
- El BCM le envía la respuesta al usuario (véase Figura 6.11).



Figura 6.11. Resultado de la búsqueda de dispositivos Bluetooth.

6.1.3. Práctica 3 – Enlaces Bluetooth

Actividad: Mediante el sistema DreamBlue configurar el WM Bluetooth y conectar a un servicio SPP de una PC y abrir un monitor de terminal de puerto serie (p. ej., hyperterminal de Windows). Enseguida enviar un mensaje de la Plataforma Iron a la terminal monitor.

Para esta actividad se crearon los siguientes diagramas de secuencia (véanse Figura 6.12 y Figura 6.13).

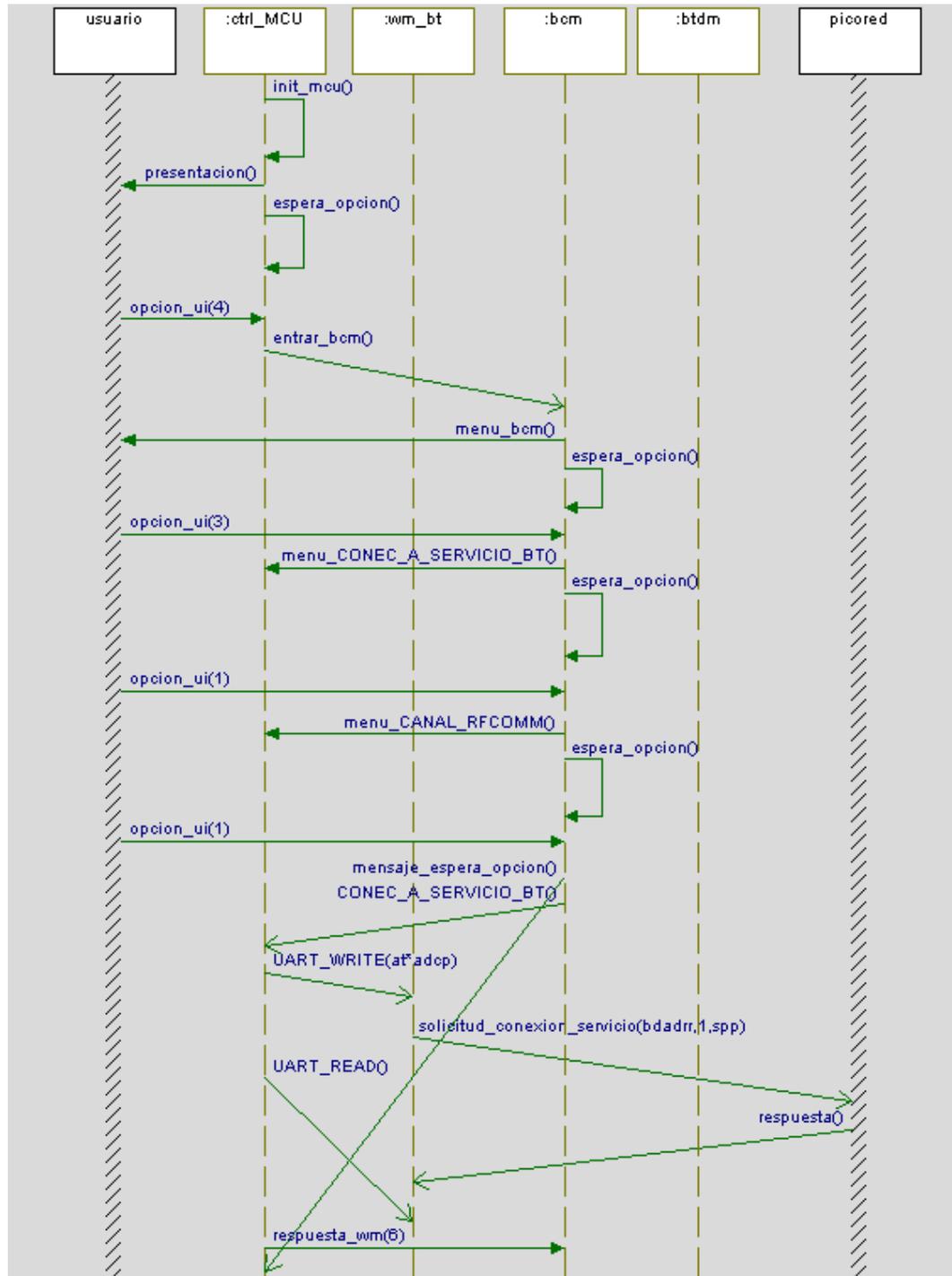


Figura 6.12. Diagrama de secuencia de conexión a servicio SPP.

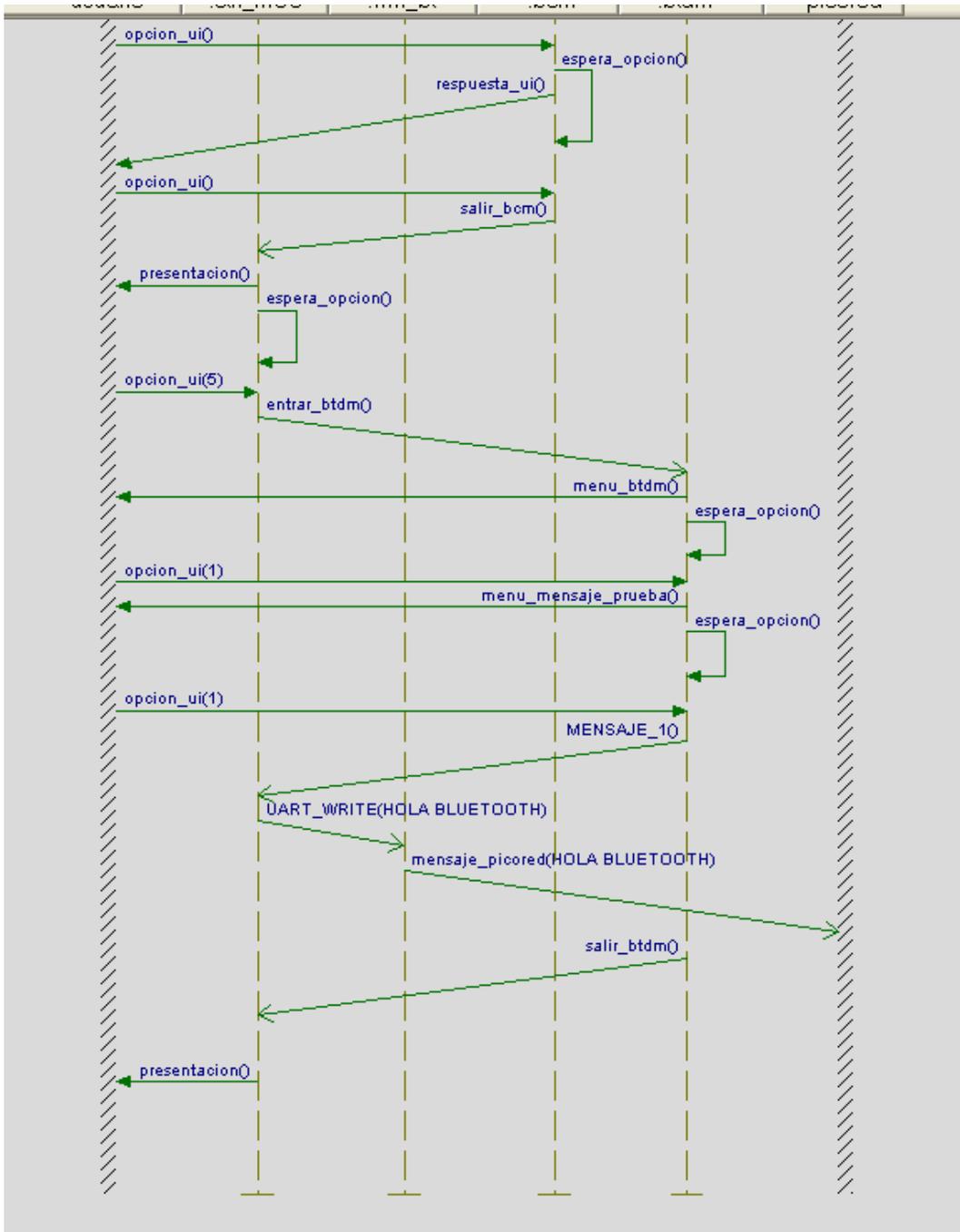


Figura 6.13. Diagrama de secuencia para envío de mensajes.

Los pasos son descritos a continuación:

- El sistema DreamBlue nuevamente empieza mostrando el menú principal.
- El usuario debe elegir la opción 4, la cual corresponde al ingreso del subsistema BCM.
- El subsistema despliega el menú de la Figura 6.10.
- Para conectarse a un dispositivo se eligió la opción 3 “CONECT_SERVICIO_BT”.
- El subsistema BCM indica los dispositivos posibles a conectarse (véase Figura 6.14).



Figura 6.14. Menú de dispositivos posibles para intento de conexión.

- Se eligió el dispositivo MANHATTAN_BT opción 1.
- El BCM responde con un menú para elegir el canal donde se encuentra el servicio SPP a conectarse (véase Figura 6.15).



Figura 6.15. Menú para elegir el canal donde se encuentra disponible el servicio SPP.

- Se elige la opción 1 correspondiente al servicio SPP otorgado por la antena MANHATTAN_BT conectada a la PC destino.
- Una vez seleccionado el canal correcto el WM_BT envía una petición establecimiento de conexión a la antena.
- La antena responde a la petición del WM_BT.
- El MCU lee la respuesta del WM_BT al intento de conexión.
- El subsistema BCM despliega el resultado al usuario y espera una opción (véase Figura 6.16).



Figura 6.16. Mensaje de conexión.

- El BCM regresa al menú principal.
- Para enviar el mensaje se elige la opción 5 (subsistema BDTM) del menú principal.
- El subsistema BTDM despliega el menú de la Figura 6.17 y espera por la respuesta del usuario.



Figura 6.17. Menú del BTDM.

- Para el envío del mensaje de prueba se selecciona la opción 1.
- El subsistema BTDM recibe la instrucción y le indica al MCU que envíe el mensaje almacenado en memoria “HOLA BLUETOOTH”.
- El resultado obtenido y visualizado en la terminal monitor ejecutado en la PC, se puede observar en la Figura 6.18.

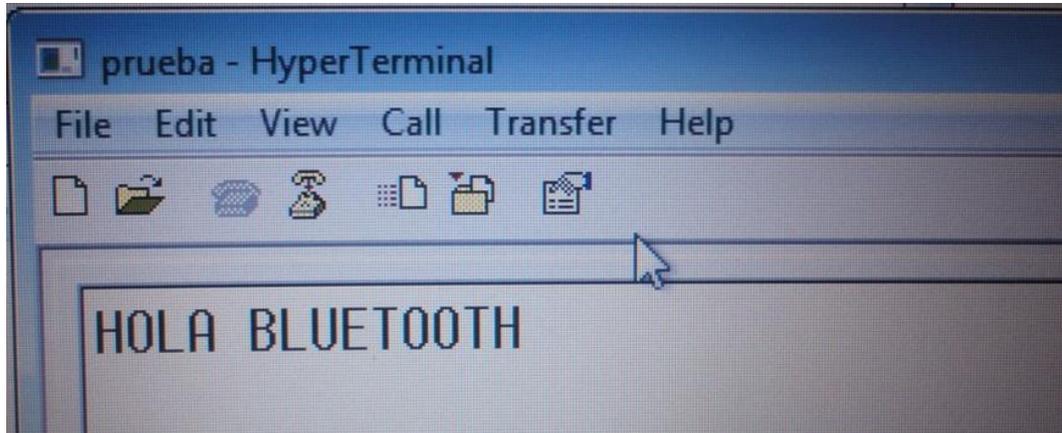


Figura 6.18. Mensaje que enviado de la Plataforma Iron a la antena MANHATTAN.

6.1.4. Satisfacción de los alumnos

Con el objetivo de determinar la utilidad de la Plataforma Iron, al final del curso de Ingeniería de Sistemas se realizó una breve encuesta en busca de obtener la retroalimentación que permita obtener una visión objetivo para futuras mejoras sobre el mismo curso (véase Figura 6.19).

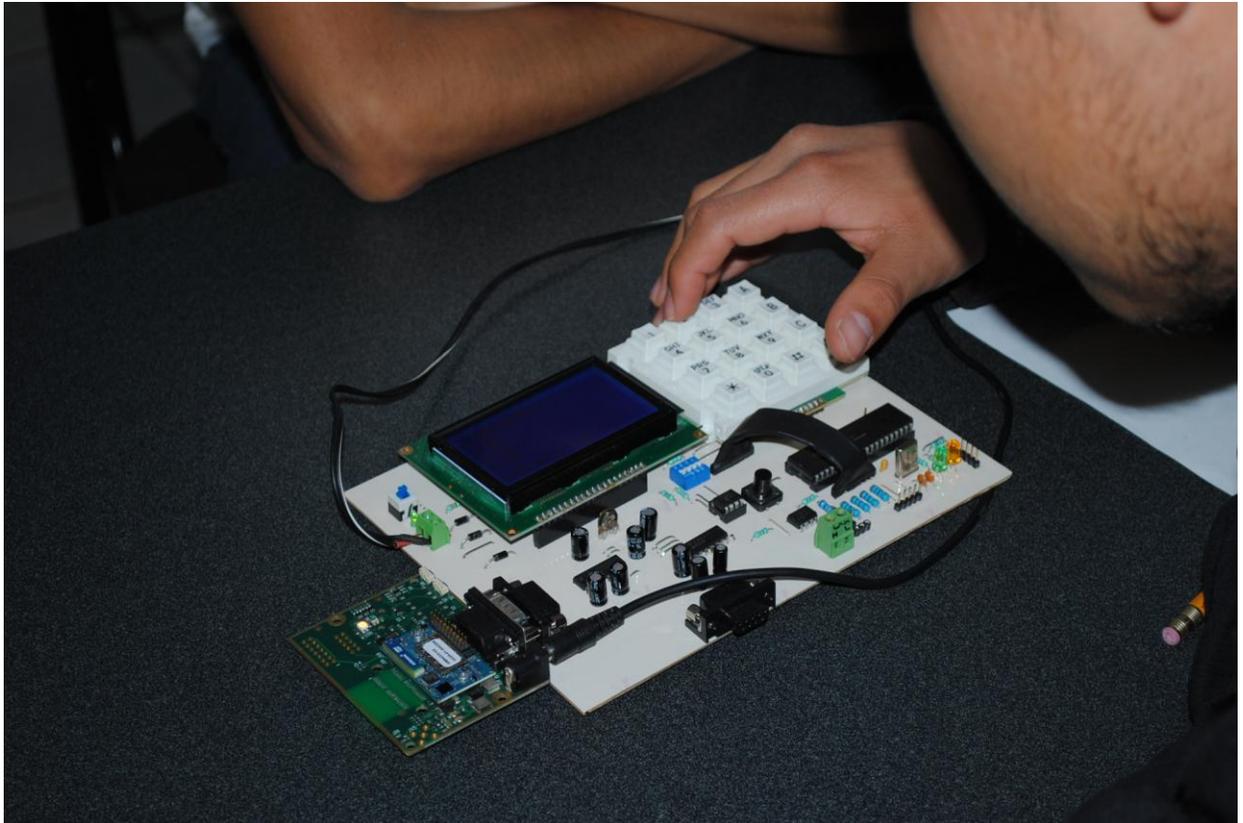


Figura 6.19. Evaluación de la Plataforma Iron con el sistema DreamBlue.

La encuesta se realizó antes del examen final del curso; para efectos de una demostración, la Tabla 6.1 muestra las respuestas de los 5 estudiantes. Las cuatro declaraciones mostradas se basan en el apoyo de la Plataforma al material del curso y fueron evaluadas en el siguiente rango:

(FD) Fuertemente en Desacuerdo, (D) Desacuerdo, (N) Neutral, (A) En Acuerdo y (FA) Fuertemente en Acuerdo.

Tabla 6.1. Respuesta de encuesta Ingeniería de Software.

Declaración	FD	D	N	A	FA
La plataforma ayudó a los estudiantes a entender los principios de las comunicaciones inalámbricas	0	0	0	5	0
Me siento más confiado con conceptos relacionados a las comunicaciones inalámbricas	0	0	0	5	0
Los experimentos de laboratorio son complementarios al material cubierto en el curso	0	0	2	3	0
Mi interés en la ingeniería y la tecnología se incrementó después de tomar este curso	0	0	0	4	1

A continuación se resume el cuestionario que permitió obtener una sinergia por parte de los estudiantes al material en uso.

1. ¿Qué te parece la plataforma como medio de aprendizaje de la tecnología Bluetooth?

- Es un buen acierto.
- Buena, da una idea general de cómo es la comunicación Bluetooth.
- Sí me pareció un buen método de aprendizaje, porque es un sistema que permite comunicarse con una piconet de forma organizada y cumpliendo el objetivo con satisfacción.
- Me parece una buena opción.
- Es buena, ya que por medio de BT es una manera más sencilla de enviar información sin necesidad de hacer conexiones físicas.

2. ¿Les gustaría que este tipo de sistema/plataforma se integre a los cursos de forma formal?

- Sí, además de otras plataformas de otras áreas.
- Sí, sería una buena opción para empezar a planear proyectos futuros.
- Sí, porque les ayudaría familiarizarse con los conceptos de acceso a la conexión, emisor y recepción de datos.
- Sí, porque en algunas materias como sistemas digitales uno puede trabajar con tarjetas y FPGAs. Yo siento que se aprende más cuando se integran este tipo de plataformas a los cursos.
- Sí, porque la tecnología BT ahora se utiliza de manera cotidiana para facilitar comunicaciones entre sistemas electrónicos.

3. ¿Te parece una forma viable de aprender la teoría de telecomunicaciones de forma práctica?

- Es mucho más dinámica, conoces como se debe desarrollar la conexión y características del BT.
- Es una buena forma para aprender la tecnología Bluetooth, pero también se necesitarían otras plataformas para otras tecnologías y no centrarse únicamente en BT.
- Si así es mucho mejor que la teoría por que tanto aprendes conceptos como los aplicas.
- Sí, esta y otras plataformas más serían muy útiles.
- Estaría bien, porque obteniendo solamente la teoría no queda muy claro, y si se observa cómo funciona podría ayudar a un mejor entendimiento.

4. ¿Te parece efectivo el diseño y modelado de este tipo de sistema/plataforma con base en diagramas de UML?

- Es un poco complicado debido a que como electrónico se está acostumbrado a realizar primero la plataforma y después la idea.
- Debido a que no hemos hecho ningún proyecto basándonos en estos diagramas sería difícil decir, pero la ventaja podría ser la documentación generada y que los proyectos puedan clonarse más fácilmente basándose en los diagramas UML.
- Si es muy práctico y efectivo para el modelado de sistemas, y más que nada porque se ahorra tiempo y dinero.
- Me parece bien efectivo cuando son sistemas complejos.
- Sería efectivo siempre y cuando se aprenda al inicio de la carrera, ya que ahora resulta algo complicado el ver los diagramas y después reproducirlo ya en un prototipo.

Cómo se puede observar en las encuestas de satisfacción de los alumnos, la Plataforma Iron junto con el sistema DreamBlue cumplen con un grado de satisfacción alto y establecen una pauta para mejorar el curso a través del conjunto de herramientas.

Sin embargo las desventajas detectadas a nivel del curso fue el nulo conocimiento en la realización de diagramas de UML (véase Figura 6.20), y el poco conocimiento sobre sistemas digitales con microcontroladores de gama alta. Lo que afectó la motivación de los estudiantes en la parte de diseño y modelado de los sistemas.

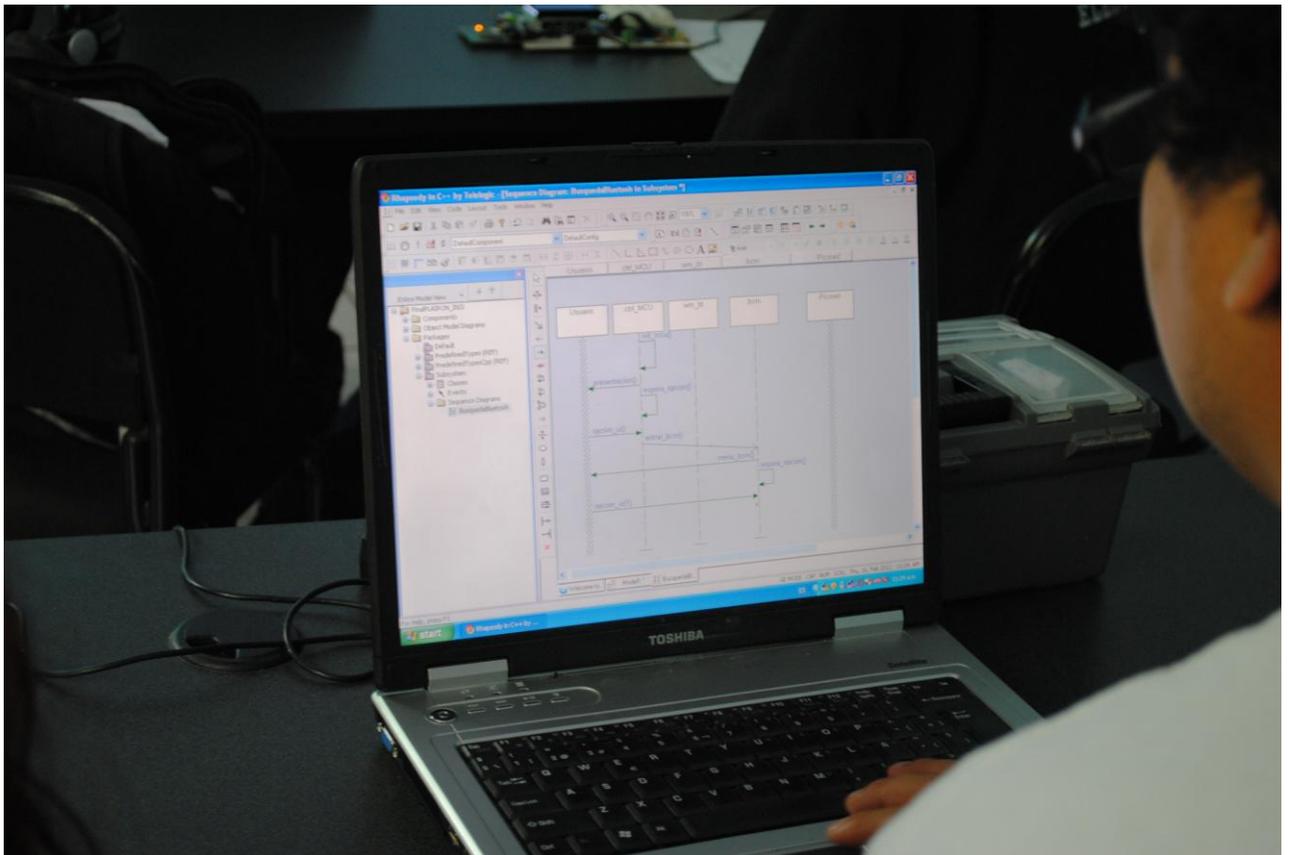


Figura 6.20. Ejercicio de diagramas de secuencia.

6.2. Posgrado

La herramienta también se introdujo a nivel de Posgrado con los estudiantes de la Maestría en Electrónica y Computación, Maestría en Tecnologías de Cómputo Aplicado, y Maestría en Electrónica con especialidad en Sistemas Inteligentes Aplicados.



Figura 6.21. Explicación del funcionamiento del prototipo Plataforma Iron.

Por ejemplo, una replica de la Plataforma Iron junto con el sistema DreamFi se utilizaron como parte del proyecto final Roadrunner, correspondiente a la materia de Metodologías de Diseño impartida por el Dr. Iván Antonio García Pacheco, en la Maestría en Electrónica con especialidad en Sistemas Inteligentes Aplicados de la UTM.

El sistema Roadrunner consiste en el ajuste dinámico de los estados de semáforos de un crucero. El ajuste se lleva a cabo a partir del tráfico sobre ese crucero. En un estado inicial el sistema es configurado vía Wi-Fi por una interfaz realizada en Java 2 desde una PC (véase Figura 6.22 y Figura 6.23). Una vez configurado, los ajustes de apertura del crucero y el modo de operación seleccionado (Cíclico, Seguro, Nocturno, Tiempo Fijo y Adaptativo), el controlador del crucero realiza el cálculo del estado del tráfico por medio de sensores infrarrojos colocados en las esquinas del crucero. De esta forma el estado del tráfico se establece a partir del conteo de los autos que pasan por los sensores y el sistema ajusta de forma dinámica los tiempos de los estados de los semáforos del crucero; a su vez el estado es enviado a la interfaz en Java vía Wi-Fi.

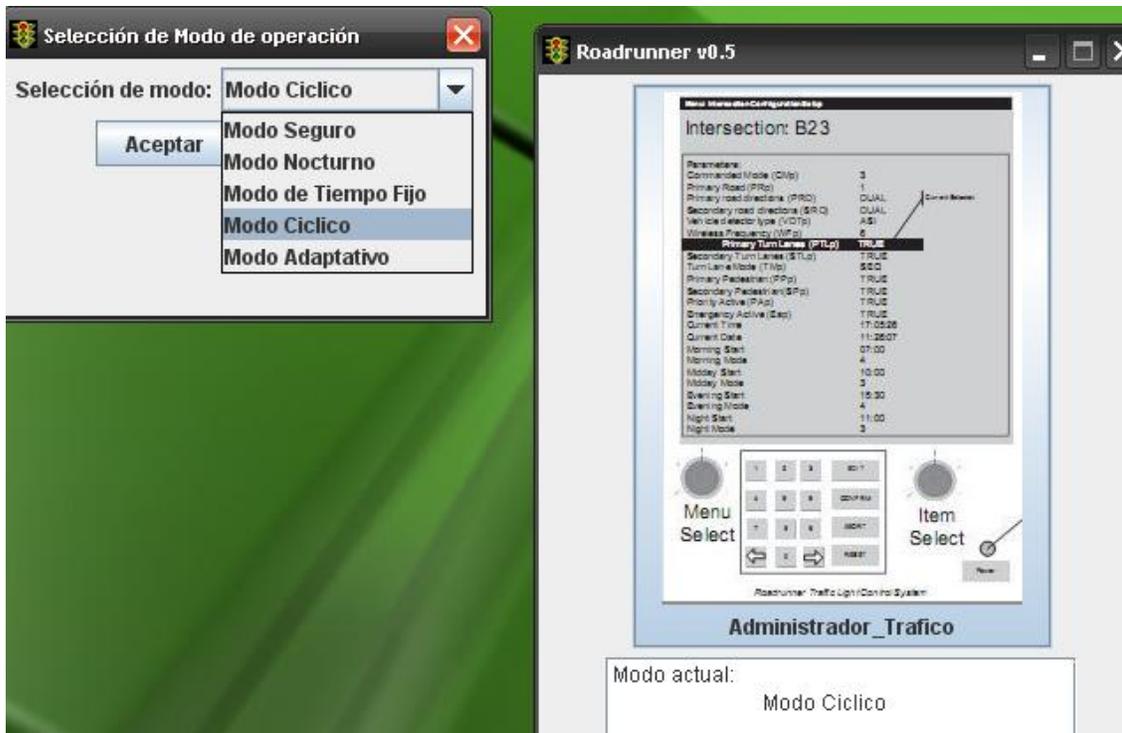


Figura 6.22. Interfaz de control Roadrunner.

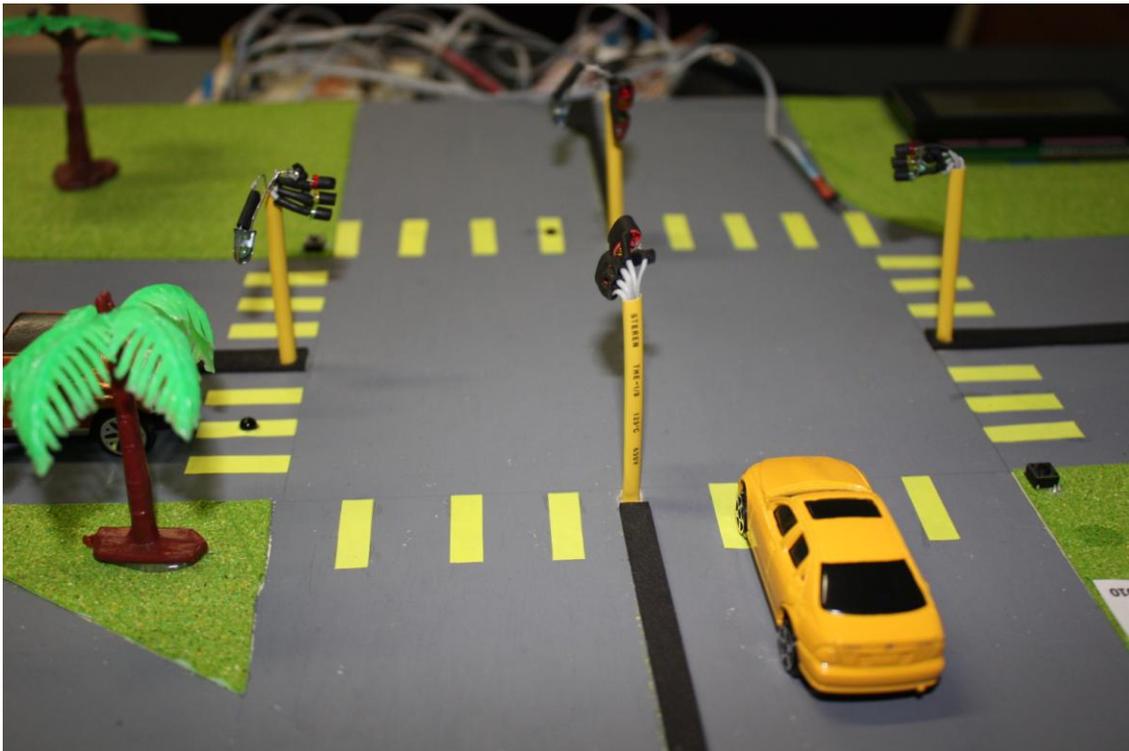


Figura 6.23. Semáforos inteligentes Roadrunner.

Como parte del proyecto final correspondiente a la materia de Microprocesadores impartida por el Dr. Antonio Orantes Molina, de la Maestría en Electrónica con Especialidad en Siste-

mas Inteligentes Aplicados de la UTM, se empleó la Plataforma Iron como parte de la ejecución del sistema de agrupamiento Lambda.

El sistema Lambda consiste en el análisis de datos numéricos provenientes de una matriz de datos en punto flotante (colección de muestras históricas inicialmente de 5x5), para su agrupamiento en clases definidas, con el fin de detectar fallas o anomalías para su análisis y reclasificación de nuevos datos inyectados a la matriz (véase Figura 6.25).



Figura 6.24. Sistema Lambda sobre la Plataforma Iron.

Como parte del proyecto final de la materia de Programación de Interfaces impartida por el profesor Heriberto Ildelfonso Hernández Martínez, de la Maestría en Electrónica con Especialidad en Sistemas Inteligentes Aplicados de la UTM, se diseñó y construyó la pasarela BlueCAN.

La pasarela BlueCAN recibe los grados y dirección mediante el protocolo Bluetooth desde una interfaz realizada en MATLAB, la pasarela retransmite los grados y la dirección por medio del protocolo CAN a una plataforma que controla un motor CD. A través de un contador de vueltas (*encoder*), la pasarela BlueCAN estima los grados de avance del motor CD.

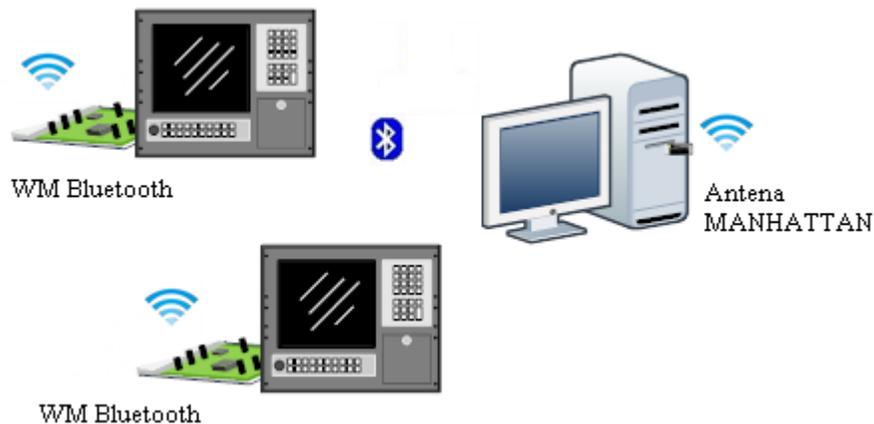


Figura 6.25. Diagrama a bloques de picored de sensores.

Cómo parte de los resultado se implementó una red de sensores, seleccionándose la tecnología Bluetooth para su monitoreo y operación; debido a la disponibilidad de dispositivos adquiridos. La picored de sensores consiste dos sistemas de temperatura y la antena Bluetooth MANHATTAN (véase Figura 6.25).

Uno de los sistemas prototipo es denominado “WTSN” y está construido bajo el MCU PIC16F84A y el sensor de temperatura I2C DS1624 de la firma DALLAS (véase Figura 6.26). El otro sistema sensor de temperatura nombrado “SENSOR BT” se encuentra implementado bajo la tarjeta de desarrollo MCD DEMO [URL-19] con el MCU PIC18F4550 y el sensor DS18B20 (véase Figura 6.27).

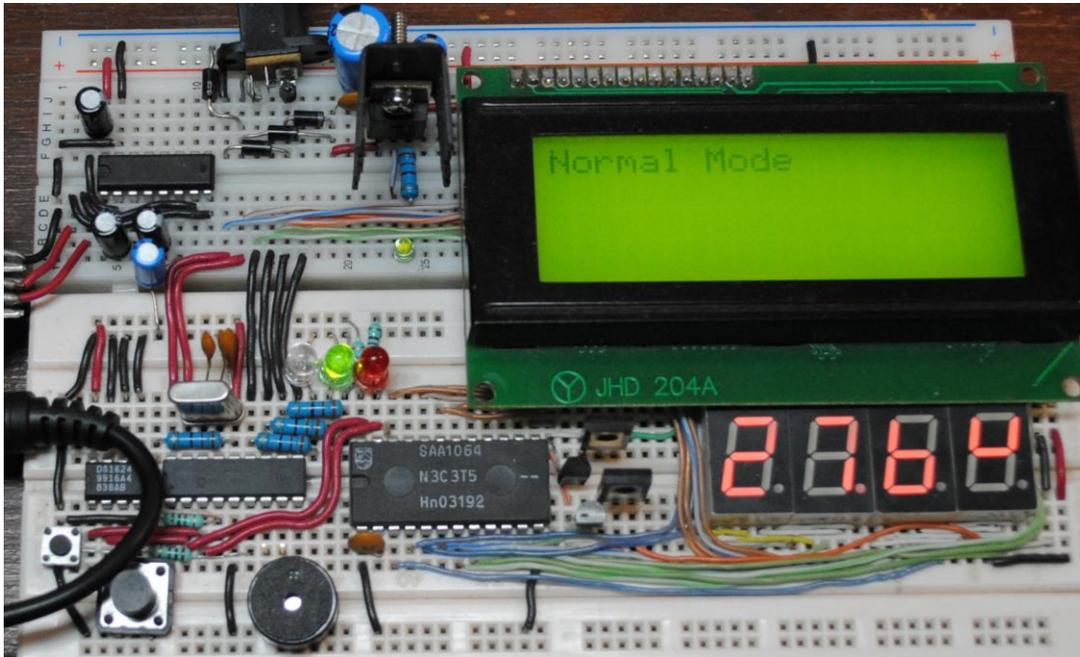


Figura 6.26. Sistema de temperatura “WTSN”.

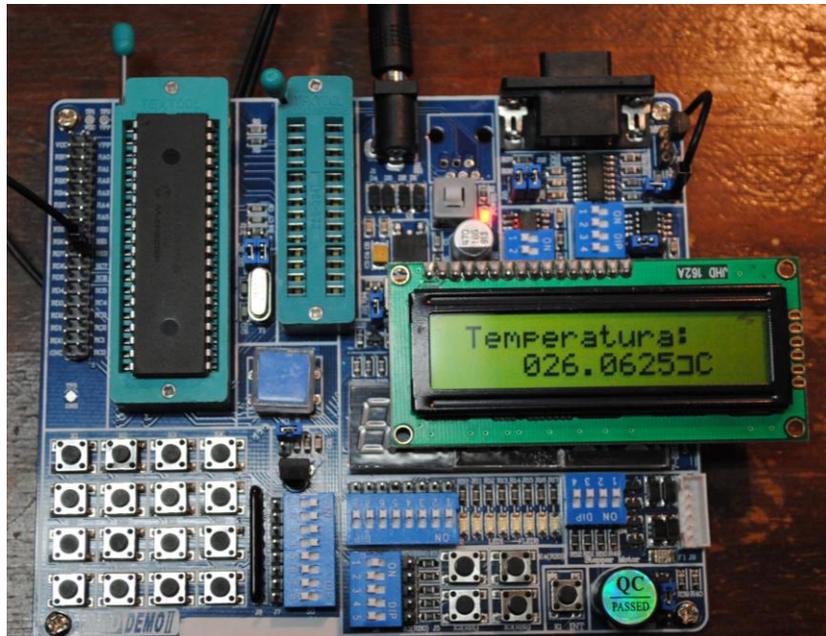


Figura 6.27. Sistema de temperatura “SENSOR BT” en tarjeta MCD DEMOII.

Cada sistema sensor se integro con un WM Bluetooth y se enlazaron vía Bluetooth con la antena MANHATTAN conectada a un puerto USB de una PC (véase Figura 5.97).



Figura 6.28. Sistemas enlazados a la antena Bluetooth MANHATTAN.

Una vez enlazados y conectados los sistemas, se continuo al monitoreo mediante dos terminales se puerto serie Java, cada terminal abre el puerto especificado en los procesos de conexión (véase Figura 6.29).

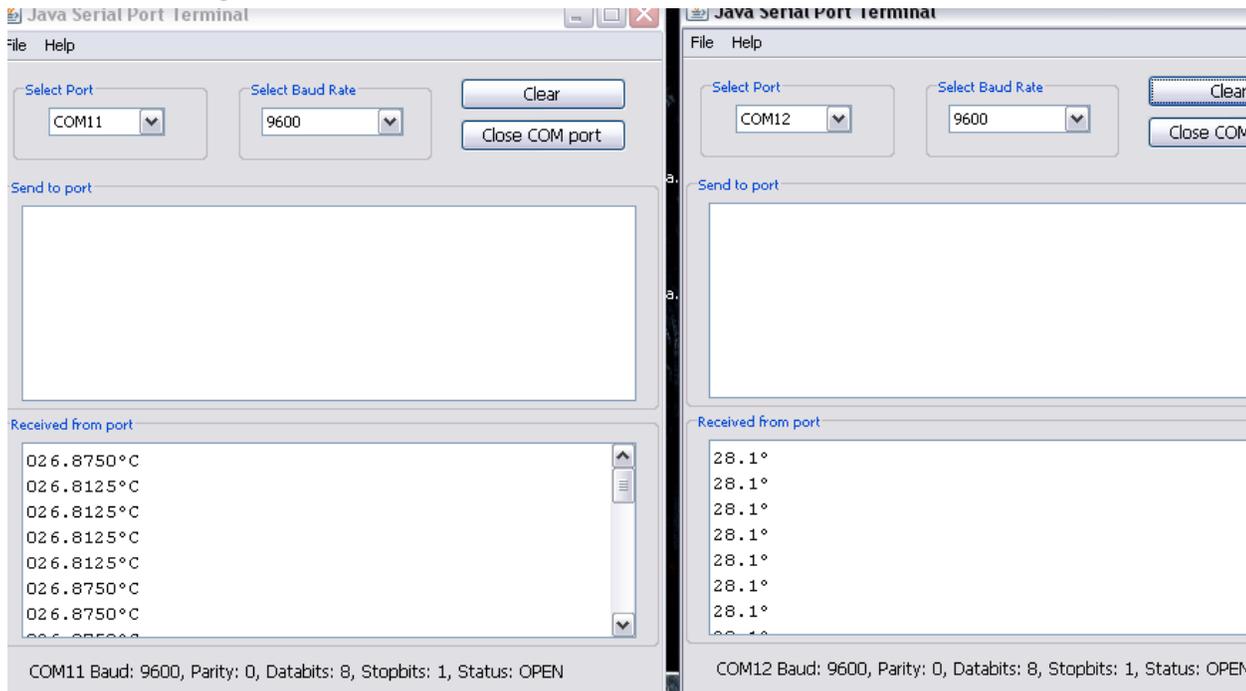
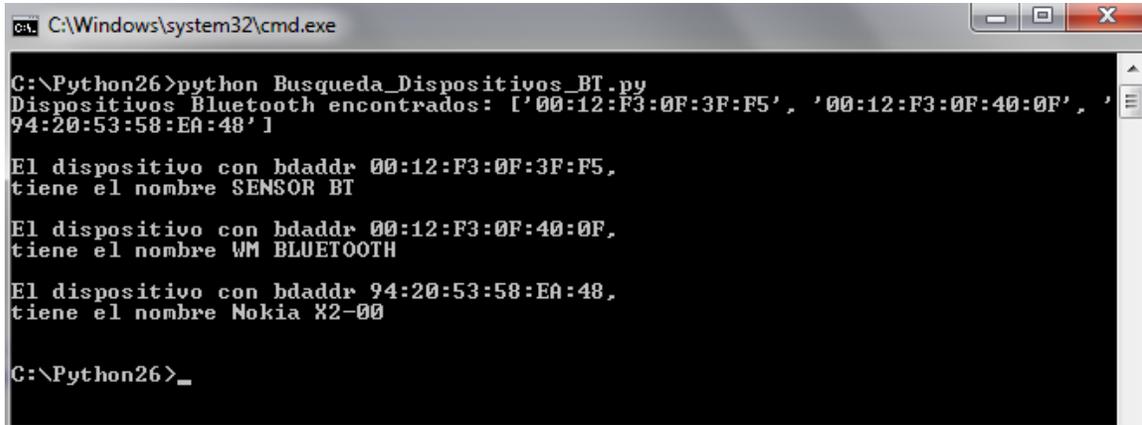


Figura 6.29. Monitoreo de sensores Bluetooth conectados a la antena MANHATTAN.

Se realizaron pruebas sobre el entorno de programación Python a través de la librería libre PyBluez [URL-24] para el establecimiento del enlace entre la antena Bluetooth MANHATTAN y el WM Bluetooth, logrando las pertinentes conexiones entre ambos dispositivos en el establecimiento de un enlace Bluetooth (véase Figura 6.30 y Figura 6.31). Esto con el fin de generar prácticas para la materia de Nuevas Tecnologías impartida a los alumnos de la Licenciatura en Informática de la Universidad del ISTMO.



```

C:\Windows\system32\cmd.exe

C:\Python26>python Busqueda_Dispositivos_BT.py
Dispositivos Bluetooth encontrados: ['00:12:F3:0F:3F:F5', '00:12:F3:0F:40:0F', '94:20:53:58:EA:48']

El dispositivo con bdaddr 00:12:F3:0F:3F:F5,
tiene el nombre SENSOR BT

El dispositivo con bdaddr 00:12:F3:0F:40:0F,
tiene el nombre WM BLUETOOTH

El dispositivo con bdaddr 94:20:53:58:EA:48,
tiene el nombre Nokia X2-00

C:\Python26>_

```

Figura 6.30. Prueba de búsqueda de dispositivos Bluetooth en Python 2.6.4.

```

1 # rfcomm-cliente.py
2 # Envío de mensaje del cliente CASA-LAPTOP
3
4 import bluetooth
5
6 # Direccion del WM BLUETOOTH
7 bd_addr = "00:12:f3:0f:40:0f"
8
9 # Conexion al servicio SPP, puerto 1
10 port = 1
11
12 # abriendo socket tipo RFCOMM
13 sock=bluetooth.BluetoothSocket( bluetooth.RFCOMM )
14 sock.connect((bd_addr, port))
15
16 # Enviando el mensaje a traves del socket recién creado
17 sock.send("HOLA WM BLUETOOTH, SALUDOS DE \"CASA-LAPTOP\"!")
18
19 # Cerrando conexion y socket
20 sock.close()

```

Figura 6.31. Código en Python para la búsqueda de dispositivos Bluetooth.

6.3. Conclusiones

El Construccionismo es una teoría educativa desarrollada por Seymour Papert del Instituto Tecnológico de Massachussets. Esta teoría se basa en la teoría del aprendizaje de Piaget. La teoría construccionista indica que el aprendizaje es mucho mejor cuando los estudiantes son involucrados directamente en la construcción de artefactos significativos como robots, programas de cómputo, sistemas electrónicos, máquinas, etc. Sin embargo, en México el sistema educativo tradicional es utilizado en extenso. Para aumentar las habilidades y el conocimiento del estudiante, este enfoque es apoyado por dos ejes fundamentales: el profesor y los libros de consulta. Así pues, el presente trabajo de investigación ha planteado la idea de que una “nueva” forma de educación no necesita confiar ciegamente en una técnica didáctica o un cierto tipo de infraestructura.

En lugar de esto, los nuevos esquemas de educación requieren de la revisión de cada proceso, para ser congruente con el entorno y construir así la sociedad que el mundo demanda. En este contexto, las herramientas de Software y Hardware, no desplazan el papel tan importante de las técnicas didácticas que los profesores desarrollan en el proceso de aprendizaje. Al contra-

rio, estas tecnologías son herramientas complementarias en la educación, que facilitan el proceso de aprendizaje en la sociedad actual del conocimiento en que vivimos. Así, la pregunta que pudo ser planteada al inicio de esta tesis podría ser: ¿será posible implementar una nueva forma de educación en las carreras de Ingeniería que sea apoyada por la teoría construccionista?

El presente trabajo de tesis ha presentado un enfoque alternativo para el aprendizaje en el diseño de sistemas empotrados bajo la teoría del construccionismo. La aproximación de la investigación se enfoca en los contenidos técnicos/pedagógicos, los cuales fueron implementados en la Plataforma Iron, como el componente principal para obtener un aprendizaje significativo. Sin embargo, los experimentos realizados demostraron poca consideración sobre los problemas relacionados a cómo el proceso cognitivo es alcanzado en la mente de los estudiantes, o cómo cada individuo almacena el conocimiento adquirido. De acuerdo con los resultados obtenidos, es posible concluir que las tecnologías emergentes tales como la Plataforma Iron, proporcionan un entorno único que beneficia directamente a los profesores y a los estudiantes, tal y como se presentó. De hecho, en la actualidad dentro del entorno académico de la UTM no existen herramientas de este tipo que permitan enseñar la teoría y práctica de los sistemas de comunicaciones inalámbricas.

Sin embargo, la etapa de experimentación permitió identificar que sería conveniente introducir tecnologías similares durante la primera mitad de las carreras de Ingeniería, puesto que se observó cierta apatía de los estudiantes de semestres avanzados al inicio del curso. El diseño y construcción de sistemas electrónicos, independientemente de cuál sea su aplicación, es un proceso delicado y que debe ser enseñado de forma sistemática. El enfoque construccionista produjo mejoras considerables en el proceso de enseñanza basado únicamente en clases teóricas, pero fue necesario demostrar su efectividad a los estudiantes a través de la réplica y modificación de los sistemas IronBlue. Así pues, después de 1 año de trabajar con estudiantes de diferentes niveles cognitivos, el uso de la Plataforma Iron proporciona la siguiente información específica:

- La introducción del construccionismo en los cursos relacionados con la Ingeniería en Electrónica fue una estrategia excelente para mejorar la adquisición de conocimiento y habilidades. Se observó que es importante implicar a estudiantes en entornos de desarrollo con problemas reales y situar los proyectos en un contexto que sea conocido por ellos. Sin embargo, es siempre importante tener la dirección oportuna y eficaz durante el uso de la Plataforma Iron, dado que estas replicas proporcionan lecciones importantes sobre cómo los estudiantes tienen que trabajar en proyectos verdaderos. Se encontró que esta retroalimentación es una gran motivación para los estudiantes y promueve el interés para terminar correctamente los proyectos asignados.
- Como parte de esta investigación se intentó hacer un estudio lo más objetivo posible y se analizaron los datos de un total de 15 estudiantes y 12 proyectos dentro de dos cursos académicos. En este momento se tiene en mente seguir trabajando con este enfoque con los estudiantes actuales de la Maestría en Electrónica con especialidad en Sistemas Inteligentes Aplicados de la UTM y los alumnos de Licenciatura en Informática de la UNISTMO.
- La incorporación de la Plataforma Iron en el trabajo por equipos durante el aprendizaje de los protocolos de comunicación inalámbrica representa una ventaja importante para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje dado que los estudiantes pueden realizar las actividades y generar su propio conocimiento a partir de la experimentación y la discusión.

Bibliografía

- [Abu-aisheh, 2010] Abu-aisheh, A., Farahmand, F. “Implementation of a Remote Analog and Digital Communications Laboratory for e-Learning” *Proc. of the 10th International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp. 360-361.. July, 2010.
- [Alejos, 2010] Alejos, A., Sanchez, M., Fernandez, J., Cuiñas, I. “Platform for teaching of location technologies based on Zigbee Wireless Sensor Networks by learning-through-play theory” *Proc. of the 2010 IEEE Education Engineering*, pp. 1299-1305. April, 2010.
- [Arias, 2010] Arias, M., Rodríguez, A., Lamar, D., Linera, F., Hernando, M. “Influence of PBL practical classes on microcontroller-based digital systems learning” *Proc. of the 2010 IEEE Education Engineering*, pp. 1777-1782. April, 2010.
- [Athanasiou, 2000] Athanasiou, S., Kouvaras, I., Poulakis, I., Kokorogiannis, A., Tsanakas, P., Koziris, N. “Talos: an interactive Web-enabled educational environment on mobile robot technology” *Proc. of the 10th Mediterranean Electrotechnical Conference, 2000*, pp. 387-390. August, 2000.
- [Augustyniak, 2010] Augustyniak, P. “Body area sensor network with automatically selected transmission gateways” *Proc. of the 2nd International Conference on Information Technology (ICIT), 2010*, pp. 223-226. June, 2010.
- [Avery, 2010] Avery, Z., Castillo, M., Huiping G., Jiang, G., Warter-Perez, N., Won, D., Dong, J. “Implementing Collaborative Project-Based Learning using the Tablet PC to enhance student learning in engineering and computer science courses” *Proc. of the 2010 IEEE Frontiers in Education Conference*, pp. F1E-1-F1E-7. October, 2010.
- [Baker, 2005] Baker, N. “ZigBee and Bluetooth strengths and weaknesses for industrial applications” *International Journal of Computing & Control Engineering*, 16(2): 20-25. April, 2005.
- [Basiri, 2010] Basiri, K., Iahad, N. “Initiation Steps towards Generating Integrated Computer Supported Environment for Project-Based Learning” *Proc. of the International Conference on Future Computer and Communication, 2009*, pp. 306-309. April, 2009.
- [Bhavikatti, 2009] Bhavikatti, A., Kulkarni, S. “VHDL Modeling of Wi-Fi MAC Layer for Transmitter” *Proc. of the IEEE International Advance Computing Conference, 2009*, pp. 1-5. March, 2009.

- [Beom-Ju, 2010] Beom-Ju, S., Kwang-Won, L., Sun-Ho, C., Joo-Yeon, K., Woo, J. Hyung, S. "Indoor WiFi positioning system for Android-based smartphone" *Proc. of the International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2010*, pp. 319-320. November, 2010.
- [Beutel, 2006] Beute, J. "Fast-prototyping Using the BTnode Platform" *Proc. of the Design, Automation and Test in Europe, 2006*, pp. 1-6. March, 2006.
- [BGR,2007] BGR. "WLAN Interference to IEEE802.15.4" Zensys, Technical Report, 2007.
- [Blikstein, 2006] Blikstein, P., Wilensky, U. "The Missing Link: A Case Study of Sensing-and-Modeling Toolkits for Constructionist Scientific Investigation" *Proc. of the Sixth International Conference on Advanced Learning Technologies, 2006*, pp. 980-982. July, 2006.
- [BLS, 2011] Bureau of Labor Statistics. *Computer Network, Systems, and Database Administrators*. U.S. Department of Labor, Occupational Outlook Handbook, 2010-11 Edition. 2011.
- [Blumenfeld, 1991] Blumenfeld, P., Soloway, E., Marx, R., Krajcik, J., Guzdial, M., Palinscar, A. "Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning". *Educational Psychologist*, 26 (3&4): 369-398, 1991.
- [Booth, 2001] Booth, S. Learning Computer Science and Engineering in Context. *Computer Science Education*, 11(3), 169-188, 2001.
- [Bozu, 2009] Bozu, Z., Muñoz, F. "Creando comunidades de práctica y conocimiento en la Universidad: una experiencia de trabajo entre las universidades de lengua catalana" *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento*, 6(1): 1-10, 2009.
- [Brown, 1991] Brown, J., Collins, A., Duguid, P., "Situated Cognition and the Culture of Learning" *Educational Researcher*, 18(1): 32-42. February, 1989.
- [Cano, 2010] Cano, E. "Diseño y desarrollo del sistema de entrenamiento DreamBlue utilizando la metodología SPIES" Tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Diciembre, 2010.
- [Carranza-Lira, 2009] Carranza-Lira, S. "Lectura crítica de informes de investigación clínica en estudiantes de pregrado" *Revista Médica del IMSS*, 47(4): 431-438. Julio, 2009.
- [Cassara, 2006] Cassara, F. "Wireless communications laboratory" *IEEE Transaction on Education*, 49(1): 132-140. February, 2006.
- [Cavallo, 2004] Cavallo, D., Blikstein, P., Sipitakiat, A., Basu, A., Camargo, A., de Deus Lopes, R., Cavallo, A. "The City That We Want: generative themes, constructionist technologies and school/social change" *Proc. of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2004*, pp. 1034- 1038. September, 2004.
- [Changjiang, 2010] Changjiang, L., Yufen, Wang., Xiaojuan, G. "The Application Research of Wireless Sensor Network Based on ZigBee" *Proc. of the Second International Conference on Multimedia and Information Technology (MMIT), 2010*, pp. 89-92. April, 2010.
- [Chang-Hong, 2010] Chang-Hong Wu; Chin-Hsien Wu; , "An Ubiquitous Data Delivery System in Hybrid Wireless Environments" *Proc. of the Second International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC), 2010*, pp. 230-234. November, 2010.
- [Chenard, 2010] Chenard, J., Zilic, Z., Prokic, M. "A Laboratory Setup and Teaching Methodology for Wireless and Mobile Embedded Systems" *IEEE Transaction on Education*, 51(3): 378-384. August, 2008.

- [Cheng, 2010] Cheng H., Chen W. "Exploration and research on teaching method of electronic technology basic course" *Proc. of the 2010 International Conference on E-Health Networking, Digital Ecosystems and Technologies*, pp. 433-435. April, 2010.
- [Chia-Tien, 2010] Chia-Tien, D., Kai, Q. "Green Computing Methodology for Next Generation Computing Scientists" *Proc. of the 34th Annual Computer Software and Applications Conference*, pp.250-251. July 2010.
- [Chin-Ming, 2009] Chin-Ming, H., Hui-Mei, C. "Constructing μ -Controller Teaching Tool with the Integration of Hardware and Software Technology" *Proc. of the International Conference on New Trends in Information and Service Science, 2009*, pp. 269-276. July, 2009.
- [Chon, 2011] Chon, J., Cha, H. "LifeMap: A Smartphone-Based Context Provider for Location-Based Services" *IEEE Pervasive Computing*, 10(2): 58-67. February, 2011.
- [Chun-Liang, 2008] Chun-Liang, H., Sheng-Yuan, Y., Wei-Bin, Wu. "Implementing Speech-Recognition Microprocessor into Intelligent Control-System of Home-Appliance" *Proc. of the Asia-Pacific Services Computing Conference, 2008*, pp. 881-885. December, 2008.
- [Chyi-Shyong, 2006] Chyi-Shyong, L., Yen-Nien, W., Juing-Huei, S., Chih C., Hung-Sheng C. "Work in Progress: A Joint Effort of Lunghwa University and Holtek Semiconductor Inc. on Improving Microcontroller Education" *Proc. of the 36th Annual Frontiers in Education Conference*, pp. 28-29. October, 2006.
- [Chyi-Shyong, 2010] Chyi-Shyong, L., Juing-Huei, S., Kuo-En, L., Jia-Hao, C., Gu-Hong, L. "A Project-Based Laboratory for Learning Embedded System Design With Industry Support" *IEEE Transactions on Education*, 53(2): 173-181. May, 2010.
- [CMMI, 2006] CMMI Product Team. *CMMI for Development (CMMI-DEV v1.2)*. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 2006.
- [Dayu, 2010] Dayu, H. "The ZigBee Wireless Sensor Network in medical care applications" *Proc. of the International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), 2010*, pp. 497-500. 24-26. August, 2010.
- [Douglas, 2006] Douglas, B. "Real Time UML Workshop for Embedded Systems (Embedded Technology)". Newnes. September, 2006.
- [Driscoll, 1994] Driscoll, M. *Psychology of Learning for Instruction*. Boston: Allyn & Bacon. 1994.
- - - - -
- - - - - Coronado, M., Abajo, B., de la Torre-Diez, I. "Adapting the Telecommunication Engineering curriculum to the EEES: A project based learning tied to several subjects" *Proc. of the 2010 IEEE Education Engineering*, pp. 1307-1313. Valladolid, Spain. April, 2010.
- [Dubinsky, 2001] Dubinsky, E., McDonald, M. "APOS: A Constructivist Theory of Learning in Undergraduate Mathematics Education Research" *The Teaching and Learning of Mathematics at University Level*, New ICMI Study Series, Springer, Volume 7, Section 3, pp. 275-282. 2001.
- [Elshenawy, 2009] Elshenawy, M., El-Darieby, M., Abdulhai, B. "Mobile service-oriented content delivery in wireless mesh networks" *Proc. of the IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, 2009*, pp. 646-652. June, 2009.
- [Fan, 2010] Fan, L., Chen, Y. "A New Application in Education: The Combination of Network Method and Traditional Model" *Proc. of the Second International Workshop on Education Technology and Computer Science*, pp. 419-422. March, 2010.

- [Farahani, 2008] Farahani, S. “*ZigBee Wireless Networks and Transceivers*”. Newnes Newton, 2008.
- [Ferro, 2005] Ferro, E., Potorti, F. “Bluetooth and Wi-Fi wireless protocols: a survey and a comparison” *IEEE Wireless Communications*, 12(1): 12- 26. February, 2005.
- [Frolik, 2006] Frolik, J., Fortney, M. “A low-cost wireless platform for first-year interdisciplinary projects” *IEEE Transactions on Education*, 49(1): 105- 112. February, 2006.
- [Förster, 2009] Förster, A., Jazayeri, M. “Teaching wireless sensor networks through testbed development” *Proc. of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems '09*. November, 2009.
- [García, 2010a] García I., Pacheco C., García, G. “A Platform of Constructivist Learning in Practice: Computer Literacy Integrated into Elementary School” *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 5(2): 15-24. June, 2010.
- [García, 2010b] I. García, A. Herrera. “Using the Software Process Improvement approach for Defining a Methodology for Embedded Systems Development using the CMMI-DEV v1.2” *Proc. of the 10th IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, pp. 233-240. June, 2010.
- [Gonçalves, 2007] Gonçalves, T., A. Espírito-Santo., F. Ribeiro., D. Gaspar. “A Scalable Hardware Environment for Embedded Systems Education” *Electrical Engineering and Applied Computing*. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2011, 90: 233-245.
- [Gratton, 2007] Gratton, D. *Developing practical wireless applications*. Elsevier: British Library Cataloguing-in-Publication Data. 2007.
- [Gupta, 2008] Gupta, G., Chew, M. “New Frontiers of Microcontroller Education: Introducing SiLabs ToolStick University Daughter Card” *Proc. of the IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous and Trustworthy Computing, 2008*, pp. 439-444. June, 2008.
- [Gupta, 2009] Gupta, G., Mukhopadhyay, S., Finnie, M. “WiFi-based control of a robotic arm with remote vision” *Proc. of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2009*, pp. 557-562. May, 2009.
- [Güzelgöz, 2010] Güzelgöz, S., Arslan, H. “A Wireless Communications Systems Laboratory Course” *IEEE Transactions on Education*, 53(4): 532-541. November, 2010.
- [Hadjerrouit, 2005] Hadjerrouit, S. “Constructivism as Guiding Philosophy for Software Engineering Education” *ACM SIGCSE Bulletin*, 37(4): 45-49, 2005.
- [Hai, 2010] Hai, W., Drey, Z., Zhiyang Y., Liu L. “Formal modeling and verification of services managements for pervasive computing environment” *Proc. of the 7th International Conference on Service Systems and Service Management*, pp. 1-6. June, 2010.
- [Hardy, 2007] Hardy, M., Denton, L., Campbell, Y. “Enhancing research capacity and developing wireless communications curriculum for students in computer science and engineering” *Proc. of the IEEE SoutheastCon*, pp. 721. March 2007.
- [Herrera, 2010] Herrera, L., Mink, B., Sukittanon, S. “Integrated personal mobile devices to wireless weather sensing network” *Proc. of the IEEE SoutheastCon 2010 (SoutheastCon)*, pp. 5-8. March, 2010.
- [Hou, 2009] Hou, B., Chang, D., Cho, M., Gerla. “*Minimizing 802.11 Interference on Zigbee Medical Sensors*” Department of Computer Science University of California, Los Angeles. Technical Report, 2009

- [Hu, 2007] Hu, F., Teredesai A. "A Pervasive Computing Curriculum for Engineering and Science Students" *IEEE Pervasive Computing*, 6(1): 88-91. January, 2007.
- [Hunn, 2010] Hunn, N. "Essentials of Short-Range Wireless". Cambridge Wireless Essentials, 2010.
- [Jackson, 2007] Jackson, S. "FREIRE RE-VIEWED". *Educational Theory*, 57(2): 199–213. 2007.
- [Jin-Shyan, 2007] Jin-Shyan, L., Yu-Wei, S., Chung-Chou, S. "A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi" *Proc. of the 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2007*, pp. 46-51. November, 2007.
- [Jin-Shyan, 2009] Jin-Shyan, L., Chun-Chieh, C., Chung-Chou, S. "Applications of Short-Range Wireless Technologies to Industrial Automation: A ZigBee Approach" *Proc. of the Fifth Advanced International Conference on Telecommunications, 2009*, pp. 15-20, 24-28 May, 2009.
- [Jinsung, 2010] Jinsung, I., Dukho, C., Kangsoo, S., Sunryang, K., Jinho, S. "Location based hybrid application using Wi-Fi zone" *Proc. of the International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2010*, pp. 321-322. November, 2010.
- [Jie, 2009] Jie, A., Gan, D., Yang Q., Wang, L., Li, Y. "Research and practice of the PBL model for data structure curriculum" *Proc. of the 4th International Conference on Computer Science & Education*, pp. 1512-1515. July, 2009.
- [Joon, 2010] Joon, H., Terada, K., Toyama, M., Kurumatani, S., Chen, E. "User Demand Prediction from Application Usage Pattern in Virtual Smartphone" *Proc. of the IEEE Second International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2010*, pp. 449-455. December, 2010.
- [Kanes, 2010] Kanes, C. *Elaborating Professionalism: Studies in Practice and Theory (Innovation and Change in Professional Education)*. Springer, 2010.
- [Kim, 2008] Kim, Y., Chang, J. "Design of a context script language for developing context-aware applications in ubiquitous intelligent environment" *Proc. of the 4th International IEEE Conference on Intelligent Systems, 2008*, pp. 23-17-23-23. September, 2008.
- [Kitto, 2010] Kitto, K. "Understanding the effectiveness of cognitive and social constructivism, elements of inductive practice, and student learning styles on selected learning outcomes in materials engineering" *Proc. of the 2010 IEEE Frontiers in Education Conference*, pp. S3G-1-S3G-6. October, 2010.
- [Kumar, 2010] Kumar, B., Singh, S., Mohan, A. "Emerging mobile communication technologies for health" *Proc. of the International Conference on Computer and Communication Technology (ICCCCT), 2010*, pp. 828-832. September, 2010.
- [Labioud, 2007] Labiod, H., Afifi, H., C. De Santis. "Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee and WIMAX". Springer, 2007.
- , J. "A project-based learning approach to teaching power electronics: Difficulties in the application of Project-Based Learning in a subject of Switching-Mode Power Supplies" *Proc. of the 2010 IEEE Education Engineering*, pp. 717-722. April, 2010.
- [Liu, 2010] Liu, Y., Bacon, J. "Innovation or Diffusion? Three Scenarios of Vocational Education Settings in ICT Practices for People with Learning Difficulties in China" *Proc. of the 4th International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology*, ACM publisher, 2010.

- [Losilla, 2011] Losilla, P., Sánchez, B., A. Alvarez. Iborra. “An educational tool for wireless sensor networks” *Computer Applications in Engineering Education*, DOI: 10.1002/cae.20439, 2011.
- [Lu, 2008a] Lu, L., Huang, Z., Hou, Y., Li, J., Wang, S. “A Safe and Fast Connecting Strategy of the Bluetooth Identification Sensors in Ambient Intelligence Environment” *Proc. of the 2008 International Symposiums on Information Processing (ISIP)*, pp. 538-542. May, 2008.
- [Lu, 2008b] Lu X., Carroll, J., Clemson, P., Rosson, M. “Support of Case-Based Authentic Learning Activities: A Collaborative Case Commenting Tool and a Collaborative Case Builder” *Proc. of the of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 1-10. January, 2008.
- [Martin, 1993] Martin, F., Resnick, M. *LEGO/Logo and electronic bricks: creating a scienceland for children*. Advanced educational technologies for mathematics and science. Springer. New York. 1993.
- [Martínez, 2010] Martínez, M., Romero, G., Marquez, J., Perez, J. “Integrating teams in multidisciplinary project based learning in Mechanical Engineering” *Proc. of the 2010 IEEE Education Engineering*, pp. 709-715. April, 2010.
- [Masselos, 2007] Voros, N., Masselos, K. “Implementation of wireless communications systems on FPGA-based platforms” *EURASIP Journal on Embedded Systems*, 2007(1): 1-9. January, 2007.
- [Matamoros, 2010] Matamoros, M., Negrete, M., Haddad, Y., Leder, R.S. “Nintendo Wii remote and Nunchuck as a wireless data subsystem for digital acquisition of analog physiologic data relevant to motor rehabilitation after stroke; part II” *Proc. of the 2010 Pan American Health Care Exchange (PAHCE)*, pp. 198-200, March, 2010.
- [Mavridis, 2009] Mavridis, N., Al Rashdi, A., Al Ketbi, M., Al Ketbi, S., Marar, A. “Exploring behaviors & collaborative mapping through Mindstorms robots: A case study in applied social constructionism at senior-project level” *Proc. of the International Conference on Innovations in Information Technology, 2009*, pp. 284-288. December, 2009.
- [Meerbaum-Salant, 2010] Meerbaum-Salant, O., O. Hazzan. “An Agile Constructionist Mentoring Methodology for Software Projects in the High School” *ACM Transactions on Computing Education*, 9(4): 1-21. January, 2010.
- [Melkonyan, 2009] Melkonyan, A., Akopian, D., Chen, C. “Work in progress - real-time remote Internet-based communication laboratory” *Proc. of the 39th IEEE Frontiers in Education Conference, 2009*, pp. 1-6. October, 2009.
- [Meng, 2010] Meng, H., Zhao, Z., Wu, H., Liu, Y. “Exploration and practice of computer courses and practice teaching model” *Proc. of the 5th International Conference on Computer Science and Education*, pp. 1642-1644. August, 2010.
- [Ming-Huei, 2010] Ming-Huei, C., Ming-Chih, H., Yi-Chuan, T., Hao-Hui, C., Tsung-Lung, L. “High-Frequency Wireless Communications System: 2.45-GHz Front-End Circuit and System Integration” *IEEE Transactions on Education*, 53 (4): 631-637. November, 2010.
- [Morrison, 2009] Morrison, K. “Educational Innovation in Thailand: a Case Study”. *International Education Journal*, 38(2): 29-55. 2009.
- [Moura, 2008] Moura, A., Carvalho, A. “Mobile Learning: Teaching and Learning with Mobile Phones and Podcasts” *Proc. of the Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp.631-633. July, 2008.

- [Negrete, 2009] Negrete, M., Matamoros, M., Olveres, J., Leder, R. "Nintendo Wii remote and Nunchuck as a wireless data subsystem for digital acquisition of analog physiologic data relevant to motor rehabilitation after stroke" *Proc. of the Pan American Health Care Exchanges, 2009*, pp. 130-131. March, 2009.
- [Nguyen, 2008] Nguyen, V., Hao, S., Szajman, J. "WiiKey: An Innovative Smartphone Based Wi-Fi Application" *Proc. of the International Multisymposiums on Computer and Computational Sciences, 2008*, pp. 91-97. October, 2008.
- [Ogata, 2008] Ogata, H., Li, G. "Design and Case Studies on Mobile and Wireless Technologies in Education", *Handbook on Information Technologies for Education and Training*. Springer, 2nd Edition. pp. 67-77. 2008.
- [Oliver, 2010] Oliver, J., Toledo, R., Valderrama, E. "A learning approach based on robotics in Computer Science and Computer Engineering" *Proc. of the 2010 IEEE Education Engineering*, pp. 1343-1347. April, 2010.
- [Papert, 1979] Papert, S., Watt, D., di Sessa, A., & Weir, S. *Final Report of the Brookline Logo Project: Parts I and II (Logo Memos Nos. 53 and 54)*. Cambridge, MA: MIT Artificial Intelligence Laboratory. 1979.
- [Papert, 1980] Papert, S. *Mindstorms - Children, Computers and Powerful Ideas*. New York: Basic Books. 1980.
- [Papert, 1986] Papert, S. *Constructionism: A New Opportunity for Science Education – A Proposal to the National Science Foundation*. Cambridge - Massachusetts: MIT Media Laboratory. 1986.
- [Papert, 1993] Papert, S. *The children's machine: Rethinking schools in the age of computer*. New York: Basic Books. 1993.
- [Papert, 1991] Papert, S. "Situating Constructionism" *Constructionism*. Edited by I. Harel and S. Papert. Norwood, NJ: Ablex Publishing. 1991.
- [Paraskakis, 2009] Paraskakis, I., Konstantinidis, A., Bouras, T., Perakis, K., Pantelopoulos, S., Hatziapostolou, T. "Towards a Pedagogical Methodology and Model for IT Industry Training: The ELEVATE Project" *Proc. of the Fourth Balkan Conference in Informatics*, pp. 195-200. September, 2009.
- [Peng, 2010] Peng, L., Tingting, H. "Design of the embedded bluetooth server for mobile terminals" *Proc. of the 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 2010*, pp. 149-152. July, 2010.
- [Piaget, 1953] Piaget, J. *The origins of intelligence in children*. New York: Basic Books. 1953.
- [PKAL, 2006] "Transforming America's Scientific and Technological Infrastructure, Recommendations for Urgent Action," *Project Kaleidoscope, PKAL Report on Reports - II*. 2006.
- [Postolache, 2009] Postolache, O., Girao, P.S., Mendes, J., Postolache, G. "Unobstrusive heart rate and respiratory rate monitor embedded on a wheelchair" *Proc. of the 3rd IEEE International Workshop on Medical Measurements and Applications, 2009*, pp. 83-88. May, 2009.
- [Powell, 2009] Powell, K., C. Kalina. "Cognitive and Social Constructivism: Developing Tools for an Effective Classroom" *ProQuest Education Journals*, 130(2): 241-250. 2009.
- [Price, 2010] Price, A., Rimington, R., Chew, M.T., Demidenko, S., "Project-Based Learning in Robotics and Electronics in Undergraduate Engineering Program Setting" *Proc. of the Fifth IEEE*

International Symposium on Electronic Design, Test and Application, pp. 188-193. January, 2010.

[Ramamurthy, 2007] Ramamurthy, H., Prabhu, B., Gadh, R., Madni, A. "Wireless Industrial Monitoring and Control Using a Smart Sensor Platform" *IEEE Sensors Journal*, 7(5): 611-618. May, 2007.

[Ranjini, 2011] Ranjini, T., Yamuna, R. "Wireless technology" *National Conference on Innovations in Emerging Technology (NCOIET), 2011*, pp. 161-164. February, 2011.

[Requena-Carrión, 2009] Requena-Carrion, J., Rodriguez-Gonzalez, A., Marques, A., Gutierrez-Perez, D. "Work in progress - implantation of a collaborative student-centered learning environment in a wireless technology course" *Proc. of the 39th IEEE Frontiers in Education Conference*, pp. 1-2. October. 2009.

[Sahandi, 2010] Sahandi, R., Yuanlong Liu. "Channel Overlap Problems of ZigBee Networks for Remote Patient Monitoring on General Hospital Wards" *Proc. of the 2010 International Conference on Communications and Mobile Computing*, pp. 259-263. April, 2010.

[Schmuller, 2001] Schmuller, J. "Aprendiendo UML en 24 Horas". Editorial Prentice Hall. Dec, 2001.

[Selvarajah, 2008] Selvarajah, K., Tully, A., Blythe, P.T. "ZigBee for Intelligent Transport System applications" *Proc. of the 39th Road Transport Information and Control - RTIC 2008 and ITS United Kingdom Members' Conference, IET*, pp. 1-7. May, 2008.

[Seung-Hwan, 2009] Seung-Hwan, L., Yong-Hwan, L. "Adaptive frequency hopping for bluetooth robust to WLAN interference" *IEEE Communications Letters*, 13(9): 628-630. September, 2009.

[Shi-xia, 2010] Shi-xia, M., Dan L., Qing-yun, R., Ming-zhu, S., Xin-fang, Y. "The study of the "incomplete" assistant teaching system based on the constructivism" *Proc. of the 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering*, pp. 235-238. April, 2010.

[Simeone, 2010] Simeone, L., Iaconesi, S. "Toys++ AR Embodied Agents as Tools to Learn by Building" *Proc. of the 2010 IEEE 10th International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp. 649-650. July, 2010.

[Simon, 2006] Simon, S., Erduran, S. and Osborne, J. "Learning to teach argumentation: Research and development in the science classroom" *International Journal of Science Education*, 28(3): 235-260, 2006.

[Sonderstrom, 2010] Sonderstrom, H. "Linguistic Aspects of Ubiquitous Computing: On "Ubiquitous" in Japanese and Korean Information Technology", *Proc. of the International Conference on Information Science and Applications*, pp. 1-7. April, 2010.

[Starsinic, 2010] Starsinic, M. "System architecture challenges in the home M2M network" *Proc. of the Long Island Systems Applications and Technology Conference (LISAT), 2010*, pp.1-7. May, 2010.

[Steffe, 1995] Steffe, L.P. and Gale J. *Constructivism in Education*. Lawrence Erlbaum Associates, 1995.

[Suk-Un, 2010] Suk-Un, Y., Murawski, R., Ekici, E., Sangjoon, P., Mir, Z. "Adaptive Channel Hopping for Interference Robust Wireless Sensor Networks" *Proc. of the 2010 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 1-5. May, 2010.

- [Suzuki, 2010] Suzuki, N., Mitani, T., Shinohara, N. “Study and development of a microwave power receiving system for ZigBee device” *Proc. of the Asia-Pacific Microwave Conference, 2010*, pp. 45-48. December, 2010.
- [Tai, 2010] Tai, D., Liang-Chu, L., Yu-Te, W., Yang-Chih, H., Jia-Ling, C. “The study of constructivism oriented web-based learning on the performance of technological college students” *Proc. of the 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*, pp. 142-146. July, 2010.
- [Tan, 2010] Tan, J., Rau, P. “Building Your Own Tangible Virtual World: A Design of an RFID-Based Tabletop Game Platform” *Proc. of the 2010 Third IEEE International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning*, pp. 151-155. April, 2010.
- [Tao, 2011] Tao, P., Xiaoyang, L. “Hybrid Wireless Communication System Using ZigBee and WiFi Technology in the Coalmine Tunnels” *Proc. of the 3rd International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2011*, pp. 340-343. January, 2011.
- [Ting, 2010] Ting, W., Jun-da, H., Chenjie, G., Jia, Z., Wei, Y. “Wireless monitoring system based on Bluetooth smart phones” *Proc. of the 2nd International Conference on Networking and Digital Society (ICNDS), 2010*, pp. 648-651. May, 2010.
- [Tseng, 2011] Tseng, T., Bryant, C., Blikstein, P. “Mechanix: An Interactive Display for Exploring Engineering Design through a Tangible Interface” *Proc. of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction*, pp. 265-266. Funchal, Portugal. January, 2011.
- [Uichin, 2010] Uichin, L., Sewook, J., Dae-Ki, C., Chang, A., Junho, C., Gerla, M. “P2P Content Distribution to Mobile Bluetooth Users” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59(1): 356-367. January, 2010.
- [Uludag, 2010] Uludag, S., McBride, B. “Work in progress — Teaching networking concepts through Bluetooth Software implementation” *Proc. of the 2010 IEEE Frontiers in Education Conference*, pp. F4F-1-F4F-2. October, 2010.
- [UNAM, 2006] Universidad Nacional Autónoma de México. *La educación superior en el siglo XXI*. México: UNAM. 2006.
- [Viniegra-Velásquez, 2006] Viniegra-Velasquez, L. *Educación y crítica. El proceso de elaboración del conocimiento*. México: Paidós Ecuador. 2006.
- [Voros, 2007] Voros, N., Masselos, K. “Prototyping of a WLAN system using C++ based architecture exploration” *Proc. of the 3rd international conference on Mobile multimedia communications MobiMedia '07*. August, 2007.
- [Vygotsky, 1978] Vygotsky, L. *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1978.
- [Wan-Ki, 2007] Wan-Ki, P., Chang-Sic, C., Jinsoo, H., Intark, H. “Design and Implementation of ZigBee based URC Applicable to Legacy Home Appliances” *Proc. of the IEEE International Symposium on Consumer Electronics, 2007*, pp. 1-6. June, 2007.
- [Wang, 2008a] Wang, Q., Liu, R., Ma, Y., Zhao, J., Feng, L., Liu, S. “Application study of mine alarm system based on ZigBee technology” *Proc. of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2008*, pp. 2537-2540. September, 2008.
- [Wang, 2008b] Wang, K., Abdulla, W., Salcic, Z., DeSouza, N., Ramkumar, S. “Multiagent control system with mobile ubiquitous platform for ambient intelligence” *Proc. of the 4th International Conference on Intelligent Environments IET, 2008*, pp. 1-7. July, 2008.

- [Wang, 2010a] Wang Y., Liu, G. "China Accounting Education Change in the Knowledge Society: The Constructivism Education" *Proc. of the Second International Workshop on Education Technology and Computer Science*, pp. 542-545. March, 2010.
- [Wang, 2010b]. Wang, X., Liu, B. "The exploration on Double-subject Interaction, Project-based Hybrid learning mode based on network environment" *Proc. of the 2nd International Conference on Networking and Digital Society*, pp. 567-570. May, 2010.
- [Wang, 2010c] Wang, Q., Zhu, X., Zhao, G. "Wireless communication educational lab construction based on Bluetooth" *Proc. of the 2010 5th International Conference on Computer Science and Education*, pp. 1574-1577. August, 2010.
- [Wheeler, 2007] Wheeler, A. "Debugging building automation applications - Building automation has been hamstrung by the lack of practical and affordable communications technologies but ZigBee makes it practical to embed wireless communications into virtually any commercial building automation product" *International Journal of Computing & Control Engineering*, 18(1): 30-33. February, 2007.
- [Wilson, 1998] Wilson, B.G. *Constructivist Learning Environments: Case Studies in Instructional Design*. Educational Technologies Publications, 1998.
- [Xia, 2010] Xia, W., Li, J., Wang, X., Zhao, J. "Application of computers in Environmental education in China" *Proc. of the 2010 2nd International Conference on Education Technology and Computer*, pp. V3-87-V3-89. June, 2010.
- [Yaqub, 2010] Yaqub, M., Gondal, I., Kamruzzaman, J. "Diversified Adaptive Frequency Rolling to Mitigate Self and Static Interferences" *Proc. of the 12th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC), 2010*, pp. 603-608. September, 2010.
- [Zabus, 2010] Zabus, J., Labrique, P., Daras, T. "A single stage converter for feeding high power leds which can be used in a project based learning of electrical circuits" *Proc. of the 2010 International Symposium on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion*, pp. 713-718. June, 2010.
- [Zhang, 2009] Zhang, Y., Shang, H., He, J., Huang, Z. "Research on Bluetooth-Based User Identity Sensing and Facial Orientation Estimation Applied to Ambient Intelligence" *Proc. of the First International Workshop on Database Technology and Applications, 2009*, pp. 132-135. April, 2009.
- [Zhang, 2010a] Zhang Z., Hao, W., Weidong, W., Buqing, W. "A smartphone based respiratory biofeedback system" *Proc. of the 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), 2010*, pp. 717-720. October, 2010.
- [Zhang, 2010b] Zhang, S., Overholt, M., Gerard, J., Striegel, A. "WiiDoRF: Decision and recording framework for educational labs centered on the Nintendo Wiimote" *Proc. of the 2010 IEEE Frontiers in Education Conference*, pp. 27-30. October, 2010.
- [Zhong, 2010] Zhong, H., Zhang, B., Cheng, Jiwei. "Implementation of Wireless Mesh Network Protocol Research Platform" *Proc. of the 2010 International Conference on Communications and Mobile Computing*, pp. 509-511. April, 2010.
- [Zhou, 2010] Zhou, B., Marshall, A., Tsung-Han, L. "Wireless Security Issues in Pervasive Computing" *Proc. of the Fourth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing (ICGEC), 2010*, pp. 509-512. December, 2010.

[Zualkernan, 2007] Zualkernan, I., Al-Ali, A., Muhsen, H., Afrasiabi, M., Babikian, S. "A Wireless Sensor-based Toolkit for Building Tangible Learning Systems" *Proc. of the Seventh IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2007*, pp. 152-156. July, 2007.

Sitios URL

[URL-1]<http://www.isuppli.com/Pages/Home.aspx> “Página electrónica del equipo *iSupply* dedicado al estudio de mercado de consumo de productos electrónicos”. Abril, 2011.

[URL-2]<http://www.isuppli.com/Mobile-and-Wireless-Communications/News/Pages/More-Than-1-Billion-Devices-to-Have-Embedded-Wireless-Networking-Capability.aspx> “Página electrónica sobre el estudio predictivo realizado por el equipo *iSupply* sobre dispositivos con circuitos integrados con capacidad inalámbrica hacia el año 2015”. Abril 2011.

[URL-3]<http://www.zigbee.org/> “Página electrónica del grupo ZigBee Alliance dedicado a la divulgación de información y desarrollo relacionada a la tecnología inalámbrica ZigBee”. Abril, 2011.

[URL-4]<http://www.pikerresearch.com/newsroom/smart-appliances-to-be-a-26-1-billion-global-market-by-2019> “Página electrónica del equipo *Piker Research* dedicado al estudio de mercado *Cleantech*”. Abril, 2011.

[URL-5]<http://www.nintendo.com/wii/console/controllers> “Página electrónica oficial del control *WiiRemote* de la firma Nintendo”. Abril, 2011.

[URL-6]<https://www.bluetooth.org/apps/content> “Página electrónica del grupo SIG dedicado a la divulgación de información y desarrollo relacionada a la tecnología inalámbrica Bluetooth”. Abril, 2011.

[URL-7]<http://www.wi-fi.org/> “Página electrónica del grupo Wi-Fi Alliance dedicado a la divulgación de información y desarrollo relacionada a la tecnología inalámbrica Wi-Fi”. Abril, 2011.

[URL-8]<http://mindstorms.lego.com/en-us/Default.aspx> “Página electrónica oficial sobre productos *LEGO Mindstorm* de la firma LEGO”. Abril, 2011.

[URL-9] <http://www.connectblue.com/nc/home/> “Página electrónica oficial de la firma *connectBlue*”. Abril, 2012.

[URL-10] http://www.bls.gov/oco/ooh_index.htm “Página electrónica oficial del departamento de estadísticas laborales de EEUU”. Abril, 2011.

[URL-11]<http://www.bls.gov/oco/ocos305.htm> “Página electrónica oficial de información predictiva de empleos relacionados a las redes de computadoras”. Abril, 2011.

[URL-12]<http://www.bls.gov/oco/ocos112.htm> “Página electrónica oficial de información predictiva de empleos relacionados a técnicos en ingeniería electrónica y eléctrica”. Abril, 2011.

- [URL-13] www.pkal.org/ “Página electrónica del Proyecto Caleidoscopio”. Abril, 2011.
- [URL-14] <http://www.nsf.gov/> “Página electrónica oficial de la Fundación Nacional de Ciencias”. Abril, 2011.
- [URL-15] <http://www.ibm.com/developerworks/downloads/r/rhapsodydeveloper/> “Página sobre la herramienta Rhapsody de IBM”. Abril, 2011.
- [URL-16] <http://www.arduino.cc/> “Página sobre la herramienta de código abierto Arduino”. Abril, 2011.
- [URL-17] <http://www.mikroe.com/> “Página electrónica oficial de la firma MikroElektronika”. Marzo, 2012.
- [URL-18] <http://www.microchip.com/> “Página electrónica oficial de la firma Microchip”. Diciembre, 2011.
- [URL-19] <http://www.pic16.com/en/index.htm> “Página electrónica oficial de la firma QLS Electronic Technology Co. Ltd.”. Octubre, 2011.
- [URL-20] <http://www.avrvi.com/> “Página electrónica oficial de la firma AVRVI”. Noviembre, 2011.
- [URL-21] <https://www.digilentinc.com/index.cfm> “Página electrónica oficial de la firma DIGILENT”. Junio, 2011.
- [URL-22] <http://www.ghielectronics.com/catalog/product/297> “Página electrónica oficial de la firma GUI Electronics”. Octubre, 2011.
- [URL-23] <http://www.ti.com/ww/mx/index.html> “Página electrónica oficial de la firma Texas Instruments”. Abril, 2011.
- [URL-24] <http://code.google.com/p/pybluez> “Página electrónica PyBluez para crear aplicaciones Bluetooth sobre el entorno de programación orientado a objetos Python.
- [URL-25] <http://www.ic-prog.com> “Página electrónica del programador libre distribución IC-PROG.

Acrónimos

A2DP (*Advanced Audio Distribution Profile, Perfil para la Distribución Avanzada de Audio*)
ACK (*Acknowledge, Acuse de Recibo*)
ACL (*Asynchronous Link, Enlaces Asíncronos*)
ADC (*Analog to Digital Converter, Convertidor Analógico a Digital*)
AES (*Advanced Encryption Standard, Estándar Avanzado de Encriptación*)
AFH (*Adaptative Frequency Hopping, Saltos Adaptativos de Frecuencia*)
AM_ADDR (*Active Member Address, Dirección de Miembros Activos*)
AP (*Access Point, Punto de Acceso*)
API (*Application Program Interface, Interfaz de Programación de Aplicación Específica*)
APL (*Application Layer, Capa de Aplicación*)
ARQ (*Automatic Repeat Request, Solicitud Automática de Repetición*)
ASIC (*Application Specific Integrated Circuit, Circuito Integrado de Aplicación Específica*)
AT (*Attention, Atención*)
AVDTP (*Audio Video Data Transport Protocol, Protocolo para el Transporte de Audio y Video*)
BAP (*Bluetooth Accessibility Properties, Propiedades de Accesibilidad Bluetooth*)
BB_PDU (*Baseband Packet Data Unit, Unidad de Paquetes de Datos de Banda Base*)
BCM (*Bluetooth Connection Management, Gestión de la Conexión Bluetooth*)
BD_ADDR (*Bluetooth Device Address, Dirección del Dispositivo Bluetooth*)
BDTM (*Bluetooth Data Transfer Management, Gestión de Transferencia de Datos Bluetooth*)
BER (*Bit Error Rate, Tasa de Error de Bits*)
BGP (*Bluetooth General Properties, Propiedades Generales Bluetooth*)
BLS (*Bureau of Labor Statistics, Oficina de Estadísticas Laborales*)
BNEP (*Bluetooth Network Encapsulation Protocol, Protocolo de Encapsulamiento Bluetooth*)
BSM (*Bluetooth Security Management, Gestión de la Seguridad Bluetooth*)
BSN (*Beacon Sequence Number, Número de Secuencia Beacon*)
BSS (*Basic Service Set, Conjunto Básico de Servicios*)

CCA (*Clear Channel Assessment, Evaluación de Canal Despejado*)
CAN (*Controller Area Network, Red de Control de Área*)
CCK (*Complementary Code Keying, Codificación de Código Complementario*)
CISC (*Complex Instruction Set Command, Conjunto de Instrucciones Complejas*)
CMMI (*Capability Maturity Model Integration, Integración de Modelos de Madurez de Capacidades*)
CPLD (*Complex Programmable Logic Device, Dispositivo Lógico Programable Complejo*)
CPU (*Central Processing Unit, Unidad Central de Proceso*)
CRC (*Cyclic redundant Check, Verificación de Redundancia Cíclica*)
CDMA (*Code-Division Multiple-Access, Acceso Múltiple por División de Código*)
CS (*Carrier Sense, Detección de Portadora*)
CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones*)
DAC (*Digital to Analog Converter, Convertidor Digital a Analógico*)
DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol, Protocolo de Configuración Dinámica del Anfitrión*)
DLL (*Data Link Layer, Capa de Enlace de Datos*)
DNS (*Dynamic Host Service, Servicio Dinámico de Anfitrión*)
DS (*Distribution System/Device Destiny, Sistema de Distribución*)
DSP (*Digital Signal Processing, Procesamiento Digital de Señales*)
DSRC (*Dedicated Short Range Communication, Comunicación Dedicada de Corto Alcance*)
DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum, Secuenciación Directa de Ensanchado de Espectro*)
DUN (*Dial-Up Networking, Red Auricular*)
E/S (*I/O, Entradas/Salidas*)
eSCO (*Synchronous Links Extended, Enlaces Síncronos Extendidos*)
ED (*Energy Detection, Detección de Energía*)
EDR (*Enhanced Data Rate, Velocidad de Transferencia de datos Mejorada*)
ERP (*Extended Rate PHY, Velocidad Extendida para la capa PHY*)
ESS (*Extended Service Set, Conjunto de Servicios Extendidos*)
FCC (*Federal Communications Commission, Comisión Federal de Comunicaciones*)
FCS (*Frame Check Sequence, Verificador de Secuencia de Trama*)
FFD (*Full-Function Device, Dispositivo de Función Completa*)
FHS (*Frequency-Hopping Synchronisation, Salto de Frecuencia Sincronizado*)
FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum, Espectro Expandido por Saltos de Frecuencias*)
FSM (*Frequency Selection Module, Módulo Seleccionador de Frecuencias*)
FTP (*File Transfer Profile, Perfil de Transporte de Archivos*)
HEC (*Header Error Check, Cabecera de Verificación de Errores*)
HCI (*Host Controlador Interface, Interfaz del Controlador del Huésped*)
HID (*Human Interface Device Profile, Perfil para Dispositivos de Interfaz Humana*)

HDR (*Auxiliary Security Header, Cabecera de Seguridad Auxiliar*)
HDP (*Health Device Profile, Perfil para Dispositivos de Salud*)
HR-WPAN (*High Rate Wireless Personal Area Network, Red de Área Personal de Alto Rendimiento*)
HomeRF (*Home Radio Frequency, Radio Frecuencia de Hogar*)
HiperLAN (*High Performance Radio LAN, Frecuencia de Radio de Alto Rendimiento*)
Hz (*Hertz, Hertz*)
I2C (*Inter-Integrated Circuit, Circuito Integrado Interno*)
IAC (*Inquiry Access Code, Código de Acceso al Sondeo*)
IBSS (*Independent Base Service Set, Conjunto de Servicios Base Independiente*)
ICSP (*In-Circuit Serial Programming, Programación Serial en Circuito*)
IDC (*Insulation Displacement Connector, Conector de Desplazamiento de Aislamiento*)
IDE (*Integrated Development Environment, Entorno de Desarrollo Integrado*)
IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers, Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos*)
IP (*Internet Protocol, Protocolo de Internet*)
IrDA (*Infrared Data Association, Asociación de Datos por Infrarojo*)
ISM (*Industrial, Scientific and Medical, Industrial, Científico y Médico*)
ISO (*International Organization for Standardization, Organización Internacional para la Normalización*)
IT (*Information Technologies, Tecnologías de la Información*)
ITU-T (*International Telecommunications Union - Telecommunications Standardization Section, Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sección de Normas de telecomunicaciones*)
GAP (*Generic Access Profile, Perfil de Acceso Genérico*)
GAVDP (*Generic Audio Video Distribution Profile, Perfil Genérico para la Distribución de Audio y Video*)
GFSK (*Gaussian Frequency-Shift Keying, Modulación por Desplazamiento de Frecuencia Gaussiana*)
GLCD (*Graphic Liquid Crystal Display, Pantalla de Cristal Líquido para Gráficos*)
GNU (*General Public License, Licencia Pública General*)
GTS (*Garanteed Time Slot, Ranura de Tiempo Garantizada*)
L2CAP (*Logical Link Control and Adaptation Protocol, Control de Enlace Lógico y Adaptación de Protocolos*)
LAN (*Local Area Network, Red de Área Local*)
LAP (*Lower Address Part, Dirección Baja*)
LCD (*Liquid Crystal Display, Pantalla de Cristal Líquido*)
LED (*Light Emitting Diode, Diodo Emisor de Luz*)
LIN (*Local Interconnect Network, Red de Interconexión Local*)
LLC (*Logic Link Control, Control de Enlace Lógico*)
LMP (*Link Manager Protocol, Protocolo de Administración de Enlaces*)

LR-WPAN (*Low Rate Wireless Personal Area Network, Red de Área Personal de Bajo Rendimiento*)

MAC (*Medium Access Control, Control de Acceso al Medio*)

MCAP (*Multi-Channel Adaptation Protocol, Protocolo de Adaptación de Multicanales*)

MCU (*Microcontroller, Microcontrolador*)

MCUI (*Interfaz del MCU, Microcontroller Interface*)

MFR (*MAC Footer, Pie de MAC*)

MIC (*Message Integrity Code, Mensaje de Integridad del Código*)

MIMO (*Multiple-Input and Multiple-Output, Múltiples Entradas y Múltiples Salidas*)

MMI (*Man-Machine Interface, Interfaz Hombre Máquina*)

MR-WPAN (*Medium Rate Wireless Personal Area Network, Red de Área Personal de Rendimiento Medio*)

MSDU (*MAC Service Data Unit, Servicio de Unidad de Datos MAC*)

NAP (*NonSignificat Address Part, Dirección no Significativa*)

NAK (*Negative Aknowlege, Reconocimiento Negativo*)

NWK (*Network Layer, Capa de Red*)

OBEX (*Generic Object-Exchange Profile, Perfil Genérico de Intercambio de Objetos*)

OEM (*Original Equipment Manufacturer, Equipo de Manufactura Original*)

OS (*Operating System, Sistema Operativo*)

OSI (*Open Systems Interconnection, Interconexión de Sistemas Abiertos*)

PAL (*Protocol-Adaptation Layer, Protocolo de Adaptación*)

PAN (*Personal Area Network, Red de Área Personal*)

PAN-U (*Personal Network, Conexión de Red Personal*)

PBL (*Project Based Learning, Aprendizaje Basado en Proyectos*)

PC (*Personal Computer, Computadora Personal*)

PDA (*Personal Digital Assistant, Asistente Digital Personal*)

PHR (*PHY Headerm, Cabecera de la Capa Física*)

PHY (*Physical Layer, Capa Física*)

PIN (*Personal Identifie, Identificación Personal*)

PKAL (*Project Kaleidoscope, Proyecto Caleidoscopio*)

PN (*Pseudo-noise, Pseudoruido*)

POS (*Personal Operating Space, Área de Espacio Personal*)

PPDU (*PHY Protocol Data Unit, Unidad del Protocolo de Datos de la Capa Física*)

PS/2 (*Personal System/2, Sistema Personal/2*)

PSK (*Phase-Shift Keying, Modulación por Cambio de Fase*)

QoS (*Quality of Service, Calidad de Servicio*)

QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying, Modulación por Desplazamiento de Fase de cuatro símbolos*)

RAM (*Random Access Memory, Memoria de Acceso Aleatorio*)

RF (*Radio Frequency, Frecuencia de Radio*)
RFCOMM (*Radio Frequency Communication, Comunicación por Radiofrecuencia*)
RFD (*Reduced Function Device, Dispositivo de Funciones Reducidas*)
RFID (*Radio Frequency Identification, Identificación por Radiofrecuencia*)
RISC (*Reduced Instruction Set Command, Conjunto Reducido de Instrucciones*)
ROM (*Read Only Memory, Memoria de Solo Lectura*)
RSSI (*Received Signal Strength Indication, Indicador de Intensidad de la Señal Recibida*)
RTOS (*Real Time Operating System, Sistema Operativo en Tiempo Real*)
SCO (*Synchronous Links, Enlaces Síncronos*)
SDF (*Start-Of-Frame Delimiter Delimitador de Inicio de Trama*)
SDP (*Service Discovery Protocol, Protocolo de Descubrimiento de Servicio*)
SEQN (*Sequence Number, Secuencia Numérica*)
SFD (*Start Frame Delimiter, Delimitador de Empiezo de Trama*)
SHR (*Synchronization Header, Cabecera de sincronización*)
SI (*Serial Interface, Interfaz Serial*)
SIG (*Special Interest Group, Grupo de Interés Especial*)
SN (*Station Node, Nodo Estación*)
SPA (*Serial Port Adapter, Adaptador de Puerto Serie*)
SPI (*Serial Peripheral Interface, Periferico de Interfaz Serial*)
SPIES (*Software Process Improvement Methodology for Embedded Systems Development, Metodología para el Desarrollo de Sistemas Empotrados con Mejora en el Proceso Software*)
SPP (*Serial Port Profile, Perfil de Puerto Serie*)
SSID (*BSS Identifier, Identificador de la BSS*)
SSP (*Secure Simple Pairing, Seguridad por Emparejamiento Simple*)
TCP (*Transport Communication Protocol, Protocolo de Comunicación y Transporte*)
TDMA (*Time-Division Multiple Access, Acceso por División de Tiempo Múltiple*)
TIM (*Traffic Indication Map, Mapa Indicador de Tráfico*)
TSP (*Team Software Process, Proceso en Equipo para el desarrollo del Software*)
TTL (*Transistor Transistor Logic, Lógica de Transistor a Transistor*)
UAP (*Upper Address Part, Dirección Alta*)
UCD (*Use Case Diagrams, Diagramas de Caso de Uso*)
UI (*User Interface, Interfaz de Usuario*)
UML (*Unified Modeling Language, Lenguaje Unificado de Modelado*)
UNAM (*Universidad Autónoma de México*)
UHF (*Ultra-High Frequency, Frecuencia Ultra Alta*)
USB (*Universal Serial Bus, Bus de Serie Universal*)
USF (*University of South Florida, Universidad Tecnológica del Sur de Florida*)
UTM (*Universidad Tecnológica de la Mixteca*)

UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, Receptor/Transmisor Asíncrono Universal*)

UAP (*Upper Address Part, Dirección Alta*)

UWB (*Ultra Wide Band, Ultra Ancho de Banda*)

VAN (*Vehicle Area Network*)

VHDL (*VHSIC Hardware Description Language, Lenguaje de Descripción de Hardware VHSIC*)

VHSIC (*véasey High Speed Integrated Circuit, Circuito Integrado de Muy Alta Velocidad*)

VSA (*Vector Signal Analyser, Analizador Vectorial de Señales*)

WAVE (*Wireless Access for the Vehicular Environments, Acceso Inalámbrico para Entornos Vehiculares*)

WBAN (*Wireless Body Area Network, Red Inalámbrica de Área Corporal*)

WFCM (*Wi-Fi Connection Management, Gestión de la Conexión Wi-Fi*)

WFDTM (*Wi-Fi Data Transfer Management, Gestión de Transferencia de Datos Wi-Fi*)

WFGP (*Wi-Fi General Properties, Propiedades Generales Wi-Fi*)

WFNL (*Wi-Fi Properties Network Layer, Propiedades de la Capa de Red Wi-Fi*)

WFSM (*Wi-Fi Security Management, Gestión de la Seguridad Wi-Fi*)

WLAN (*Wireless Local Area Network, Red de Área Local Inalámbrica*)

WM (*Wireless Module, Módulo Inalámbrico*)

WMM (*Wi-Fi Multimedia, Wi-Fi Multimedia*)

WPA (*Wireless Protected Access, Acceso Inalámbrico Protegido*)

WPAN (*Wireless Personal Area Network, Red de Área Personal Inalámbrica*)

WSN (*Wireless Sensor Network, Red de Sensores Inalámbricos*)

ZAP (*ZigBee Accessibility Properties, Propiedades de Accesibilidad ZigBee*)

ZCM (*ZigBee Connection Management, Gestión de la Conexión ZigBee*)

ZDTM (*ZigBee Data Transfer Management, Gestión de Transferencia de Datos ZigBee*)

ZGP (*ZigBee General Properties, Propiedades Generales ZigBee*)

ZSM (*ZigBee Security Management, Gestión de la Seguridad ZigBee*)

A. Anexo publicaciones

A continuación se muestran las publicaciones derivadas del presente trabajo de investigación.

Designing and Implementing a Constructionist Approach for Improving the Teaching–Learning Process in the Embedded Systems and Wireless Communications Areas

I. A. GARCIA,¹ E. M. CANO²

¹*Languages and Information System and Software Engineering Department, Technical University of Madrid, Madrid, Spain*

²*Postgraduate Department, Technological University of the Mixtec Region, Oaxaca, Mexico*

Received 30 May 2011; accepted 10 August 2011

ABSTRACT: Nowadays, there has been a real change in the traditional (Mexican) methodology for learning and teaching; the teaching of electronic sciences needs to identify the real necessities of students to avoid deficiencies in static classrooms. The benefits of the constructionist theory as a learning paradigm are widely recognized, because they support significant learning environments where students are actively related in implementing their own public artifacts; passing through passive to active learning states. Thus, the constructionist theory stresses the need to understand the student's thinking and to encourage them to reflect on their models as a means to improve them. This article aims to show the results derived from developing a constructionist platform for embedded systems and wireless communications education, using a dedicated methodology based on the constructionist theory. © 2011 Wiley Periodicals, Inc. *Comput Appl Eng Educ*; View this article online at wileyonlinelibrary.com/journal/cae; DOI 10.1002/cae.20574

Keywords: constructionist approaches; engineering education; electronic sciences

INTRODUCTION

During the first decade of 21st century, popularity of portable devices equipped with one or more wireless technologies has increased (e.g., Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, etc.). In addition, the advent of new paradigms, such as Ubiquitous Computing, has generated the need to reformulate the educative strategies of traditional teaching methods, used for the training of specialists in Communications and Computer Networks, Information

Technologies, and Embedded Systems areas. Different universities around the world have been incorporating educative strategies based on learning psychology theories in their curricula, providing in this way, a different way of learning where students can fortify theoretical concepts through constructing and developing artifacts (prototypes, documentation, papers, etc.) [1–3].

In Mexico, the traditional technical education promotes rivalry and individualism among students, contributing in this way to obstruct any innovation of educative strategies; due to the fact that it still uses traditional methods completely based on reading, in which students are steered toward elaborating a summary of a literature review with minimum comments, and not focused on the form or on the context. This situation creates

Correspondence to: I. A. Garcia (ivan@mixteco.utm.mx).

© 2011 Wiley Periodicals, Inc.

Design and Development of a BlueBee Gateway for Bluetooth and ZigBee Wireless Protocols

Cano, E. & Garcia, I.

Technological University of the Mixtec Region, Mexico
{ie.edgarcano@gmail.com; ivan@mixteco.utm.mx}

Abstract

The ubiquity of the new generation of mobile devices with embedded wireless capability is one of the most rapidly growing technologies in the Short-Range Wireless Networks applications. In this paper, we propose to combine the functions and capabilities of the maturity wireless protocol such as Bluetooth with the simplified data processing of ZigBee technologies, to design a powerful gateway tool for embedded systems: the BlueBee system. In addition, our approach describes the design based on UML diagrams. Also included, is the construction of the BlueBee node, providing a flexible platform with the possibility of expanding the functionality.

1. Introduction

In the last decade, various types of devices have adopted wireless technologies such as, Wi-Fi, Bluetooth, and ZigBee, and have opened up new opportunities for new and innovative means of embedded systems delivery. Many companies have an interest in both Bluetooth and ZigBee technologies, because of their advantages such as, low-cost implementation and low energy consumption, which offer different advantages in the delivery of embedded systems. Consequently, these capabilities make these protocols a suitable wireless standard to build a platform with different levels of scalability, flexibility and easy to use adaptation on several projects [1]. The implementation of an embedded gateway system using wireless technologies, will in time, exploit the recent advances in WPAN, ubiquitous computing, wireless sensors and others areas.

The interoperability between Short-Range Wireless Protocols on embedded systems devices, can give to available to the user several functions that maximize the level of usability.

Nevertheless, nowadays there exist constraints about the choice of wireless protocol and driven by the complexity, interoperability, transmission rate, and other circumstances.

Bluetooth is clearly planned for short-range cable replacement for medium bandwidth device to device connections, and its most likely uses are ad hoc communication between mobile computing devices and fixed equipment. In other hand, the ZigBee specification defines cost-effective and energy-efficient mesh network.

Based on the extensive increase of applications on smart phones with Bluetooth, and in the projection of the development of smart appliance devices with ZigBee technology in the future [2], we propose combining both capabilities of these protocols for diagnostics, data transfer or configuration systems. ZigBee and Bluetooth are different by design and are optimized for different applications. In this way, the real industrial wireless networks will inevitably be hybrids, including ZigBee and Bluetooth, in complementary roles that suit the characteristics of each. The key to success will be in deploying the right wireless technologies for the requirements of the application and avoiding the temptation of trying to make one technology meet all needs.

This paper shows the design and implementation of a wireless embedded system gateway tool based on Bluetooth and ZigBee protocols. The rest of this paper is organized as follows: Section II introduces a brief review of Short-Range Wireless Networks and presents the basics of Bluetooth and ZigBee wireless protocols. Section III presents the related work based on Short-Range Wireless Networks. Section IV describes the design and implementation of the BlueBee system. In Section V, we present the results of the BlueBee system with a one basic application on a ZigBee temperature sensor node. Finally, Section VI concludes this paper.

B. Anexo dispositivos connectBlue

Los productos inalámbricos requieren de capacidades de operación robusta para evitar conflictos con radios trabajando en la misma frecuencia de operación. Los productos presentados en este Anexo cumplen con capacidades altas de compatibilidad y robustez, debido a que los dispositivos de la firma connectBlue están orientados al sector industrial y ofrecen gran robustez en entornos electromecánicos que presentan fuertes entornos electromagnéticos.

B.1. Adaptador de puerto serie RS232 OEM III

La interfaz eléctrica de los productos OEM consiste de un área de 2x30mm. En este sentido para facilitar la interacción con estos productos, la firma connectBlue ha desarrollado el Adaptador de puerto serie RS232 OEM III, el cual consiste en:

- Un conector específico para acoplar de forma rápida y sencilla los dispositivos Bluetooth de la firma connectBlue.
- Un conector DB9 macho para comunicar los productos de la firma connectBlue serie OEM, con dispositivos externos vía RS232.
- Un conector de alimentación de 2.1 mm a USB.
- Un interruptor de restauración.
- Un interruptor de funciones.
- Un LED RGB para indicar los diferentes estados de operación de los dispositivos OEM connectBlue serie OEM.

La Tabla B.1 muestra la asignación de terminales del conector DB9 del adaptador de RS232 OEM III.

Tabla B.1. Terminales del conector DB9 del módulo adaptador de RS232 OEM III [URL-9].

Terminal	Nombre	Descripción
1	NC	No conectado (<i>Not Connected</i>)
2	RD	Recepción de datos (<i>Receive Data</i>)
3	TD	Transmisión de datos (<i>Transmit Data</i>)
4	DTR	Terminal de datos lista (<i>Data Terminal Ready</i>)

5	GND	Tierra física (<i>Ground</i>)
6	DSR	Conjunto de datos listo (<i>Data Set Ready</i>)
7	RTS	Petición de envío (<i>Request To Send</i>)
8	CTS	Listo para enviar (<i>Clear To Send</i>)
9	NC	No conectado (<i>Not Conenected</i>)

El adaptador de puerto serie OEM III se ensambla junto con los productos OEM vía el conector específico de la firma connectBlue y son ajustados con dos tornillos tipo M2 (véase Figura B.1). La Tabla B.2 contiene las características mecánicas del adaptador RS232 OEM III.

Tabla B.2. Características mecánicas del adaptador RS232 OEMII [URL-9].

Parámetro	Valor	Unidad
Dimensión del módulo	75x58	mm
Área de ensamble	2x30	mm
Agujero de montaje	65x57	mm
Altura	8.9	mm

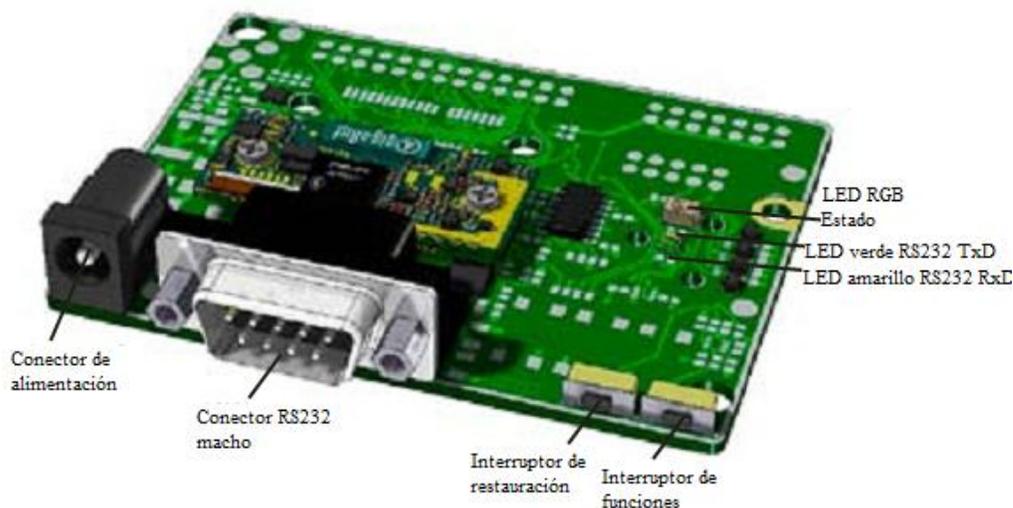


Figura B.1. Componentes del adaptador de puerto serie [URL-9].

B.2. OEM OZS311

El módulo OZS311i cuenta con una antena interna con un alcance de 300 m a 400 m (+3 dbm) para proporcionar conectividad a través del protocolo IEEE 802.15.4; además, el módulo OZS311i ha sido desarrollado mecánicamente y eléctricamente para ser compatible en el mismo rango de aplicaciones con los módulos Bluetooth y Wi-Fi de la misma firma connectBlue. Para comunicarse con el OZS311, existen tres formas disponibles para su conexión (véase Figura B.2):

- A través de las terminales de soldadura (J6) por debajo del PCB.
- Por medio del área de 2x20 terminales (J2 y J3).
- A través del conector opcional JST de seis terminales (J8).

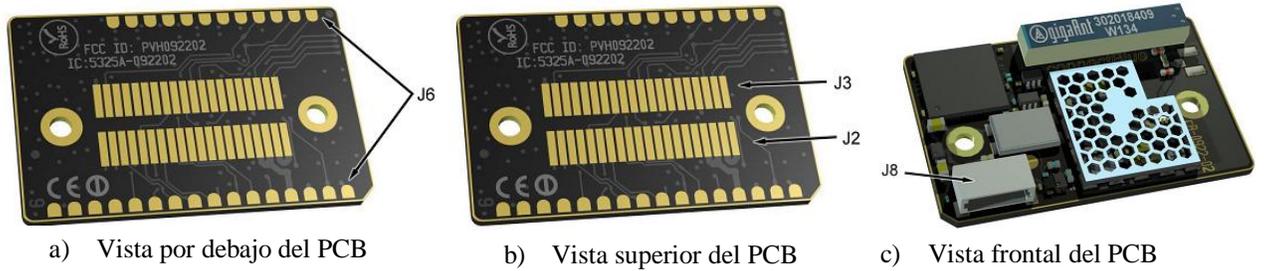


Figura B.2. Conectores J2, J3, J6 y J8 del OBS433 [URL-9].

La Figura B.3 muestra el diagrama de bloques del dispositivo OZS311.

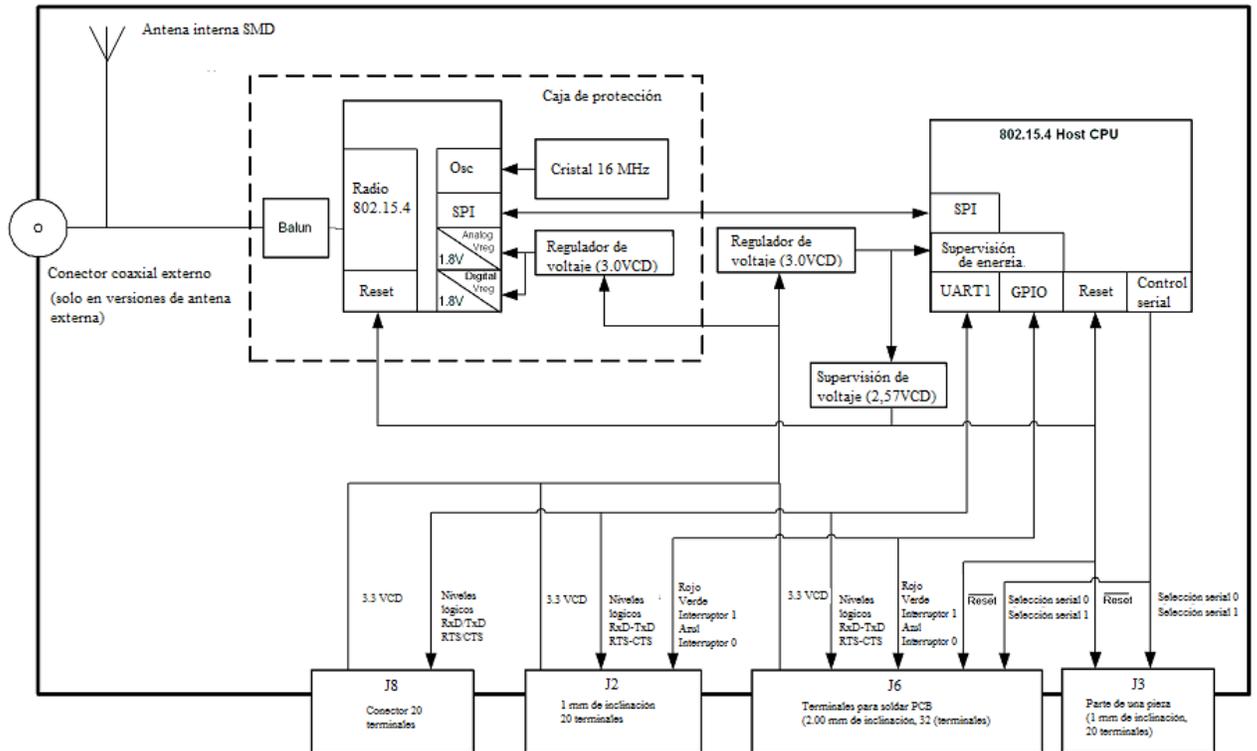


Figura B.3. Diagrama a bloques del dispositivo OZW311 [URL-9].

La Tabla B.3 lista las características del dispositivo OZS311.

Tabla B.3. Características del dispositivo OEM OZS311 [URL-9].

Componente	Descripción	Características
OEM OZS311	Tarjeta de la firma connectBlue que permite el acceso y manejo de la tecnología inalámbrica IEEE 802.15.4/ZigBee.	<ul style="list-style-type: none"> - Soporte de órdenes AT connectBlue estándares. - Posibilidad de empostrar aplicaciones ZigBee sobre el módulo. - Tipo de radio aprobado por Europa, EUA y Canadá. - Rango de temperatura industrial -40° a +85°C. - Antena interna a 2.4 GHz. - Compatibilidad de operación con los productos OBS433 y OWS451.

B.3. OEM OBS433

El módulo OBS433i provee de conectividad mediante Bluetooth. El módulo cuenta con una antena interna con un alcance de hasta 800 m (+17 dbm, Clase 1) y es compatible con la versión del núcleo Bluetooth 2.1+ EDR; asimismo el módulo OBS433i está calificado para adaptarse a la especificación Bluetooth 3.0; además, el módulo OBS433i soporta conexiones con dispositivos compatibles con el sistema operativo Google Android. Para comunicarse con el OBS433, existen cuatro formas disponibles para su conexión (véase Figura B.4):

- A través de las terminales de soldadura (J6) por debajo del PCB.
- Por medio del área de 2x20 terminales (J2 y J3).
- A través del conector opcional JST de seis terminales (J8).
- Por medio del área de terminales 2x10 en la parte frontal del PCB (J1).

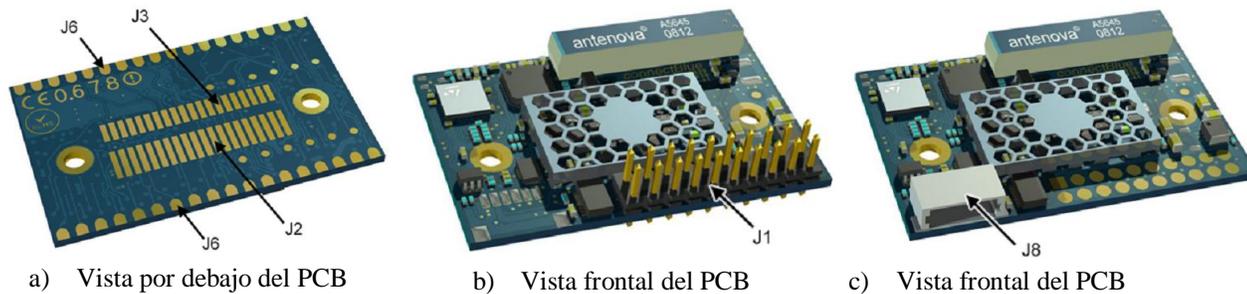


Figura B.4. Conectores J2, J3, J6, J1 y J8 del OBS433 [URL-9].

La Tabla B.4 lista las características del dispositivo OBS433.

Tabla B.4. Características del dispositivo OEM OBS433 [URL-9].

Componente	Descripción	Características
OEM OBS433	Tarjeta de la firma connectBlue que permite el acceso y manejo de la tecnología inalámbrica Bluetooth 2.1.	<ul style="list-style-type: none"> - Pila Bluetooth empotrada (SPP, DUN, PAN). - Rango extremo de 1200m. - Producto calificado para Bluetooth 2.1 +EDR (posible migración a Bluetooth 3.0). - Alta transferencia de datos con baja latencia. - Fácil configuración a través de órdenes AT. - Enlace de hasta 7 canales simultáneos. - Antena interna a 2.4 GHz. - Diseño para uso industrial. - Tipo de radio aprobado por Europa, EUA y Canadá. - Aprobación de la norma EMC. - Rango de temperatura industrial -40° a +85°C. - Compatibilidad de operación con los productos connectBlue OZS331 y OWS451

La Figura B.5 muestra el diagrama a bloques del OEM OBS433.

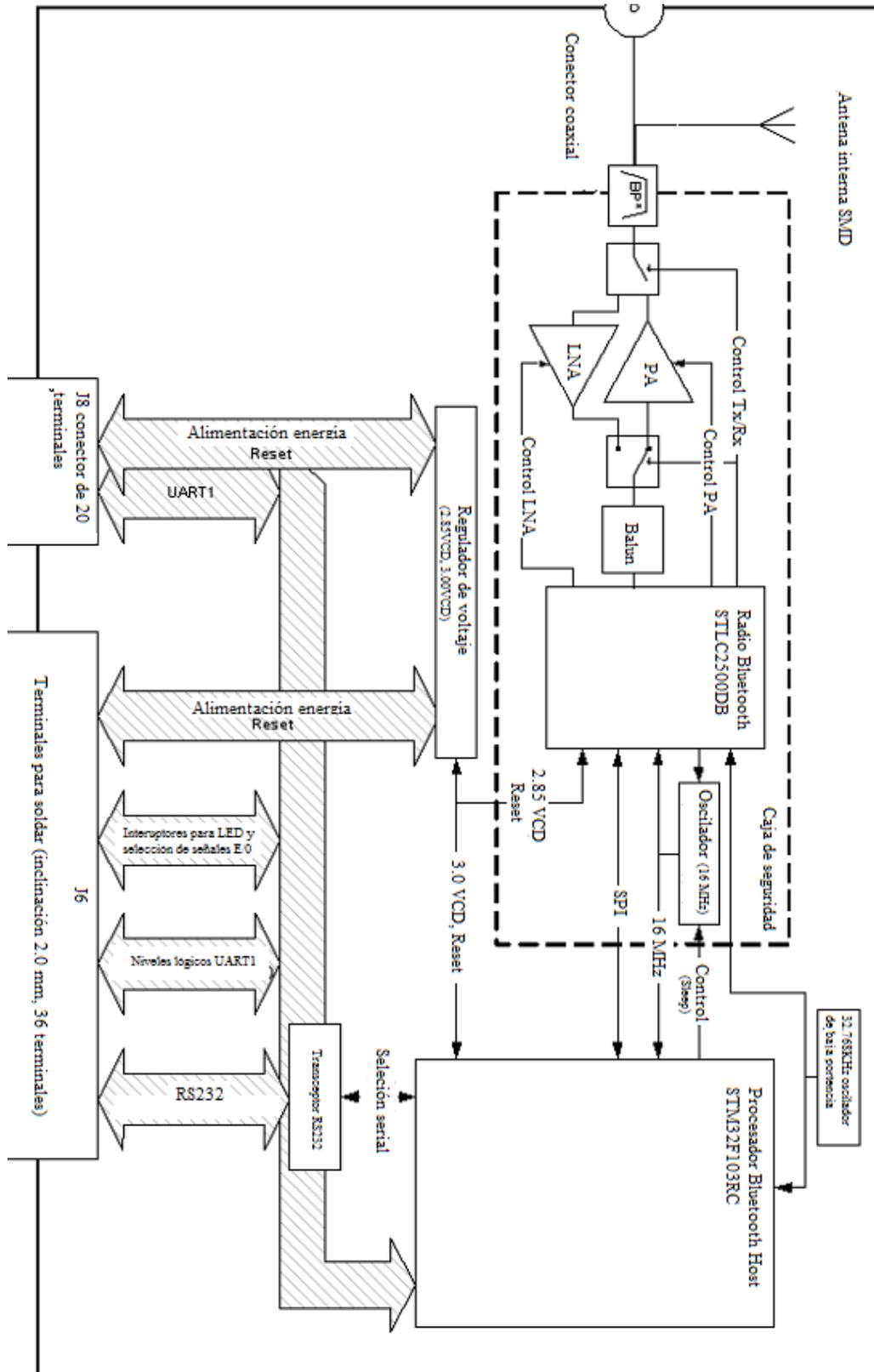


Figura B.5. Diagrama de bloques del dispositivo OBS433 [URL-9].

La Tabla B.5 lista las características principales de la antena del dispositivo OBS433.

Tabla B.5. Características de la antena [URL-9].

Nombre	Valor
Nombre antena	Mica 2.4 GHz
Fabricante	Antenova
Ganancia	+2.5dBi
Tamaño de la antena	20.5x3.6x3.3 mm

B.4. OEM OWS451

El módulo OWS451i provee de conectividad inalámbrica IEEE 802.11a/b/g/n. El módulo OWS451i cuenta con una antena interna de alcance de hasta 300 m (+17dbm), soporta las bandas de operación a 2.4 GHz y 5 GHz, cuenta con la pila completa TCP/IP empotrada. Para comunicarse con el OWS451, existen cuatro formas disponibles para su conexión (véase Figura B.0.6):

- A través de las terminales de soldadura (J6) por debajo del PCB.
- Por medio del área de 2x20 terminales (J2 y J3).
- A través del conector opcional JST de seis terminales (J8).

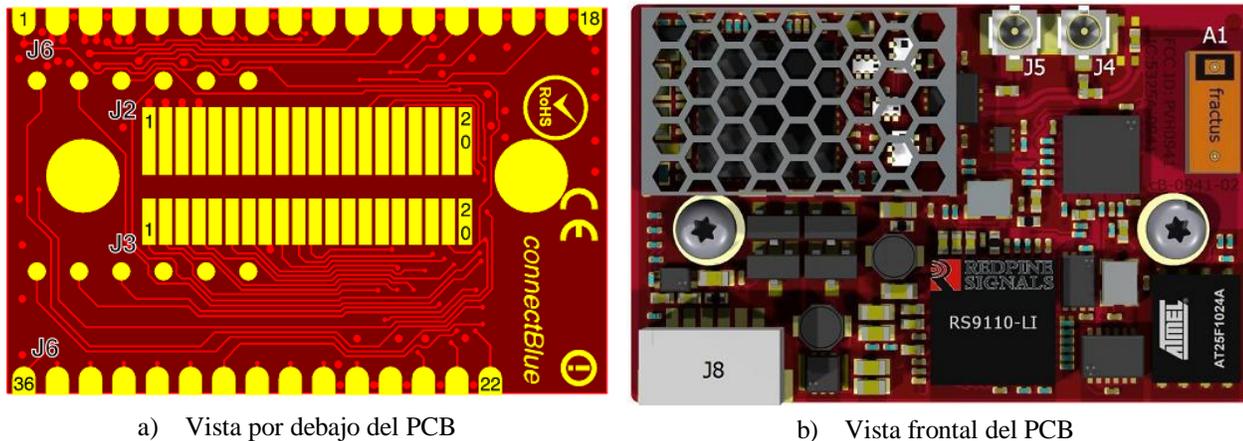


Figura B.0.6. Conectores J2, J3, J6 y J8 del OWS451 [URL-9].

La Tabla B.0.6 lista las características del dispositivo OWS451.

Tabla B.0.6. Características del dispositivo OEM OWS451 [URL-9].

Componente	Descripción	Características
OEM OWS451	Tarjeta de la firma Connectblue que permite el acceso y manejo de la tecnología inalámbrica IEEE 802.11 a/b/g/n.	<ul style="list-style-type: none"> - Soporte de la tecnología inalámbrica IEEE 802.11a/b/g/n. - Radio de banda dual a 2.4 GHz y 5 GHz. - Soporte de los modos de seguridad WPA2-PSK, WPA-PSK, PEAP, LEAP y WEP64/128. - Modos de operación de infraestructura y ad-hoc. - Enlace de hasta 7 canales simultáneos.

- Aprobación de la norma EMC.
- Rango de temperatura industrial -40° a +85°C.
- Compatibilidad de operación con los productos connectblue OBS433 y OZS311

La Tabla B.7 lista las características principales de la antena del dispositivo OWS451.

Tabla B.7. Características de la antena [URL-9].

Nombre	Valor
Nombre antena	FR05-S1-NO-1-004
Fabricante	Fractus
Eficiencia	22% @ 2.4GHz
	39% @ 5GHz
Ganancia	0 dBi @ 2.4GHz
	3 dBi @ 5GHz
Tamaño de la antena	7 x 3 x 2 mm

La Figura B.7 muestra el diagrama a bloques del OEM OWS451.

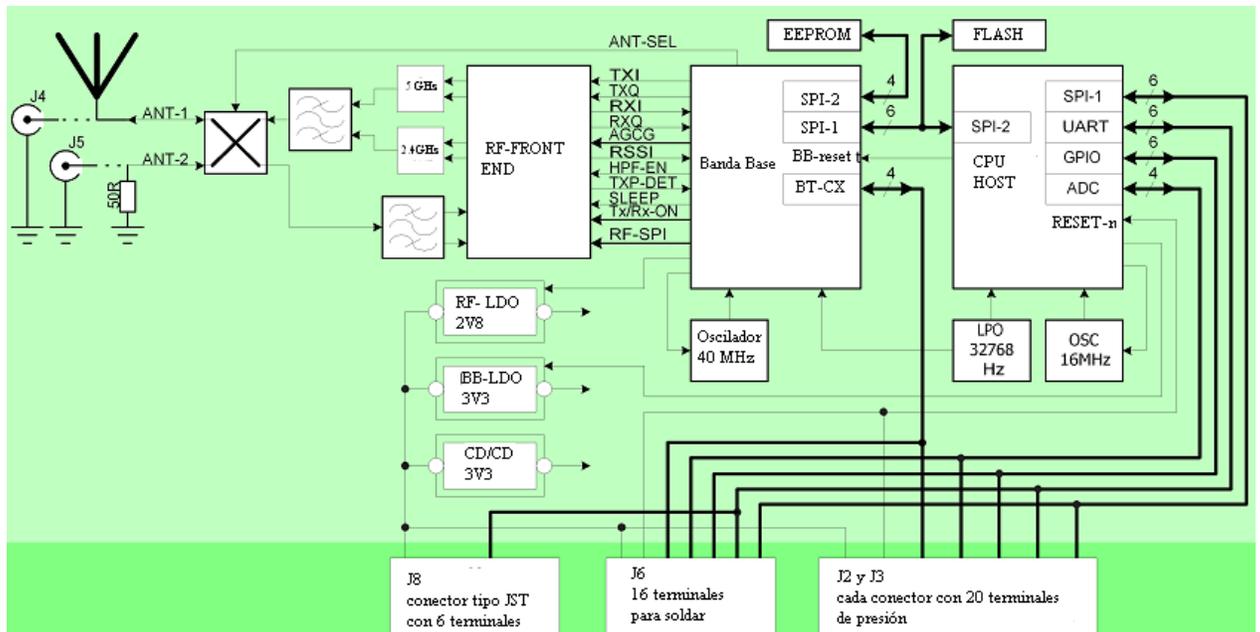


Figura B.7. Diagrama de bloques del dispositivo OWS451 [URL-9]

C. Anexo prácticas auxiliares IronBlue

A continuación se presenta un conjunto de prácticas básicas a realizarse con el conjunto de herramientas IronBlue.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“PRACTICA 1 - PROPIEDADES GENERALES Y
DE ACCESIBILIDAD ZIGBEE”

ING. EDGAR MANUEL CANO CRUZ
DR. IVAN GARCÍA PACHECO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. JUNIO DE 2012

Introducción

La especificación ZigBee define un conjunto de normas para proporcionar transmisiones de datos con bajo consumo de potencia y tiempo de duración prolongado dentro de una LR-WPAN [URL-3]. Por lo que, el estándar ZigBee define solo la Capa de Aplicación y la Capa de Seguridad del protocolo, y ha adoptado las capas PHY y MAC del estándar IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 tiene una banda de uso obligatoria a 2.4 GHz y dos bandas de usos opcionales 868/915 MHz. Las bandas de frecuencias a 868 MHz y 915 MHz presentan ventajas en cuanto a un bajo consumo de energía y mayor rango de alcance; aunque, éstas no son aceptadas a nivel global. En particular, las limitaciones de un simple canal en el continente Europeo es muy poco atractivo para los fabricantes; por lo tanto, la mayoría de los productos comerciales utilizan la opción a 2.4 GHz, donde se utiliza la técnica DSSS y con una velocidad de transferencia de datos a 250 Kbps. La velocidad de transferencia en la especificación IEEE 802.15.4 es normalmente irrelevante; ya que, los radios están optimizados para transmitir ocasionalmente tramas de bits con baja latencia. De esta forma, las aplicaciones que necesiten transmitir cantidades muy grandes de datos típicamente requieren de fuentes de alimentación de energía fijas o baterías recargables [Farahani, 2008].

Los radios DSSS operan a una frecuencia fija, y particularmente en la banda de 2.4 GHz, a través de 16 canales enumerados del 11 al 26; estos canales abarcan el rango en el espectro de 2.405 GHz hasta 2.480 GHz respectivamente, espaciados cada 5 MHz (véase Figura 1). Los canales son enumerados a partir del número 11 al 26 (de la frecuencia 2.405 GHz a 2.480 GHz, respectivamente) [Farahani, 2008].

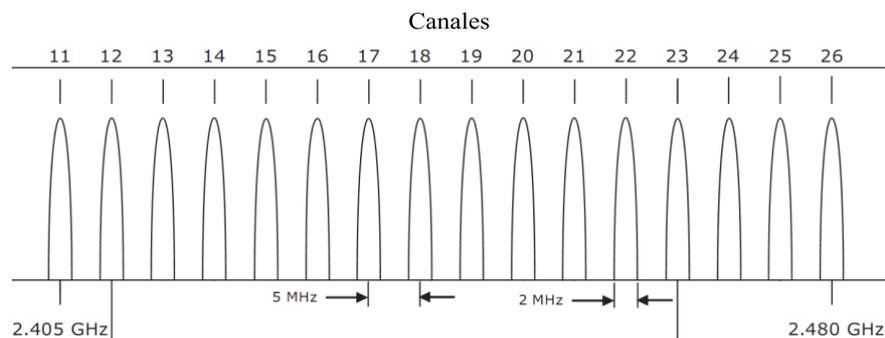


Figura 1. Uso del espectro por la especificación IEEE 802.15.4 [Hunn, 2010].

Los parámetros más comunes de la tecnología inalámbrica ZigBee son el nombre del dispositivo ZigBee y su dirección (véase Figura 2). En este sentido, todos los dispositivos ZigBee tienen un nombre amigable con el cual se identifican en una red ZigBee; además en cuanto a la dirección del dispositivo ZigBee, ésta es única e identifica a un dispositivo en particular.

Mientras que la propiedad de accesibilidad en la especificación se define como la visibilidad del dispositivo ZigBee.

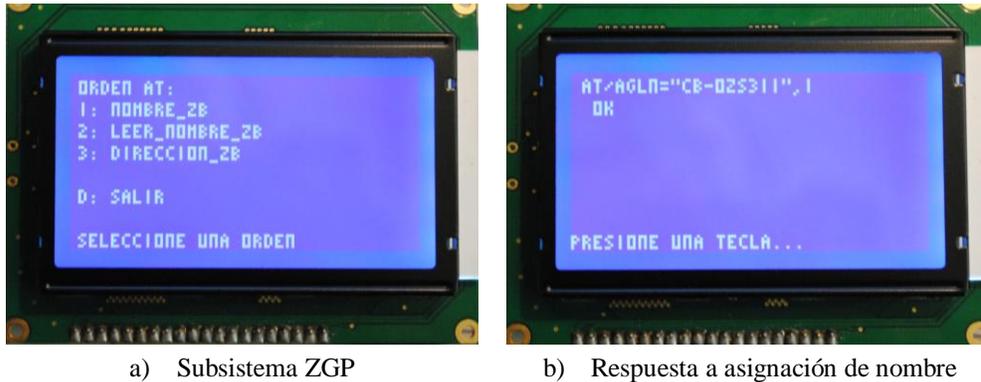


Figura 2. Propiedades generales ZigBee.

Actividades de la práctica

1. Mediante el sistema DreamBee asignarle al dispositivo WM ZigBee el nombre “WM ZIGBEE”.
2. Mediante el sistema DreamBee leer la dirección del WM ZigBee.
3. Realizar en Rhapsody los diagramas de secuencia para los pasos 1 y 2 (véase ejemplo de la Figura 3).
4. Con el sistema DreamBee habilitar el modo de visibilidad del WM ZigBee.
5. Realizar en Rhapsody el diagrama de secuencia del paso 4.

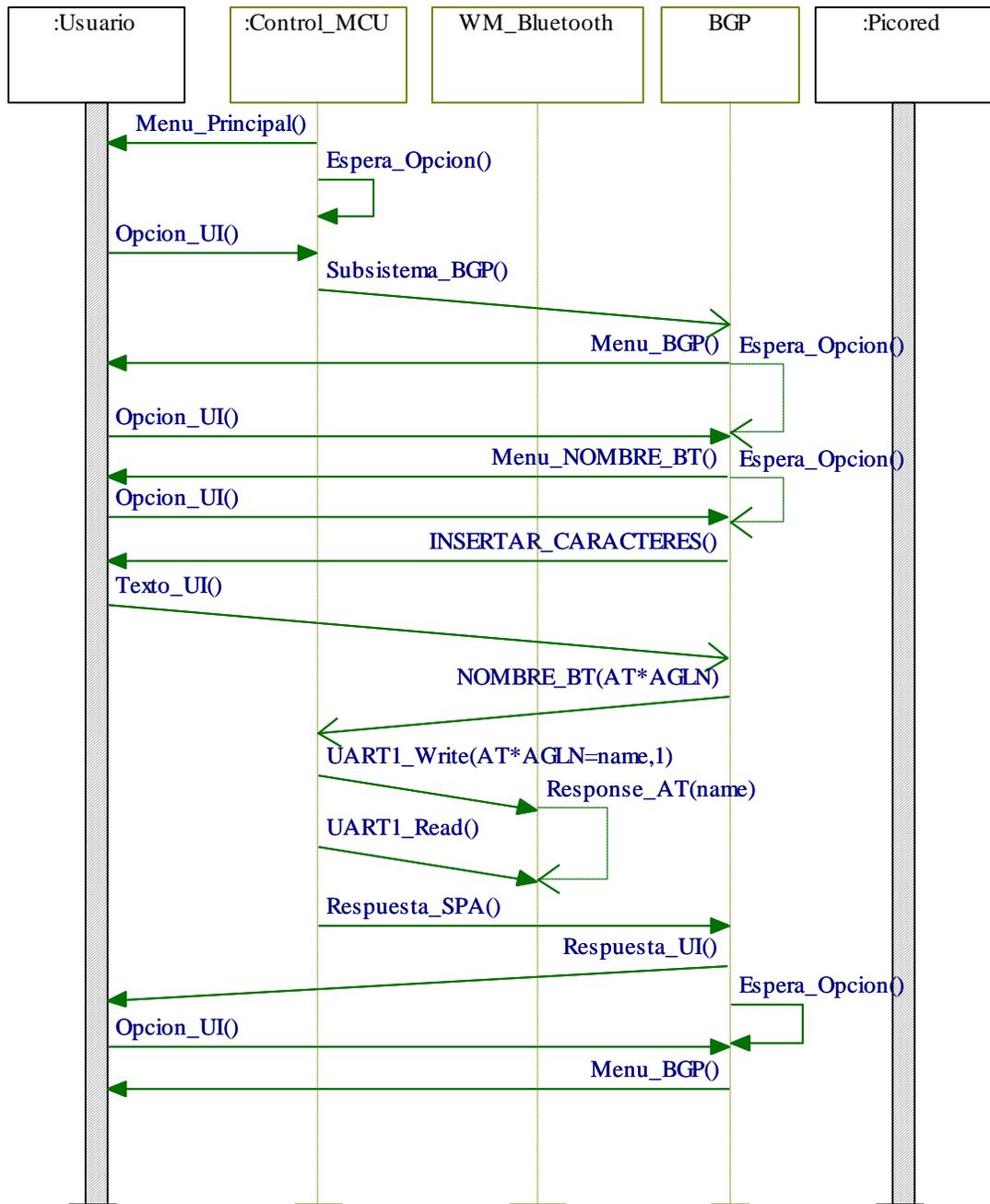


Figura 3. Asignación de nombre local al WM ZigBee.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“PRACTICA 2 – GESTIÓN DE LA CONEXIÓN Y
SEGURIDAD ZIGBEE”

ING. EDGAR MANUEL CANO CRUZ
DR. IVAN GARCÍA PACHECO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. JUNIO DE 2012

Introducción

En una red inalámbrica ZigBee, los mensajes transmitidos pueden ser recibidos fácilmente por otro dispositivo ZigBee dentro del rango de cobertura, incluyendo a dispositivos intrusos.

Para establecer medidas de seguridad entre los dispositivos ZigBee, la especificación ZigBee ha adoptado el método de encriptación de los mensajes. De esta forma, los dispositivos ZigBee utilizan un algoritmo de encriptación de mensajes conocida para el usuario como clave de seguridad.

Con la medida de seguridad ZigBee, solo los dispositivo ZigBee en comunicación conocen y pueden descifrar el mensaje original (proceso conocido como encriptación de los datos). El protocolo IEEE 802.15.4/ZigBee soporta el uso del Estándar Avanzado de Encriptación (AES, *Advanced Encryption Standard*) para encriptar los mensajes enviados entre dispositivos [URL-3]. En este contexto, el dispositivo WM ZigBee está basado en la autenticación durante el establecimiento de la conexión a través del método de encriptación AES128 (véase Figura 1).

De acuerdo a la especificación ZigBee [URL-3], un dispositivo puede encontrarse en dos estados de seguridad: seguridad habilitada (autenticación y encriptación empleadas) y seguridad deshabilitada.



a) Subsistema ZSM



b) Clave secreta ZigBee"

Figura 1. Configuración del WM ZigBee con el sistema DreamBee.

Actividades de la práctica

1. Mediante el sistema DreamBee habilitar el modo de seguridad ZigBee.
2. Mediante el sistema DreamBee establecer la clave de seguridad “OZS311” al WM ZigBee.
3. Realizar los diagramas de secuencia correspondientes a los pasos 1 y 2 (véase ejemplo de la Figura 2).

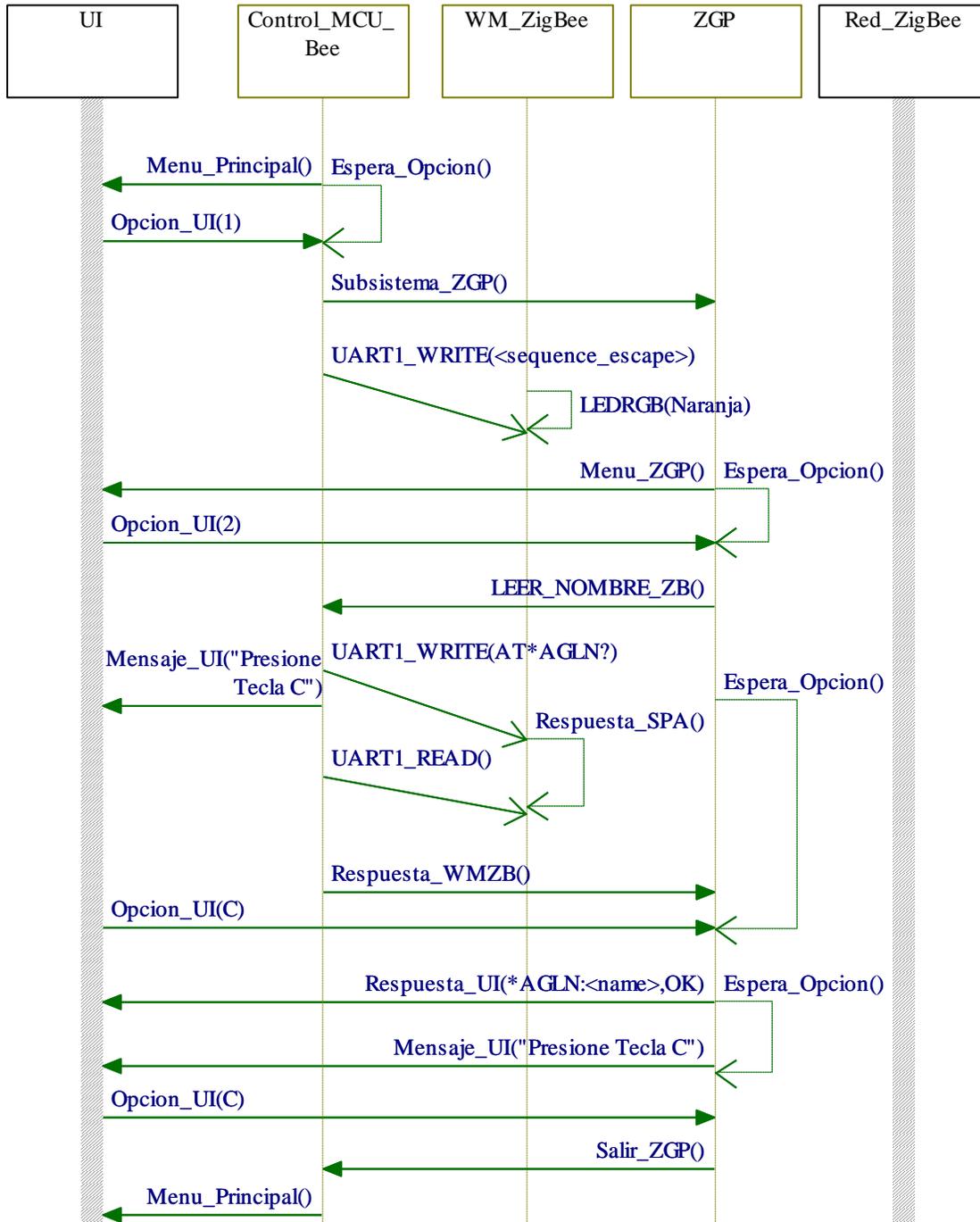


Figura 2. Lectura del nombre local del WM ZigBee.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“PRACTICA 3 – ENLACE Y PRUEBA DE MENSAJE
EN ZIGBEE”

ING. EDGAR MANUEL CANO CRUZ
DR. IVAN GARCÍA PACHECO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. JUNIO DE 2012

Introducción

Para establecer un enlace mediante el protocolo inalámbrico ZigBee, primero se debe seleccionar uno de los dieciséis canales disponibles que será empleado para la transferencia de datos. A continuación, si el modo de seguridad ha sido habilitado (autenticación AES128 y clave secreta), éste debe estar presente en los dispositivos a conectarse.

Una vez establecidos los dos puntos anteriores, se puede iniciar el establecimiento de la conexión ZigBee mediante una solicitud de enlace ZigBee. Ya establecido el enlace entre los dispositivos, existe el parámetro denominado Indicador de la Fuerza de la Señal Recibida (RSSI, *Received Signal Strength Indication*), parámetro ampliamente utilizado en la localización y medición de distancia entre dispositivos ZigBee.

Actividades de la práctica

1. Mediante el sistema DreamBee asignarle el nombre local a dos dispositivos WM ZigBee con los nombres “WMZB1” y “WMZB2”.
2. Por medio del sistema DreamBee habilitar el modo de seguridad ZigBee a cada uno de los WM ZigBee.
3. Mediante el sistema DreamBee establecer la clave de seguridad “ENLACE” a los dos dispositivos WM ZigBee.
4. Empleando el sistema DreamBee seleccionar el canal de operación 16 en cada uno de los dispositivos WM ZigBee.
5. A través del sistema DreamBee realizar una búsqueda de dispositivos ZigBee con el WM ZigBee de nombre “WMZB1”.
6. Mediante el sistema DreamBee, realizar una petición de conexión del WMZB1 al WMB2 y establecer el enlace entre los dispositivos.
7. Mediante el sistema DreamBee adquirir el RSSI entre los WM ZigBee.
8. Comprobar el funcionamiento correcto del enlace mediante el envío del mensaje “HOLA ZIGBEE” del WMZB1 al WMZB2. Para ello puede conectar el WMZB2 a una PC mediante un conector RS232 y abrir una terminal monitor para la visualización del mensaje (véase Figura 1).
9. Realizar en Rhapsody los diagrama de secuencia para los pasos del 4 al 8.



Figura 1. Envío del mensaje “HOLA ZIGBEE” a terminal monitor ejecutada en una PC.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“PRACTICA 4 - PROPIEDADES GENERALES Y
DE ACCESIBILIDAD BLUETOOTH”

ING. EDGAR MANUEL CANO CRUZ
DR. IVAN GARCÍA PACHECO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. JUNIO DE 2012

Introducción

En la tecnología inalámbrica Bluetooth los parámetros más comunes están relacionados a las propiedades generales y de acceso entre dispositivos Bluetooth.

Las propiedades generales en Bluetooth regularmente están formadas por las siguientes características (véase Figura 1):

- **Nombre local Bluetooth:** Todos los dispositivos Bluetooth tienen un nombre amigable con el cual se identifican en una piconet.
- **Clase del dispositivo:** El parámetro clase del dispositivo (COD) es utilizado para indicar las capacidades del dispositivo local a otros dispositivos Bluetooth.
- **Dirección Bluetooth:** La dirección Bluetooth identifica de forma única a un dispositivo Bluetooth.

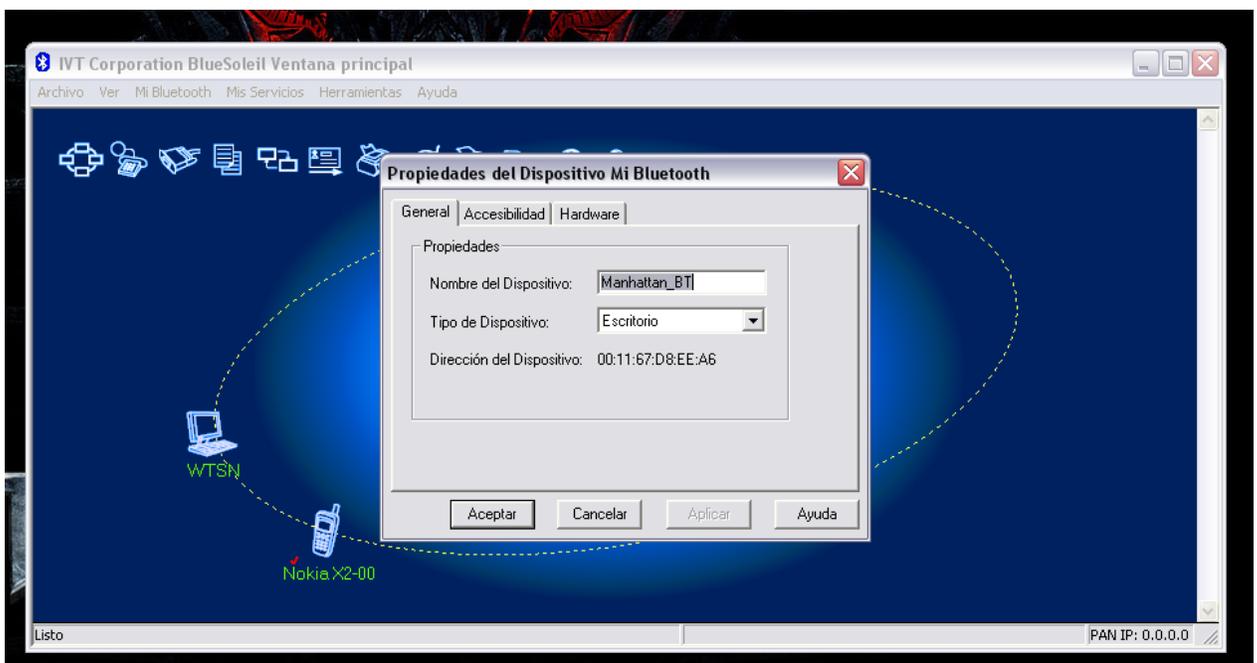


Figura 1. Propiedades generales Bluetooth.

Mientras que las propiedades de accesibilidad se definen por los siguientes modos de operación para los dispositivos Bluetooth (véase Figura 2):

- **Modo Conectable:** El modo conectable establece si un dispositivo Bluetooth puede o no realizar un vínculo con otro dispositivo Bluetooth, independientemente si éstos se encuentran descubribles.
- **Modo Descubrible:** El modo descubrible determina si un dispositivo Bluetooth puede ser visto o no por otros dispositivos Bluetooth cuando realizan un procedimiento de búsqueda.
- **Modo de Emparejamiento:** El modo de emparejamiento es utilizado para autenticar a los dispositivos Bluetooth y crear una clave de enlace permanente.

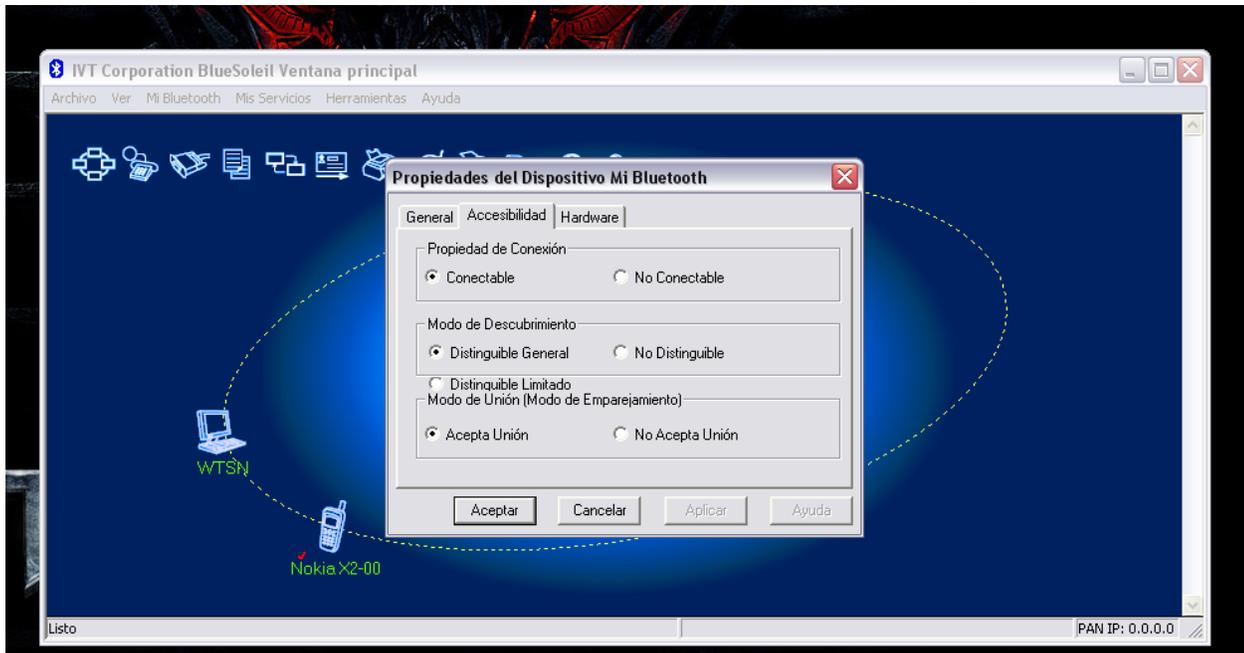


Figura 2. Propiedades de Accesibilidad Bluetooth.

Actividades de la práctica

1. Mediante el sistema DreamBlue asignarle al dispositivo WM Bluetooth el nombre amigable “BLUETOOTH DEVICE”.
2. Con otro dispositivo Bluetooth (p. ej., PC, *SmartPhone*, Tableta, etc.) realizar una búsqueda de dispositivos Bluetooth y mostrar el nombre y el tipo de identificador COD del WM Bluetooth.
3. Mediante el sistema DreamBlue asignarle al WM Bluetooth los siguientes identificadores COD: Escritorio, Auricular y Teléfono. Repetir el paso 2 para cada COD.
4. Realizar en Rhapsody los diagramas de secuencia para los pasos 2 y 3 (véase ejemplo de la Figura 3).
 - Escenario – Asignación de COD al WM Bluetooth.
 - Escenario – Obtención de la dirección Bluetooth del WM Bluetooth.
5. Con la el sistema DreamBlue habilitar los modos configurable, descubrible y emparejable del WM Bluetooth.
6. Realizar en Rhapsody los diagramas de secuencia correspondientes al paso 5 (véase ejemplo de la Figura 4).
 - Escenario - Activación de modo descubrible.
 - Escenario – Activación de modo de emparejamiento.

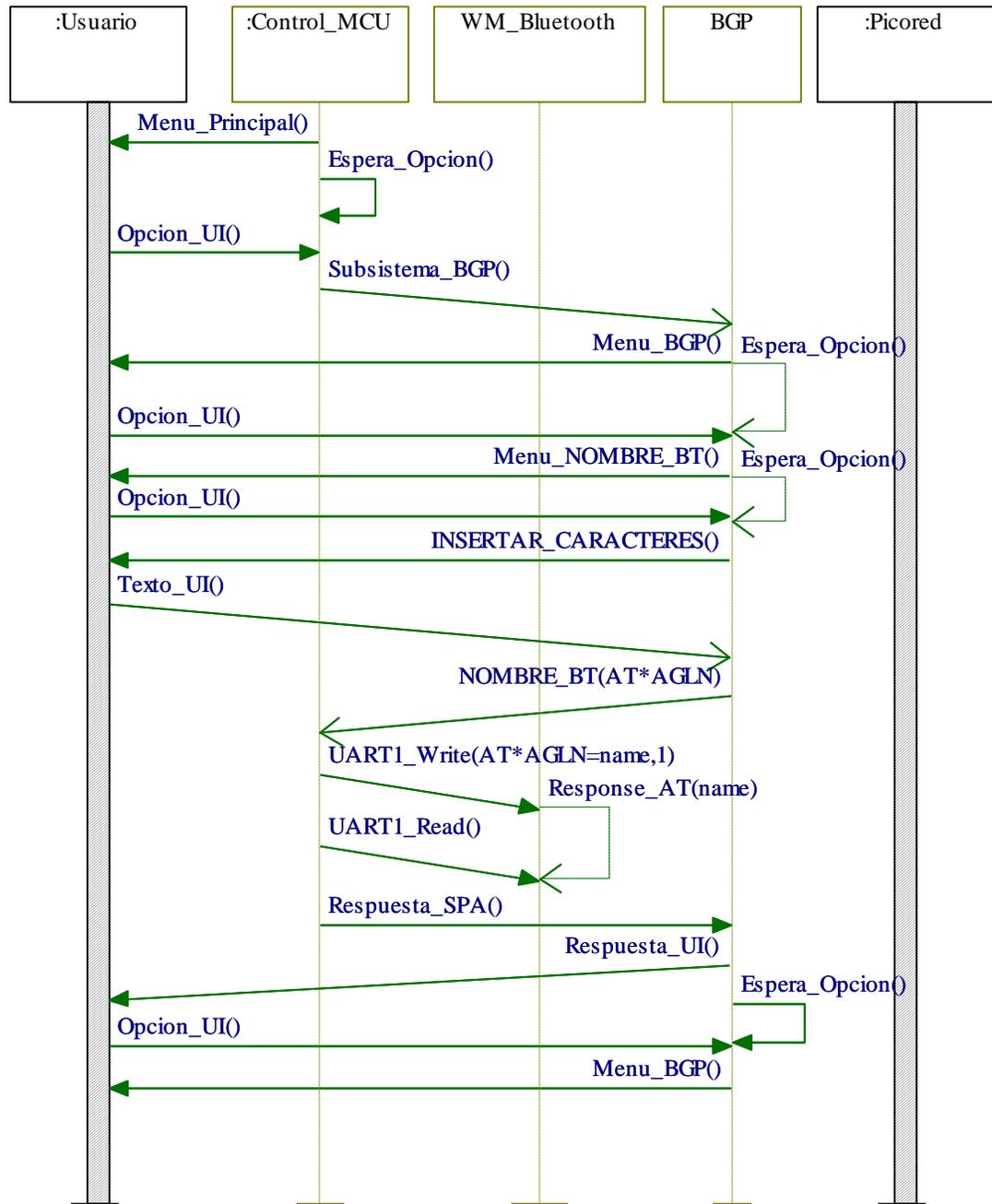


Figura 3. Asignación de nombre local.

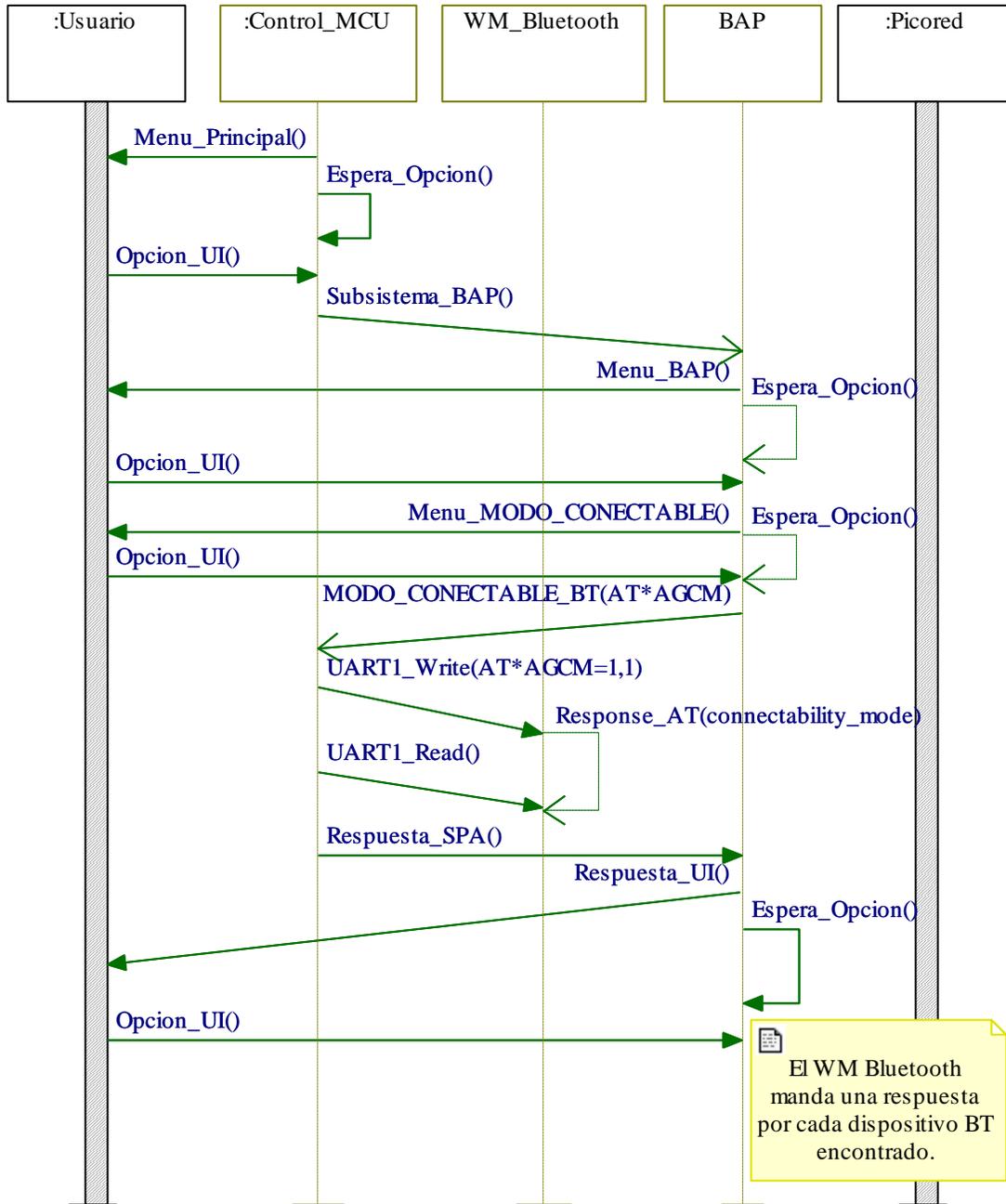


Figura 4. Activación de modo conectable



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“PRACTICA 5 – GESTIÓN DE LA CONEXIÓN Y
SEGURIDAD BLUETOOTH”

ING. EDGAR MANUEL CANO CRUZ
DR. IVAN GARCÍA PACHECO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. JUNIO DE 2012

Introducción

La realización de la conexión en Bluetooth es más compleja que las conexiones en tecnologías con radios fijos. En la especificación Bluetooth los dispositivos involucrados en la conexión se encuentran saltando a través de los 79 canales con su propia secuencia, y los saltos pueden no estar sincronizados unos con otros. Por lo tanto, para encontrarse los dispositivos Bluetooth necesitan utilizar el proceso de sondeo de dispositivos. Si un dispositivo Bluetooth se enciende por primera vez, este no sabe nada acerca de la secuencia de saltos de los otros dispositivos en el rango de cobertura. Así, cada equipo elige una secuencia aleatoria de saltos establecida a partir de los 48 bits de su propia dirección Bluetooth (BD_ADDR).

Para establecer una conexión entre dos dispositivos Bluetooth, éstos primero deben encontrarse. Un dispositivo Bluetooth debe previamente estar configurado para responder a las solicitudes de sondeo de búsqueda²⁷ (véase Figura 1).

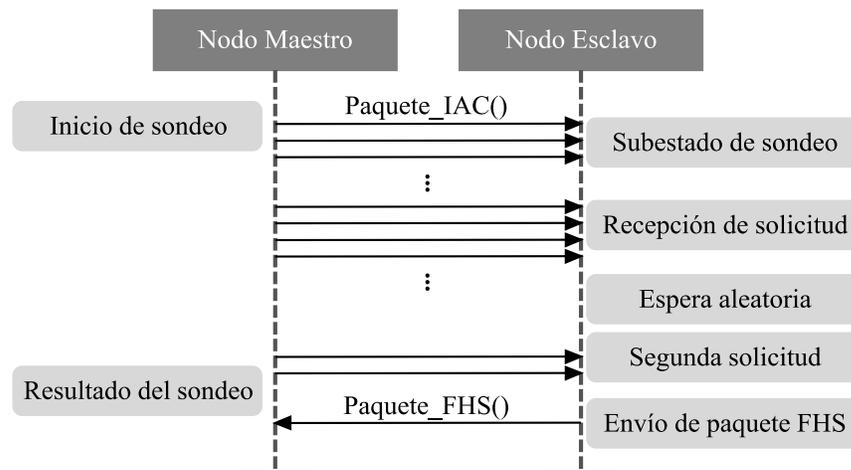


Figura 1. Proceso de sondeo.

Para establecer la seguridad entre dispositivos Bluetooth se utiliza el procedimiento de autenticación, que es gestionada por el protocolo LMP de Bluetooth. La autenticación se basa en un esquema de intercambio de mensaje/respuesta.

²⁷ Es común que los dispositivos Bluetooth se configuren de manera que permanezcan en modo visible por un tiempo limitado, proporcionando un grado mayor de seguridad.

Durante este proceso de autenticación, un dispositivo Bluetooth verificador envía un número aleatorio al dispositivo pretendiente que desea conectarse a uno de sus servicios con el mensaje LM_PDU LMP_au_rand. El dispositivo pretendiente utiliza el número aleatorio y regresa una respuesta que contiene su BD_ADDR y una clave mediante el mensaje LM_PDU LMP_sres. Si el resultado es el esperado por el dispositivo verificador, se autentifica al dispositivo pretendiente. En caso contrario, termina la conexión enviando el mensaje LM_PDU LMP_detach.

Una vez terminada la autenticación comienza el proceso de emparejamiento. Este proceso genera la clave de inicialización utilizada para establecer los enlaces. Si no existe una clave de enlace para un determinado dispositivo Bluetooth, el dispositivo verificador envía un mensaje LM_PDU LMP_au_rand y el pretendiente responde con un mensaje LM_PDU LMP_not_accepted, indicando que la clave está perdida o no ha sido creada.

Cuando dos dispositivos no tienen una clave de enlace común, entonces ésta se debe generar con base en el Número de Identificación Personal (PIN, *Personal Identification Number*) junto con un número aleatorio. Cuando el dispositivo verificador envía el mensaje LMP LMP_in_rand al dispositivo pretendiente, se genera una clave de 128 bits de longitud conocido como código PIN, el cual se utiliza por los dispositivos para todas las conexiones subsecuentes.

El proceso de establecimiento del enlace o vinculación entre dos dispositivos Bluetooth es un proceso dirigido donde un dispositivo (nodo Maestro) envía una solicitud de invitación a un dispositivo Bluetooth conocido, ambos dispositivos deben iniciar una secuencia de saltos especiales para establecer el enlace. Una vez que los dispositivos se encuentran enlazados, inician un intercambio de paquetes entre los Protocolos de Administración de Enlaces (LMP, *Link Manager Protocol*) de ambos dispositivos Bluetooth y establecen parámetros de seguridad, de la conexión serial y parámetros del servicio solicitado (véase Figura 2).

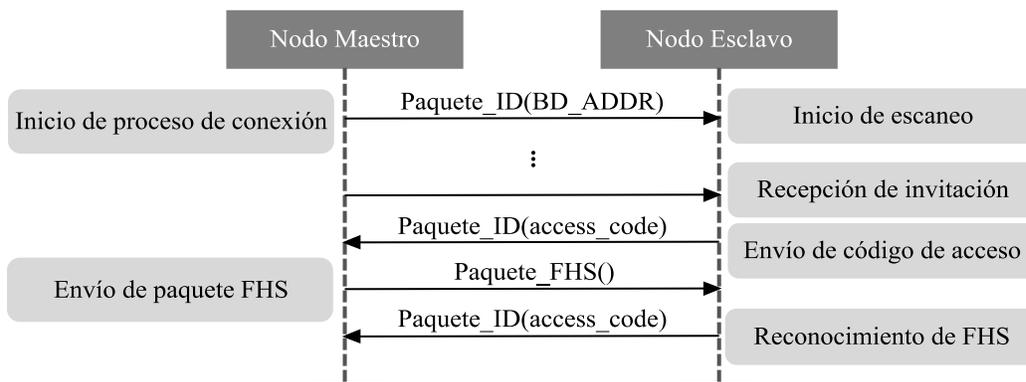


Figura 2. Proceso de vinculación.

Actividades de la práctica

1. Mediante el sistema DreamBlue realizar un proceso de búsqueda con el WM Bluetooth mostrando en una tabla los parámetros: Dirección Bluetooth, Clase de Dispositivo y nivel RSSI (véase Figura 3 y Tabla 1).

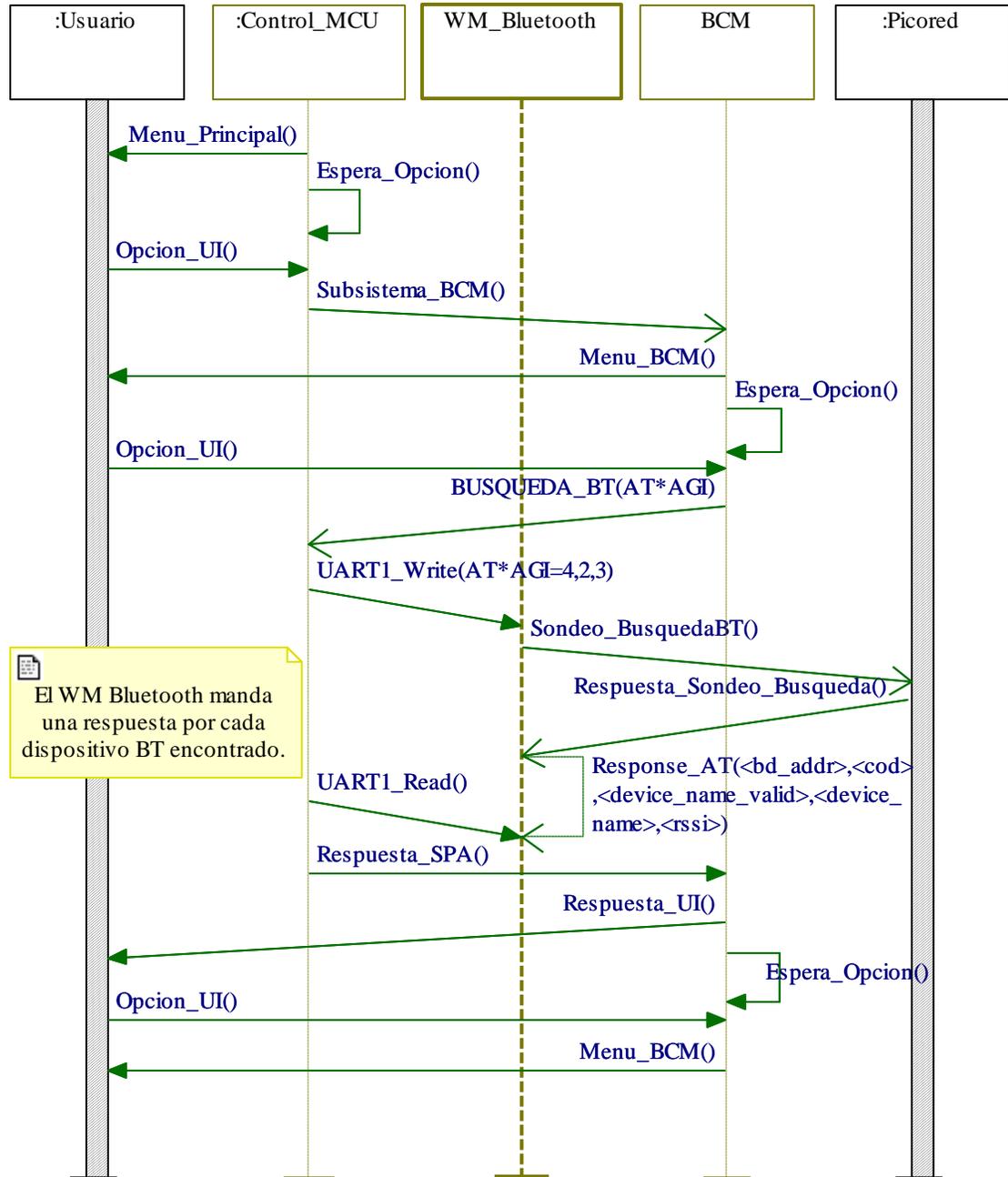


Figura 3. Búsqueda de dispositivos por el WM Bluetooth.

Tabla 1. Búsqueda Bluetooth.

Dirección Bluetooth	Clase de Dispositivo	Nombre del Dispositivo (si es válido)	RSSI
00:12:f3:0f:3f:f5	512 : Escritorio	WM Bluetooth	99 : 27 dB
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

2. Explique por qué no es viable realizar sistemas de localización mediante dispositivos Bluetooth.
3. Mediante el sistema DreamBlue mostrar una búsqueda de servicios Bluetooth realizada con el WM Bluetooth, y describir los canales disponibles para cada servicio encontrado (véase Tabla).

Tabla 2. Ejemplo de actividad 1.

Dirección Bluetooth	Canal del Servicio	Nombre del Servicio (si es válido)
00:12:f3:0f:3f:f5	1	SPP
-	-	-
-	-	-
-	-	-

4. Mediante el sistema DreamBlue conectar el WM Bluetooth a un servicio SPP (sin el modo seguro habilitado).
5. Con el sistema DreamBlue habilitar el modo seguro y crear una clave de enlace para el WM Bluetooth.
6. Con el sistema DreamBlue conectar al WM Bluetooth al servicio SPP habilitado en la antena “MANHATTAN_BT” y con el modo seguro habilitado (código PIN “NODE_BT”).
7. Realizar en Rhapsody los diagrama de secuencia para los pasos 2, 3 y 5.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“PRACTICA 6 – ENLACES
BLUETOOTH”

ING. EDGAR MANUEL CANO CRUZ
DR. IVAN GARCÍA PACHECO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. JUNIO DE 2012

Introducción

Bluetooth permite formar redes *ad-hoc*²⁸ punto a punto o redes con conexiones punto a multipunto con los dispositivos Bluetooth que se encuentran dentro del rango de cobertura (máximo 7 dispositivos), éstos pueden añadirse o suprimirse de forma dinámica sin necesidad de reconfigurar la red. La formación de una red con dos o más dispositivos Bluetooth en un rango de cobertura se conoce como picored. La unión de varias picoredes para formar configuraciones *ad hoc* se denomina red dispersa (*scatternet*), la cual permite la comunicación e intercambio de datos en configuraciones flexibles (véase Figura 1). Cada picored se gestiona en forma individual y para ello cuenta con un dispositivo que funciona como nodo Maestro (*master*) de la picored, cuya principal función es gestionar el tráfico de un canal, mientras que los otros dispositivos de la picored funcionan como nodos Esclavo (*slaves*).

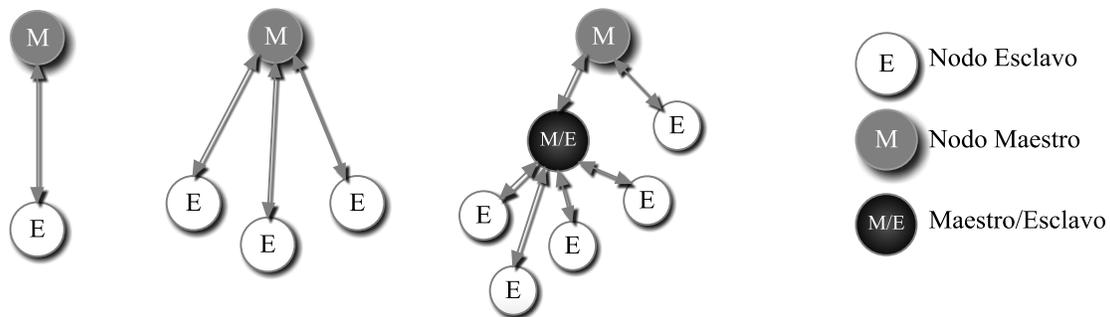


Figura 1. Topologías Bluetooth.

Un dispositivo Bluetooth puede configurarse únicamente como nodo Maestro o como nodo Esclavo en cualquier momento dentro de una picored. El nodo Maestro es el que inicia la transmisión de datos, mientras que el nodo Esclavo es quien responde a la petición del nodo Maestro. El nodo Maestro en una picored determina el reloj de operación y la secuencia de saltos en frecuencia que se utilizará durante la transmisión.

Una picored se forma a partir de dos y hasta ocho dispositivos acoplados, en donde uno de los dispositivos actúa como nodo Maestro y el resto como nodos Esclavo. En una red dispersa un dispositivo puede estar configurado como nodo Esclavo en una picored y puede funcionar como nodo Maestro en otra picored.

²⁸ Una red *ad-hoc* es aquella en la que no existe un nodo central, sino todos los dispositivos están en igualdad de condiciones.

Actividades de la práctica

1. Mediante el sistema DreamBlue configurar y conectar el WM Bluetooth a un servicio SPP, FTP y OBEX (cada servicio en tres dispositivos Bluetooth cómo lo indica la Figura 2).
2. Mediante el sistema DreamBlue configurar el WM Bluetooth de acuerdo a la especificación del WTSN y conectar a un servicio SPP de una PC con terminal de puerto serie (p. ej., hyperterminal de Windows).
3. Remover el WM Bluetooth de la Plataforma Iron y acoplar al WTSN. Enseguida poner en modo inalámbrico el WTSN (véase especificación WTSN) para transmitir la temperatura a la terminal en pantalla de la PC.
4. Repetir el paso 2 y 3, pero ahora conectar el WM Bluetooth a por lo menos 2 diferentes servicios SPP (véase Figura 3)
5. Realizar en Rhapsody los diagrama de secuencia para los pasos 1 y 3.

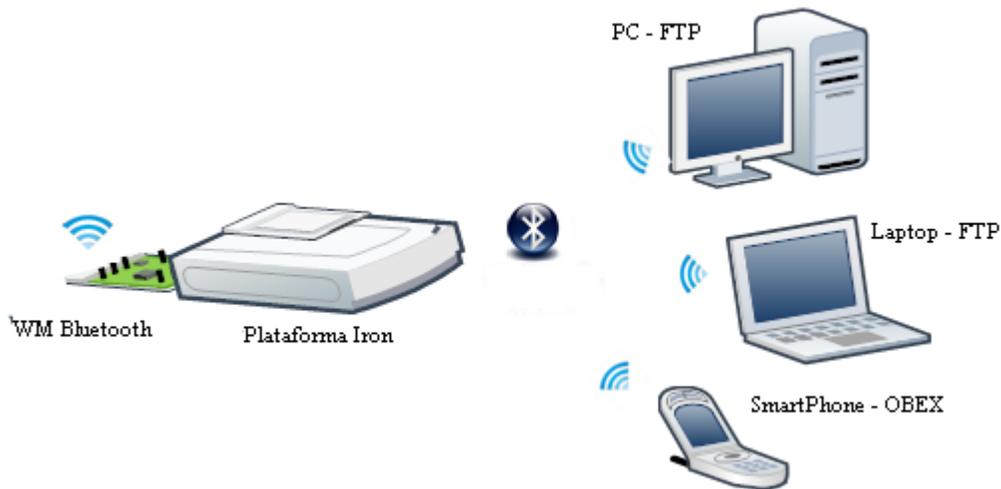


Figura 2. WM Bluetooth a tres diferentes servicios Bluetooth.



Figura 3. Envío de temperatura a dos servicios SPP.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“PRACTICA 7 - PROPIEDADES GENERALES Y
DE ACCESIBILIDAD WI-FI”

ING. EDGAR MANUEL CANO CRUZ
DR. IVAN GARCÍA PACHECO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. JUNIO DE 2012

Introducción

El estándar IEEE 802.11 se ha convertido en el protocolo más popular en la provisión de conectividad a Internet sobre dispositivos portátiles; sin embargo, en sus inicios no fue pensado para el acceso a Internet, sino como un sustituto inalámbrico para los cables de Ethernet que se encontraban empotrados en la misma pila de protocolos IEEE 802.

La primera especificación del estándar IEEE 802.11 definió tres tipos de interfaces inalámbricas: FHSS a 2.4 GHz, DSSS a 2.4 GHz y una interfaz por conexión mediante infrarrojos. En sus inicios, las velocidades de transferencia de datos entre dispositivos rara vez superaban los cientos de Kbps. La Tabla 1 lista muestra la lista de versiones más importantes del estándar IEEE 802.11.

Tabla 1. Versiones más importantes del estándar IEEE 802.11 [Farahani, 2008].

Versión	Principales características	Año
802.11	La versión original del estándar IEEE 802.11 especifica dos velocidades de transmisión teóricas de 1 Mbps y 2 Mbps. El estándar original también define el mecanismo CSMA-CA como método de acceso.	1997
802.11a	El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5.1 GHz con una velocidad máxima de 54 Mbps.	1999
802.11b	Mejora del estándar con una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps a 2.4 GHz	1999
802.11g	Mejora de la versión 802.11b con la incorporación del mecanismo OFDM y el incremento de la velocidad de transferencia a 54 Mbps.	2003
802.11n	Especificación para una alta transferencia de datos mediante la técnica de Múltiples Entradas y Múltiples Salidas (MIMO, <i>Multiple-Input and Multiple-Output</i>), disponible en las bandas a 2.4 GHz y 5.1 GHz.	2009

La especificación original del estándar IEEE 802.11 dirigida a reemplazar de forma inalámbrica la capa PHY asociada a la MAC del estándar IEEE 802.3, proporcionó tres diferentes alternativas: un transceptor infrarrojo, un radio operando mediante saltos de frecuencia a 2.4 GHz y un radio con secuenciador directo en los 2.4 GHz; no obstante, la industria se unió para dirigir las futuras mejoras a la especificación sobre el radio son secuenciador directo. Por esta razón, todas las versiones de la norma incluyen la técnica DSSS.

Cada dispositivo Wi-Fi posee una dirección única llamada dirección MAC o dirección física ya que se le atribuye a la tarjeta de red del dispositivo en cuestión. La dirección MAC es un

identificador de 48 bits (6 bloques de dos números hexadecimales) determinado y configurado por el IEEE (los últimos 24 bits) y el fabricante (los primeros 24 bits).

En la banda de 2.4 GHz donde residen la mayor parte de los productos 802.11, existen 13 canales con un ancho de banda de 22 MHz espaciados 5 MHz. Los canales se enumeran del 1 al 13 empezando a 2.412 GHz y terminando en los 2.472 GHz.

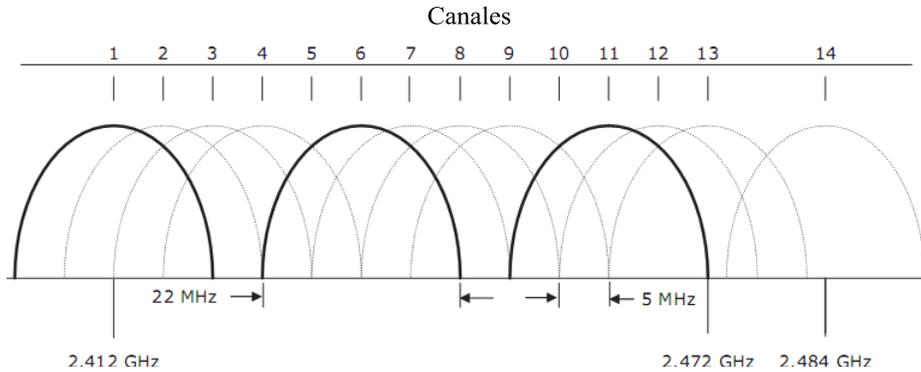


Figura 1. Uso del espectro por la especificación IEEE 802.11 [Hunn, 2010].

La mayoría de los dispositivos Wi-Fi soporta las topologías básicas *ad-hoc* y de infraestructura para transportar información serial a través de una red IP (véase Figura 1).

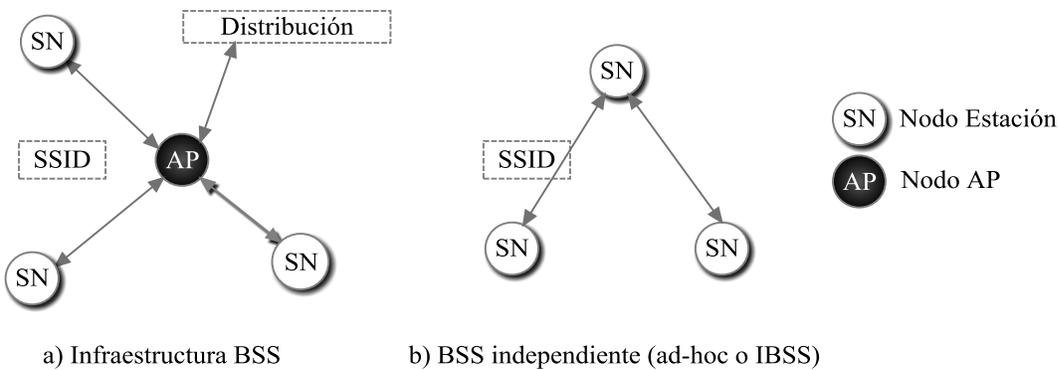


Figura 1. Topología IEEE 802.11 [Farahani, 2008].

Actividades de la práctica

1. Mediante el sistema DreamFi asignarle al WM Wi-Fi el nombre host “WM-WIFI”.
2. Configurar por medio del sistema DreamFi al WM Wi-Fi en modo de infraestructura.
3. Con el sistema DreamFi leer la dirección MAC del WM Wi-Fi.
4. Realizar en Rhapsody los diagramas de secuencia del paso 1 y 3 (véase ejemplo de la Figura 2).

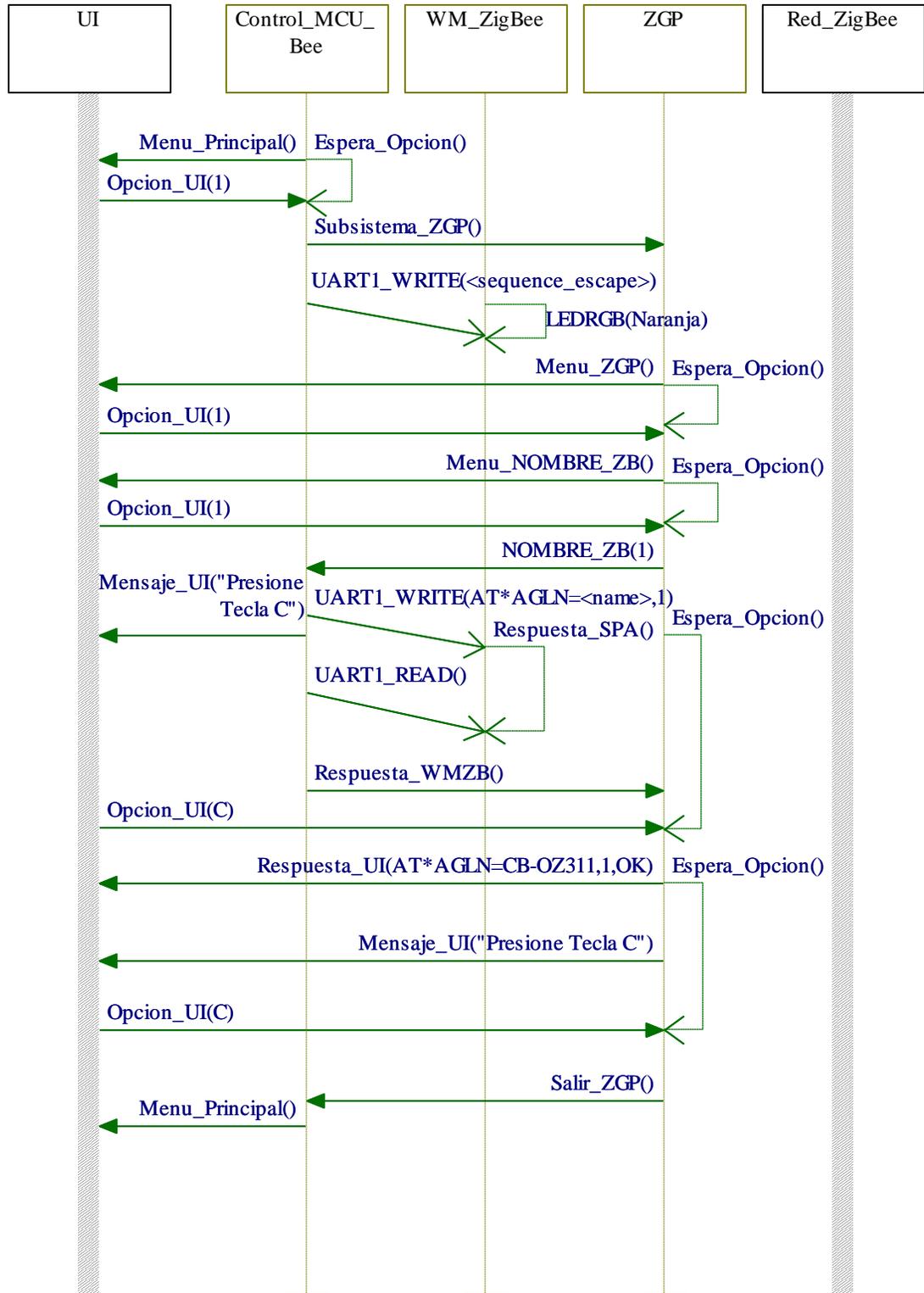


Figura 2. Asignación de nombre host “WM Wi-Fi”.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“PRACTICA 8 – GESTIÓN DE LA CONEXIÓN Y
SEGURIDAD WI-FI”

ING. EDGAR MANUEL CANO CRUZ
DR. IVAN GARCÍA PACHECO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. JUNIO DE 2012

Introducción

Dentro del modo de infraestructura, la red inalámbrica 802.11 consiste de al menos un dispositivo Punto de Acceso (AP, *Access Point*) conectado a una red y un conjunto de dispositivos Estación (SN, *Station Node*). En este contexto, esta configuración se encuentra basada sobre una arquitectura celular donde cada célula es denominada Conjunto de Servicio Base (BSS, *Base Service Set*) y controlada por dispositivo AP. En este sentido, en el modo de infraestructura, un dispositivo AP realiza la administración de la red.

Para que los SN puedan unirse a una infraestructura de red, un nodo AP debe transmitir un Identificador del BSS (SSID o BSSID, *Service Set ID*). De esta forma y si lo desean, los SN pueden unirse a la red.

Por su parte, las redes descentralizadas o Conjunto de Servicio Base Independiente (IBSS, *Independent Base Service Set*) tienen el mismo principio; sin embargo, ningún dispositivo se encuentra conectado a un distribuidor de funciones de banda ancha y el SN que comience una transmisión de datos recibe el nombre de Iniciador.

La conexión entre dispositivos Wi-Fi se realiza por medio de una dirección IP que identifica un dispositivo dentro de una red que utilice el Protocolo de Internet (IP, *Internet Protocol*). A diferencia de la dirección MAC, la dirección IP puede ser configurada de forma estática por el usuario o configurada de forma dinámica mediante el Protocolo de Configuración Dinámica del Host (DHCP, *Dynamic Host Configuration Protocol*). En este contexto, un dispositivo AP se encarga de asignar una dirección IP dinámica un dispositivo Wi-Fi.

Las direcciones IP pueden utilizar un sinónimo, llamado Sistema de Nombre de Dominio (*Domain Name System*), para convertir los nombres de dominio en direcciones IP.

Los dispositivos Wi-Fi operan con varios métodos de autenticación y encriptación de datos. En el caso particular del WM Wi-Fi, establece una de tres de combinaciones entre los métodos de autenticación y encriptación:

1. La primera combinación consiste en la no autenticación y en la no encriptación de datos (conexión abierta).
2. La segunda combinación es la autenticación por clave compartida y el método de encriptación de datos WEP128.
3. La tercera combinación es la autenticación WPA2 con el método de encriptación de datos AES/CCMP.

Actividades de la práctica

1. Con el sistema DreamFi realizar una búsqueda y llenar la Tabla 1.
2. Por medio del sistema DreamFi realizar y asignar el SSID “SSID WM” al WM Wi-Fi.
3. A través del sistema DreamFi configurar el DHCP del WM Wi-Fi en modo cliente.
4. Mediante el sistema DreamFi activar el modo de seguridad del WM Wi-Fi con la opción de autenticación WPA2-PSK y encriptación AES/CCMP.
5. Con el sistema DreamFi asignarle una clave secreta al WM Wi-Fi
6. Realizar los diagramas de secuencia para los pasos 1 al 4 (véase Figura 1).

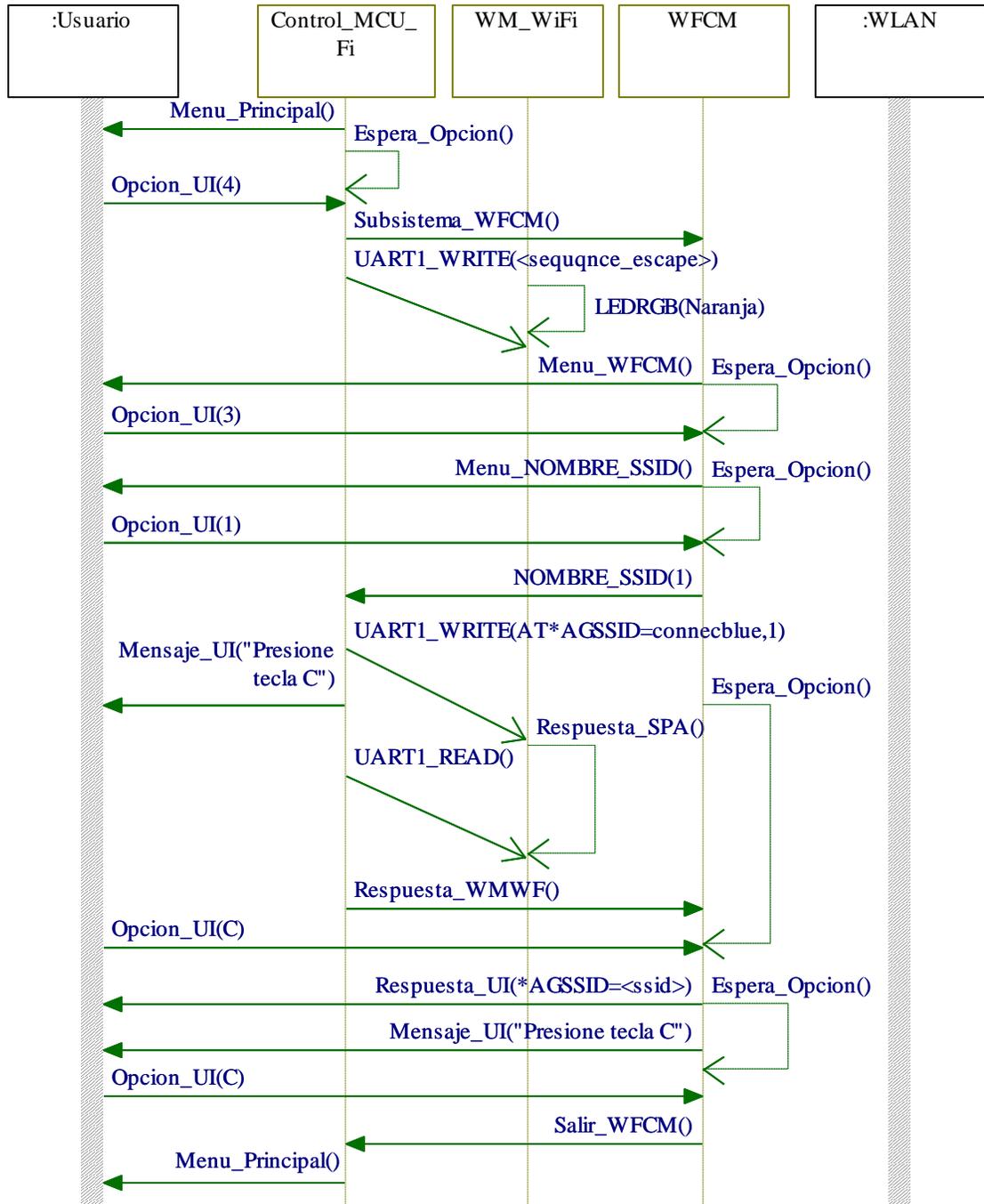


Figura 1. Asignar SSID al WM Wi-Fi.

Tabla 1. Búsqueda de dispositivos y SSID.

Dirección MAC	Nombre del Dispositivo	Nombre del SSID	RSSI
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“PRACTICA 9 – ESTABLECIMIENTO DEL ENLACE Y
CONEXIÓN TCP/IP”

ING. EDGAR MANUEL CANO CRUZ
DR. IVAN GARCÍA PACHECO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX. JUNIO DE 2012

Introducción

Una WLAN pueden usar el Protocolo de Control de Transmisión (TCP, *Transmission Control Protocol*) para crear conexiones entre dispositivos y enviarse un flujo de datos. El protocolo garantiza que los datos serán entregados en su destino sin errores y en el mismo orden en que se transmitieron. También proporciona un mecanismo para distinguir distintas aplicaciones dentro de una misma máquina, a través del concepto de puerto [Farahani, 2008].

Las conexiones TCP se componen de tres etapas: establecimiento de conexión, transferencia de datos y fin de la conexión. Para establecer la conexión se usa el procedimiento llamado negociación en tres pasos (*handshake*) [Farahani, 2008].

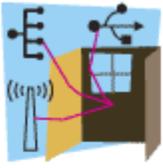
TCP usa el concepto de número de puerto para identificar a las aplicaciones emisoras y receptoras. Cada lado de la conexión TCP tiene asociado un número de puerto (de 16 bits sin signo, con lo que existen 65536 puertos posibles) asignado por la aplicación emisora o receptora. Los puertos son clasificados en tres categorías: bien conocidos, registrados y dinámicos/privados.

Para la realización de la presente práctica es necesario contar con un dispositivo AP conectado a una red LAN (véase Figura 1). De esta forma El dispositivo AP debe enviar la SSID_CASA y con los parámetros mostrados por la Figura 2.



Figura 1. Modem router Thomson Gateway con AP integrado.

[TELMEX]

[Resumen](#) | [Detalles](#) | [Confi](#)[Inicio](#) > [Red doméstica](#) > [Interfaces](#) > [WLAN: SSID_CASA](#)

Punto de acceso inalámbrico - SSID_CASA

- **Configuración**

Interfaz habilitada:	Sí
Dirección física:	00:26:44:0F:A8:F3
Nombre de red (SSID):	SSID_CASA
Tipo de interfaz:	802.11b/g
Velocidad exacta:	54 Mbps
Banda:	2.4G Hz
Selección de canal:	Auto
Región:	USA
Canal:	11
Permitir multidifusión desde la red de banda ancha:	Sí

- **Seguridad**

Difundir nombre de la red :	Sí
Permitir nuevos dispositivos:	Nuevas estaciones permitidas (automáticamente)
Modo de seguridad:	WPA-PSK
Clave WPA-PSK previamente compartida:	D1A5F0868D
Cifrado WPA-PSK:	AES
Versión de WPA-PSK:	WPA2

Figura 2. Propiedades de la SSID “SSID_CASA”.

Actividades de la práctica

1. Configurar un dispositivo AP para propagar la señal SSID “SSID_CASA” y habilitar el servicio DHCP como servidor para asignar IP de forma dinámica a los dispositivos que deseen unirse a la SSID.
2. A través del sistema DreamFi realizar una búsqueda y encontrar el canal de la SSID del paso 1 y propagada por el AP.
3. Por medio del sistema DreamFi asignar la SSID “SSID_CASA” y fijar disponible para la conexión.
4. Con el sistema DreamFi configurar el DCHP del WM Wi-Fi como cliente y permitir la configuración dinámica de la IP del WM Wi-Fi.
5. Mediante el sistema DreamFi activar el servicio TCP con el puerto de escucha 23 del WM Wi-Fi.
6. A través del sistema DreamFi leer la dirección IP del WM Wi-Fi otorgada por el servicio DHCP del AP.

- Mediante una PC conectada al AP que propaga la señal SSID “SSID_CASA” (ya sea conectada por Ethernet o Wi-Fi), ejecutar un cliente Telnet especificando la dirección IP del WM Wi-Fi y el puerto de escucha (véase Figura 3).
- Mediante el sistema DreamFi enviar el mensaje “HOLA WIFI” del WM Wi-Fi a la PC con el cliente TCP en ejecución.
- Conectar otra PC a la SSID “SSID_CASA” y repetir el paso 8 (véase Figura 4).
- Realizar en Rhapsody los diagrama de secuencia para los pasos del 2 y 9.

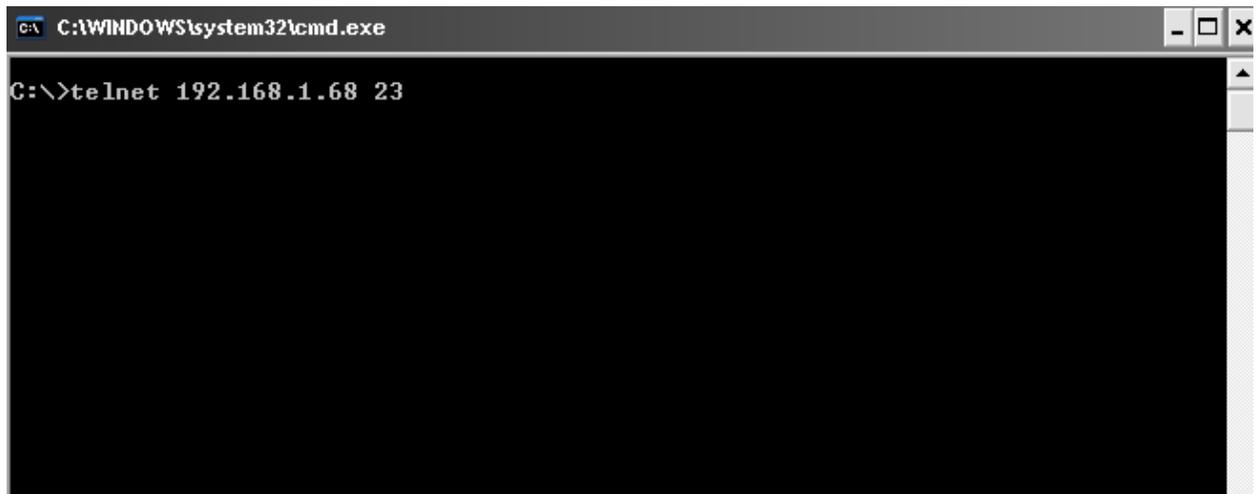


Figura 3. Cliente Telnet en SO Windows XP.

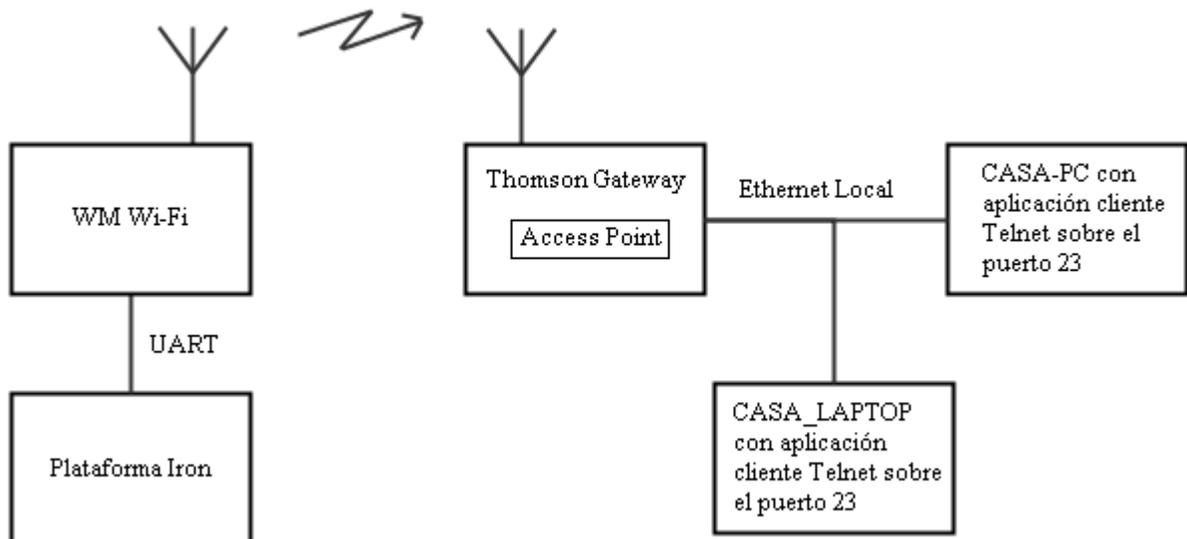


Figura 4. Diagrama de conexiones para envío de mensaje “HOLA WIFI”.

D. Anexo modelado y diseño en UML

El lenguaje unificado de modelado (UML) es la tercera generación del estándar de modelado propiedad de OMG. Una de las características principales de UML es que se obtienen modelos genéricos para los cuales hay muchas herramientas de soporte en el mercado.

La notación utilizada por UML es de naturaleza gráfica, fácil de entender y dominar. La notación UML cumple con cuatro tipos de diagramas para modelar la funcionalidad total de un sistema: Diagramas de comportamiento, Diagramas estructurales, Diagramas de interacción y Diagramas funcionales (véase Figura D.1).

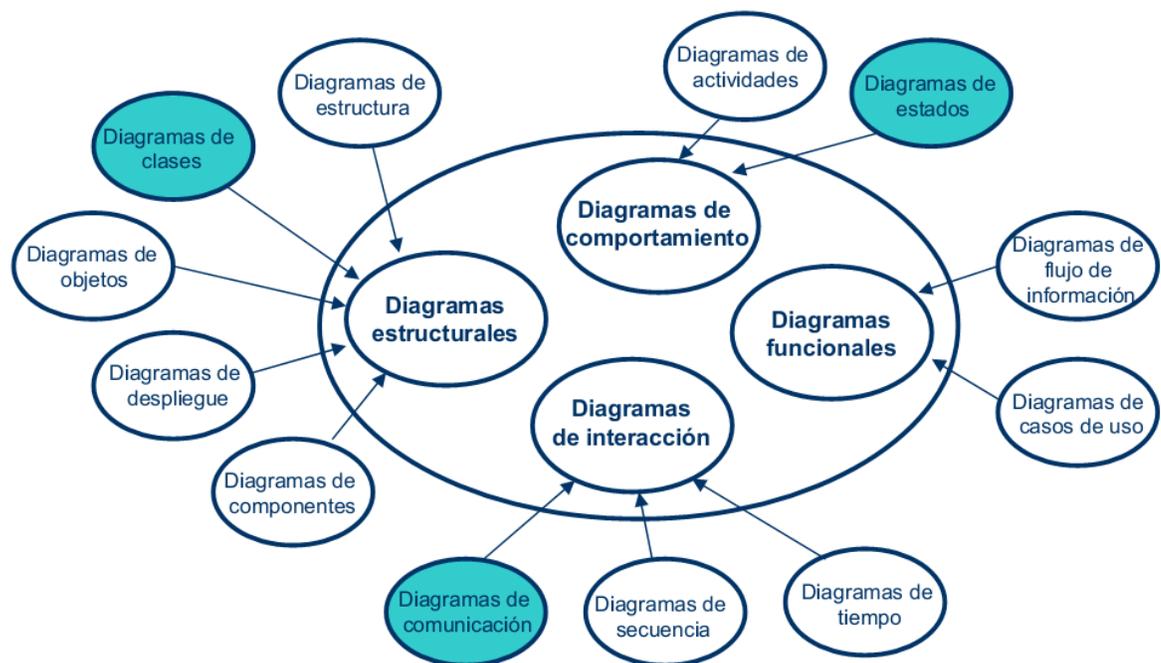


Figura D.1. Tipos de diagramas en UML [Douglas, 2006].

UML utiliza un metamodelo para definir una semántica de modelado. Los elementos de los diagramas forman la base del diseño estructural del modelo. De esta forma un objeto es una estructura de datos que proporciona servicios que actúan sobre los datos. Un objeto solo existe en tiempo de ejecución.

Los datos de un objeto se almacenan en atributos variables locales simples y primitivas del objeto.

Los servicios que actúan sobre los datos son llamados métodos; los cuales son servicios invocados por los clientes de un objeto (regularmente otros objetos) o por otros métodos existentes dentro de un objeto.

Una clase es la especificación de un conjunto de objetos que comparten una estructura y un comportamiento común. Se dice que los objetos son instancias de las clases. Una clase puede especificar una máquina de estados que coordine y gestione la ejecución de sus comportamientos primitivos (llamados acciones, los cuales a menudo son las invocaciones de los métodos definidos en la clase).

Una interfaz es un conjunto de servicios. Los servicios pueden ser operaciones o eventos. La interfaz puede contenerlos a ambos. El conjunto de parámetros, pasados con la invocación, junto con el nombre del servicio se denomina firma del servicio.

Una clase define métodos (para las operaciones) y recepciones de eventos (para señales, específicamente para las máquinas de estados). Ambos incluyen las líneas de código que implementan el servicio.

Una operación o señal es solamente una especificación y no incluye detalles de la implementación. Las interfaces pueden no tener implementación, aunque sí atributos o métodos, y no son directamente “instanciables”. Se dice que una clase realiza una interfaz si ésta proporciona un método para cada operación especificada en la misma interfaz, y esos métodos tienen los mismos nombres, parámetros, valores de retorno, *pre* condiciones y *post* condiciones de las operaciones correspondientes.

D.1. Diagramas de caso de uso

Un caso de uso puede verse como una bolsa que contiene un conjunto de requisitos detallados relacionados a una simple capacidad o uso operacional.

La realización de un caso de uso es una colaboración, un conjunto de objetos que funcionan de forma integral para cubrir el conjunto de requisitos.

Un caso de uso puede verse como una vista operacional del sistema relacionada con algún uso genérico. Desde la perspectiva operacional, los casos de uso y escenarios son vitales para entender la forma en que los nodos operacionales colaboran con otros elementos en el entorno del sistema. Deben realizarse declaraciones no ambiguas sobre aspectos y propiedades del sistema.

En los diagramas de casos de uso se dibujan los siguientes elementos (véase Figura D.2):

- **Caja delimitadora:** La caja delimitadora se ocupa para niveles altos de diseño y son de carácter opcional. Así mismo, éstas encierran al sistema de actores externos o de componentes que no intervengan con la funcionalidad interna del sistema.
- **Actores:** Elementos exteriores al sistema (p. ej., el usuario o una interfaz de red.).
- **Casos de uso:** Los casos de uso son representaciones de forma detalla sobre el comportamiento del sistema en un entorno (contiene requisitos).
- **Asociaciones y generalizaciones:** Una asociación representa una conexión entre objetos y usuarios. Una generalización es una relación entre un elemento general y un elemento más específico. El elemento más específico hereda las propiedades del elemento más general.

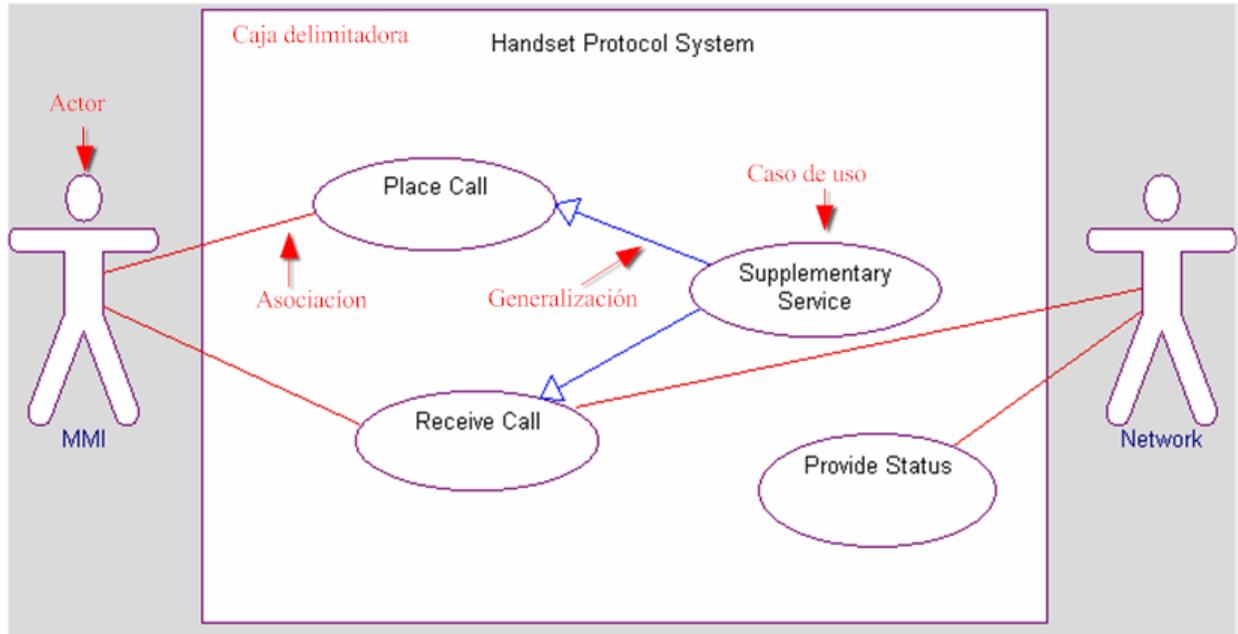


Figura D.2. Ejemplo de diagrama de caso de uso.

D.2. Diagramas de estructura

Este tipo de diagramas definen la estructura del sistema e identifican las piezas a larga escala del sistema. Así mismo, muestran el flujo de la información entre los componentes del sistema y de la definición de la interfaz a través de puertos con una vista de caja negra. Para sistemas muy complejos o largos los componentes se descomponen en subsistemas o funciones.

En los diagramas de estructura se dibujan los siguientes elementos (véase Figura D.3):

- **Objetos:** Entidad con una funcionalidad bien definida que encapsula su comportamiento. El estado de encapsulamiento se encuentra representado por sus atributos y relaciones; y el comportamiento se representa por operaciones, métodos y máquinas de estado.
- **Puertos:** Un puerto es un punto de conexión entre una clase u objeto y su entorno. Los puertos permiten especificar el comportamiento de las interfaces de los componentes del sistema y sus relaciones entre subsistemas.
- **Flujo de datos:** Los flujos de datos especifican el intercambio entre los elementos del sistema. De igual manera permiten describir el flujo de datos y las órdenes dentro de un sistema a niveles tempranos de implementación.

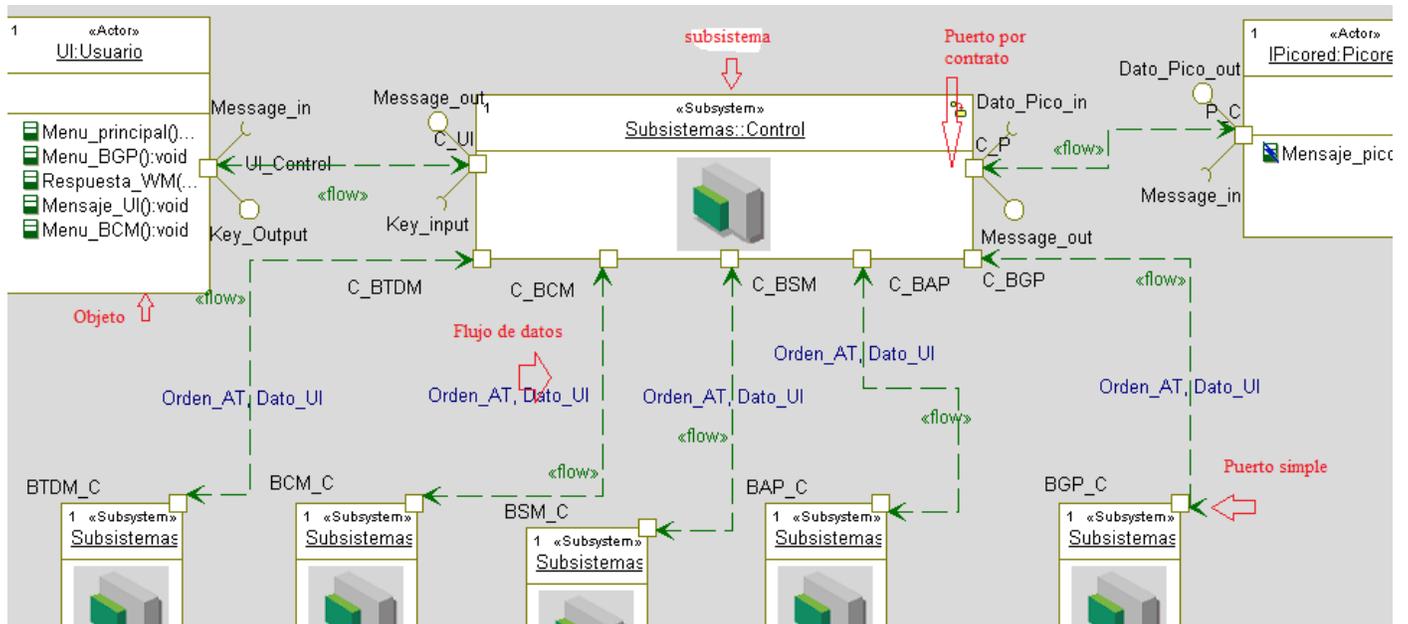


Figura D.3. Ejemplo de diagrama de secuencia.

D.3. Diagramas de secuencia

Los diagramas de secuencia muestran cómo los elementos estructurales se comunican entre sí, identificando las relaciones requeridas mediante mensajes. Los diagramas de secuencia pueden ser utilizados en diferentes niveles de abstracción. En los niveles más altos de abstracción, los diagramas de secuencia muestran la interacción entre actores, casos de uso y funciones o métodos. En los niveles más bajos de abstracción muestran la comunicación entre métodos y funciones.

Los diagramas de secuencia muestran cómo los subsistemas y sus funciones interactúan durante un escenario de éxito a peticiones u órdenes ejecutadas durante un proceso.

El entorno de diseño Rational Rhapsody separa los diagramas de secuencia en un panel de nombres y un panel de mensajes (véase Figura D.4). El panel de nombres contiene los nombres de cada línea de instanciación o rol clasificador (clases, subsistemas, etc.). Mientras que el panel de mensajes contiene los elementos que componen la interacción (funciones, métodos, eventos, etc.). En los diagramas de secuencia se dibujan los siguientes elementos:

- **Líneas de actores:** Las líneas delimitadoras o líneas de actores muestran cómo los actores participan en el escenario. Los actores están representados con una columna de líneas diagonales.
- **Roles clasificadores:** Los roles clasificadores representan los componentes del sistema mediante líneas verticales para indicar el tiempo de vida activo en un escenario.
- **Mensajes:** Los mensajes representan la interacción entre objetos, o entre un objeto y el entorno. De esta forma, un mensaje puede ser un evento, una interrupción, o alguna función primitiva. Dependiendo de la forma de la línea el entorno Rational Rhapsody interpreta los mensajes de la siguiente manera:
 1. Si el mensaje es una línea horizontal, éste se interpreta como una operación de disparo (*triggered operation*).

2. Si el mensaje es una línea inclinada, se interpreta como un evento enfatizando que existe un tiempo entre el envío y recepción del mensaje. Los mensajes de este tipo pueden intercalarse unos a otros.
 3. Si la línea retorna a un mismo rol clasificador, el mensaje se interpreta como una función primitiva o una función cíclica.
- **Ocurrencias de interacción:** Una ocurrencia de interacción permite referenciar a otro diagrama de secuencia para reducir la complejidad del diagrama.

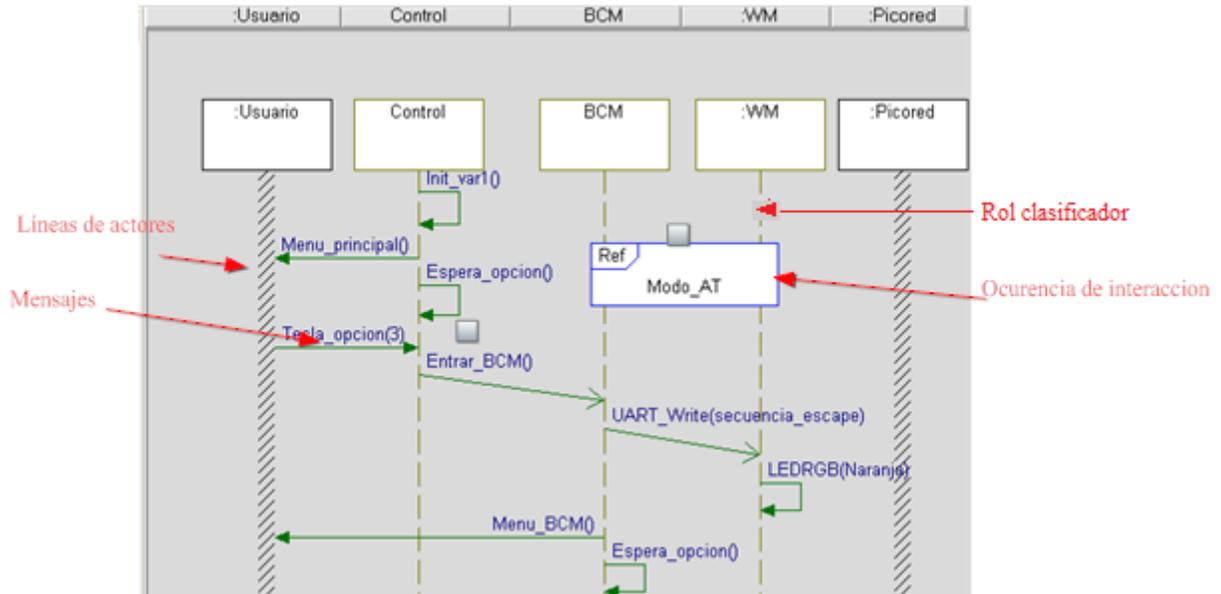


Figura D.4. Ejemplo de diagrama de secuencia.

D.4. Diagramas de máquinas de estado

Los diagramas de máquinas de estado definen el comportamiento (actores, casos de uso, clases, etc.) incluyendo los estados en los que éstos pueden entrar a través de sus ciclos de vida; de igual manera, los mensajes, eventos y operaciones que causan la transición de un estado a otro. Los diagramas de máquinas de estado contienen los siguientes elementos (véase Figura D.4):

- **Estados:** Un estado es una representación gráfica del estado de un objeto o clase. Típicamente reflejan un conjunto de datos internos (atributos) y sus relaciones. Uno de los estados debe ser el estado por default, el estado en el cual el objeto se encuentra asimismo cuando es instanciado por primera vez.
- **Conectores/transiciones:** A través de los conectores se identifica el estado de inicio en un diagrama de máquina de estado, así como los estados de transición entre los objetos. Una transición representa la respuesta a un mensaje dado en un estado determinado. Una transición puede tener un disparador o acción opcional.
- **Estados de envío:** A través de este tipo de estados especiales se representa el envío de eventos a entidades externas a la clase o subsistema.
- **Timeout:** Una transición de tiempo causa la transición de un objeto al próximo estado después de que una cantidad específica de tiempo haya pasado. Evento de forma $tm(n)$. Cabe resaltar que existen diversos tipos de transiciones definidas por el desarrollador o establecidas por rhapsody.

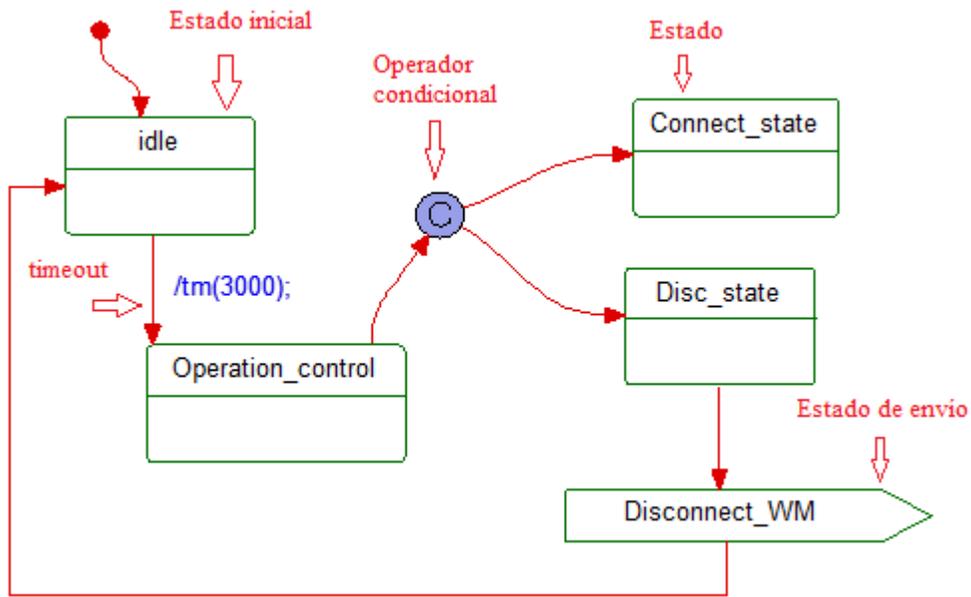


Figura D.5. Ejemplo de diagrama de máquina de estados.

Para mayor información acerca del modelado y diseño en UML revisar la siguiente referencia [Schmuller, 2001], y en cuanto a la aplicación de UML en sistemas empotrados se refiere, revisar la referencia [Douglas, 2006].