

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE SENSORES PARA DETECCIÓN
DE RADIACIÓN NO IONIZANTE (Segunda Fase)**



BUCARAMANGA, ABRIL 2008

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE SENSORES PARA LA
DETECCIÓN DE RADIACIÓN NO IONIZANTE (SEGUNDA FASE)**

Director:

PhD. C. RODRIGO CORREA CELY

Codirector:

ING. OSCAR MAURICIO REYES TORRES



Autores:

JAIRO ALONSO NAVAS LIZARAZO

GUSTAVO ADOLFO TARAZONA CARREÑO

INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

INGENIERIAS FISICOMECHANICAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

BUCARAMANGA

2008

A Dios por brindarme el privilegio de aprender.

A mi padre y madre, a quien les pertenece este logro, gracias por el ejemplo que me dieron, por exigirme, apoyarme y amarme.

A la UIS por los grandes profesores que tuve y por darme los grandes amigos que hoy tengo.

Gustavo Adolfo Tarazona Carreño.

A mis padres, mis hermanos, familia y amigos por su paciencia y colaboración en la realización de este trabajo de grado.

A los profesores que fueron, de una u otra forma, parte de mi formación moral y profesional y a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

Jairo Alonso Navas Lizarazo.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones por permitirnos desarrollar este trabajo y facilitarnos las herramientas necesarias para este proceso. A nuestro Director de proyecto, Ing. Oscar Mauricio Reyes Torres y nuestro Codirector Dr. Carlos Rodrigo Correa Cely por el gran apoyo que nos brindaron, por guiarnos y creer en nosotros. A el Ing. Antonio Jaimes del Ministerio de Comunicaciones de Colombia Seccional Bucaramanga por su desinteresada y atenta colaboración. A los profesores que colaboraron de una u otra forma para su realización. A Allison Scarborough quien colaboro de manera activa en la construcción de este trabajo. A nuestros amigos y compañeros.

Los autores.

RESUMEN

TITULO: Diseño y construcción de una red de sensores para detección de radiación no ionizante (Segunda Fase)*

AUTORES: Jairo Alonso Navas Lizarazo**
Gustavo Adolfo Tarazona Carreño**

PALABRAS CLAVES: radiación electromagnética, ionizante, celular, antena, densidad de potencia, triangulación.

DESCRIPCION:

Existen inconvenientes cuando se habla de radiación electromagnética no ionizante. Uno de estos es que no se cuentan con estudios a largo plazo y concluyentes acerca de cómo esta clase de exposición constante y progresiva del ser humano a esta radiación, puede afectar el organismo y que tanto influyen todas las nuevas tecnologías, en especial en el área de las comunicaciones, dentro de las enfermedades que arremeten contra el ser humano hoy en día.

Otro problema que se puede encontrar es la interferencia que esta radiación puede producir sobre diferentes sistemas y como la polución electromagnética obstruye el correcto funcionamiento de estos equipos. Además por cuestiones de seguridad el uso de equipos que emitan radiación se encuentra restringido en ciertos ambientes, tales como estaciones de gasolina, entidades bancarias, cárceles y otros entornos, pero es bastante difícil controlar estas emisiones y se hace necesario el uso de dispositivos especializados capaces de detectar, bloquear o ubicar las fuentes de dicha radiación para poderlas controlar o eliminar.

De esta manera el grupo de investigación CEMOS de la Universidad Industrial de Santander, adscrito a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones y con la asistencia del estudiante de maestría Ing. José Rúgeles, ha logrado desarrollar una red de sensores capaz de detectar las fuentes de radiación presentes en un área específica.

La finalidad de este trabajo de grado es la detección de campos electromagnéticos que se encuentren presentes dentro de un área en particular. El trabajo desarrollado por el grupo es la segunda fase en el desarrollo total de esta red.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Ing. Carlos Rodrigo Correa Cely. Codirector: Ing. Oscar Mauricio Reyes Torres.

ABSTRACT

TITLE: Design and construction of a sensor network for non-ionizing radiation detection
(Second Phase)

AUTHOR: Jairo Alonso Navas Lizarazo
Gustavo Adolfo Tarazona Carreño

KEY WORDS: electromagnetic radiation, ionizing, cell phone, antenna, power density, triangulation.

DESCRIPTION:

There are inconveniences about non-ionizing electromagnetic radiation. One of these is that there are not long term and conclusive studies about how this constant and progressive exhibition to this radiation can affect the human organism and how all the new technologies influence the human body, in special in the communication field.

Another problem that can be found is the interference that this radiation can produce on different systems and how the electromagnetic pollution obstructs the correct operation of this equipment. In addition, due to security matters the use of equipment that emits radiation is restricted in certain atmospheres, such as banks, gas stations, jails and other environments, but it is quite difficult to control these emissions and it is necessary to use specialized devices that are able to detect, block or locate the sources of this radiation and control them or eliminate them.

The purpose of this project is to detect electromagnetic fields present within an area and to triangulate it and in that way be able to locate the possible radiation source with a certain degree of uncertainty. The work developed by the group is the second phase in the total development of this network.

CONTENIDO

1. LOGROS.....	1
2. INTRODUCCION	3
3. ANTECEDENTES	5
4. MARCO TEORICO	6
4.1. Radiación electromagnética no ionizante	6
4.2. Triangulación de señales.....	7
5. DISEÑO FUNCIONAL	10
5.1. Antena espiral de Arquímedes	11
5.1.1. Fabricación antena espiral de Arquímedes	13
5.2. Antena HG2404CU.....	14
5.3. Regulación de voltaje y detección de batería baja	17
5.3.1 Regulador de voltaje.....	17
5.3.1.1 Consumo de potencia MAX667	21
5.3.2. Detector de batería baja	21
5.3.2.1 Consumo de potencia MAX9030	24
5.4. Etapa transductora y acondicionamiento de señal	25
5.4.1. Detector LF to 2.5 GHz TruPwr™ AD8361.....	25
5.4.1.1. Diagrama de bloques del AD8361.....	25
5.4.1.2. Modos de trabajo y referencia	25
5.4.1.3. Características de rendimiento típicas	27
5.4.1.4. Consumo de potencia AD8361.....	28
5.5. Amplificación de señal	29
5.5.1. INA322	29
5.6. Transmisión de datos en la tarjeta sensora.....	29
5.6.1. PIC16F88.....	29
5.6.1.1. Programación del PIC16F88	30
5.6.1.2. Consumo de potencia PIC16F88	31
5.6.2. Transmisor-Receptor MAX485	32
5.6.2.1. Diagrama de conexión del MAX485.....	32
5.6.2.2. Consumo de potencia MAX485	33
5.7. Consumo total de potencia para la tarjeta sensora	34
5.8. Transmisión de datos en la tarjeta central.....	35
5.8.1. Transmisor/Receptor MAX485	36
5.8.2. Temporizador LM555.....	36
5.8.3. Driver/Receptor MAX232	40
6. DISEÑO CIRCUITAL	41
6.1. Diseño del circuito impreso (PCB).....	41
6.1.1. Antena banda ancha.....	42
6.1.2. Regulación de voltaje	45
6.1.3. Detector de batería baja	45

6.1.4. Sensor AD8361.....	46
6.1.5. Etapa de amplificación y calibración.....	46
6.1.6. Etapa de digitalización y envío de datos.....	47
6.1.7. Tarjeta central.....	50
7. SOFTWARE.....	53
8. EJECUCION DEL PROGRAMA.....	69
8.1. Instalación de software y hardware.....	69
9. PRUEBAS REALIZADAS.....	70
9.1. Pruebas simuladas en CST Studio.....	70
9.2. Pruebas realizadas a la antena espiral de Arquímedes en campo abierto con el analizador de espectro Rohde & Schwarz. FSP Spectrum Analyzer. 9Hz a 40 GHz....	75
9.2.1. Conclusiones de la prueba.....	96
9.3. Pruebas Realizadas con el sistema LVDAM-ANT.....	98
9.4. Medida de tiempos de procesamiento y transmisión.....	105
9.5. Pruebas con sistema final y tarjeta central.....	110
9.5.1. Prueba 1 (Conexión directa entre el generador de RF y la tarjeta sensora).....	110
9.5.2. Prueba 2 (Generador de RF).....	113
9.5.3. Prueba 3 (Celular 850MHz).....	116
9.5.4. Prueba 4 (Celular 1900MHz).....	127
9.5.5. Prueba 5 (Wi-Fi).....	130
9.6. Conclusiones.....	131
10. MANUAL DEL USUARIO.....	133
10.1. Conexión de Hardware.....	133
10.2. Precauciones.....	134
11. RECOMENDACIONES.....	136
12. OBSERVACIONES.....	137
13. CONCLUSIONES.....	141
14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	143
15. ANEXOS.....	145
15.1. ANEXO A. Tablas con todos los elementos dentro del sistema.....	145
Elementos usados en la fabricación de las tarjetas sensoras.....	145
Elementos usados en la fabricación de la tarjeta central.....	146
15.2. ANEXO B. Código fuente para la programación del PIC16F88.....	148

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Triangulación de un punto con 2 puntos de referencia.....	7
Figura 2. Diagrama general para la triangulación de señales usando la magnitud del vector dirección.....	8
Figura 3. Esquema general de las etapas dentro de la red de sensores	10
Figura 4. Formas posibles de una espiral de Arquímedes.....	11
Figura 5. Antena espiral de Arquímedes de dos brazos	12
Figura 6. Patrón de ganancia de la antena banda ancha HG2404CU.....	16
Figura 7. Diagrama de bloques del MAX667	17
Figura 8. Respuesta dinámica a cambios bruscos en la entrada del MAX667.....	18
Figura 9. Configuración para ajustar el voltaje de salida del MAX667.....	19
Figura 10. Configuración para ajustar el umbral de detección de batería baja del MAX667	19
Figura 11. Grafica de corriente de fuente vs. Voltaje de fuente. Nótese el consumo de corriente a 5V	22
Figura 12. Esquema de configuración del detector de batería baja.....	22
Figura 13. Diagrama de bloques del AD8361.....	25
Figura 14. V_{in} vs. V_{out} en las tres configuraciones del AD8361	26
Figura 15. Salida vs. Nivel de entrada para diversos valores de frecuencia. Modo de referencia a tierra.....	27
Figura 16. Salida vs. Nivel de entrada para diferentes fuentes de alimentación. Modo de referencia a tierra. Frecuencia 900 MHz	27
Figura 17. Corriente de fuente Vs. Voltaje de entrada. Fuentes de 3[V] y 5[V]. Temperaturas -40°C, 25°C y 85°C	28
Figura 18. Diagrama de flujo del programa implementado para el PIC16F88	31
Figura 19. Diagrama de conexión entre dos dispositivos para la comunicación del MAX485	32
Figura 20. Grafica de la corriente de Fuente Vs. Temperatura.	34
Figura 21. Diagrama de bloques de la tarjeta central.....	35
Figura 22. Diagrama de tiempos de la comunicación controlada por software para el microcontrolador identificado con la letra A. Nótese el tiempo muerto	37
Figura 23. Diagrama de tiempos de la comunicación controlada por hardware para el microcontrolador identificado con la letra A.....	38
Figura 24. Circuito temporizador con LM555 en estado monoestable	39
Figura 25. Tiempos de retardo usados para sincronizar la comunicación y sortear posibles cambios en la señal de control.....	39

Figura 26. Diagrama de bloques de la tarjeta sensora.....	41
Figura 27. Diagrama de bloques de la tarjeta central.....	42
Figura 28. Detalle del circuito impreso de la antena espiral de Arquímedes (750MHz a 2.4GHz). Vista Superior.....	42
Figura 29. Fotografía de la antena espiral de Arquímedes. Vista superior.....	43
Figura 30. Fotografía de la antena banda ancha HG2404CU. Nótese el conector Tipo N.....	44
Figura 31. Fotografía de la estructura interna de la antena banda ancha HG2404CU.....	44
Figura 32. Diagrama esquemático del sistema de encendido y regulación de voltaje.....	45
Figura 33. Diagrama esquemático del sistema indicador de batería baja.....	46
Figura 34. Diagrama esquemático de configuración del sensor AD8361.....	46
Figura 35. Diagrama esquemático del amplificador INA322.....	47
Figura 36. Diagrama esquemático del PIC16F88 y el MAX485 usado para la transmisión de datos.....	47
Figura 37. Layout de la tarjeta sensora final. Vista superior.....	48
Figura 38. Layout de la tarjeta sensora final. Vista inferior.....	48
Figura 39. Fotografía de la tarjeta sensora con los nombres de los elementos activos. Vista superior.....	49
Figura 40. Fotografía de la tarjeta sensora con los nombres de los elementos. Vista inferior.....	49
Figura 41. Fotografía que muestra el tamaño final de la tarjeta sensora comparada con una moneda de 500 pesos colombianos.....	49
Figura 42. Diagrama esquemático de la tarjeta central usada para la transmisión de letras de identificación, recepción de datos y la conversión de los mismos.....	50
Figura 43. Layout de la tarjeta central con elementos. Vista superior.....	51
Figura 44. Layout de la tarjeta central. Vista inferior.....	51
Figura 45. Fotografía de la tarjeta central con los nombres de los elementos. Vista superior.....	52
Figura 46. Advertencia Visual para el Usuario del Software.....	53
Figura 47. Panel frontal de la interfaz grafica. Modo de visualización 1.....	55
Figura 48. Panel frontal de la interfaz grafica. Modo de visualización 2.....	56
Figura 49. Panel frontal de la interfaz grafica. Modo de visualización 3.....	57
Figura 50. Diagrama de flujo del programa realizado en LabView™.....	58
Figura 51. VI usado para la captar la hora y fecha actual desde el computador y mostrarla en la grafica cartesiana al momento de ejecutar el programa.....	59
Figura 52. Diagrama de bloques usado para entablar la comunicación con toda la red de sensores.....	60
Figura 53. Diagrama de bloques usado para entablar la comunicación con el sensor A.....	61

Figura 54. Diagrama de bloques usado para cerrar la comunicación y reportar errores en la	62
Figura 55. Resumen del programa en LabView™ para el sensor 3.....	63
Figura 56. Diagrama de bloques simplificado usado para el calculo del el valor máximo.....	64
Figura 57. Diagrama de bloques simplificado usado para graficar en plano cartesiano V_{in} vs. Hora	64
Figura 58. Diagrama de bloques simplificado usado para el diagrama de Tanques	65
Figura 59. Diagrama de bloques simplificado usado para el cálculo de potencia en dBm en el sensor 1.....	65
Figura 60. Diagrama de bloques simplificado para la generación del archivo de Excel con los datos capturados	66
Figura 61. Diagrama de bloques usado para entablar la comunicación con el sensor A. Nótese la estructura de secuencia en rojo.....	67
Figura 62. Diagrama general para la conexión del hardware.....	69
Figura 63. Imagen general del software de simulación CST	71
Figura 64. Patrón de radiación de campo lejano a 800MHz.....	72
Figura 65. Patrón de radiación de campo lejano a 900MHz.....	72
Figura 66. Patrón de radiación de campo lejano a 1.6GHz.....	73
Figura 67. Patrón de radiación de campo lejano a 1.9GHz.....	74
Figura 68. Patrón de radiación de campo lejano a 2.4GHz.....	74
Figura 69. Detalle de la antena logarítmica periódica SAS-510-4.....	76
Figura 70. Posición de la antena logarítmica con respecto a al antena transmisora	77
Figura 71. Imagen tomada del analizador de espectros usando la SAS-510-4 con	77
Figura 72. Posición de la antena espiral de Arquímedes con respecto a la antena de.....	78
Figura 73. Señal captada en el analizador de espectros usando la antena espiral de	78
Figura 74. Ubicación de la antena logarítmica con respecto a la antena de transmisión	79
Figura 75. Imagen del analizador de espectros usando la SAS-510-4 con polarización	79
Figura 76. Posición de la antena espiral con respecto a la antena transmisora. Polarización.....	80
Figura 77. Señal captada en el analizador de espectros usando la antena espiral de	80
Figura 78. Posición de la antena espiral con respecto a la antena transmisora.....	81
Figura 79. Señal captada por la antena polarizada verticalmente pero su cara principal no.....	81
Figura 80. Posición de la Espiral con respecto a la antena transmisora. Nótese la presencia.....	82
Figura 81. Prueba realizada igual que en la Figura 72 pero con la antena rotada 180°	82
Figura 82. Ubicación de la antena logarítmica con respecto a la antena de transmisión	84
Figura 83. Espectro FHSS tomado gracias a la polarización vertical de la antena logarítmica periódica. Frecuencia central: 2.435 GHz	84

Figura 84. Ubicación de la antena logarítmica con respecto a la antena de transmisión dentro del Laptop.....	85
Figura 85. Espectro FHSS tomado gracias a la polarización horizontal de la antena logarítmica periódica. Frecuencia central: 2.435 GHz	85
Figura 86. Antena espiral mirando directamente la fuente de radiación sin interferencia dieléctrica	86
Figura 87. Fotografía de la antena espiral mirando directamente la fuente de radiación sin interferencia dieléctrica	86
Figura 88. Grafica del espectro de la señal FHSS enviada por la tarjeta de red y recibida por la antena espiral de Arquímedes. Frecuencia central: 2.435 GHz.....	87
Figura 89. Presencia de múltiples fuentes de radiación en el área de trabajo. Imagen tomada desde el computador	88
Figura 90. Grafica de la ubicación de exacta del sitio donde se realiza la prueba.....	89
Figura 91. Arreglo espacial Laptop-Antena Espiral. Posición inicial de la antena emisora	90
Figura 92. Fotografía del arreglo espacial Laptop-Antena Espiral. Posición inicial de la.....	90
Figura 93. Señal tomada en el analizador de espectro usando la antena espiral de Arquímedes. Frecuencia central: 2.4364 GHz	91
Figura 94. Posición de la antena logarítmica periódica con respecto a la antena emisora.....	91
Figura 95. Señal obtenida con la antena logarítmica periódica polarizada horizontalmente apuntando a la fuente de radiación. Frecuencia central: 2.437 GHz	92
Figura 96. Antena Espiral de perfil a la fuente emisora. Rotación de 90° con respecto a la vertical	93
Figura 97. Grafica tomada al colocar la antena de filo a la antena emisora. Nótese la caída de la señal. Frecuencia central: 2.4364 GHz	93
Figura 98. Nueva posición de la antena logarítmica. Rotación de 90° con respecto a la horizontal.....	94
Figura 99. Grafica de la señal capturada para la antena logarítmica apuntando hacia arriba. Frecuencia central: 2.4364 GHz	95
Figura 100. Arreglo espacial Laptop-Antena Espiral. Esta ultima con el lóbulo principal apuntando hacia arriba.....	95
Figura 101. Grafica de la señal capturada para la antena espiral apuntando hacia arriba. Frecuencia central: 2.4364 GHz	96
Figura 102. Antena corneta usada para transmitir la señal que debe recibir la antena receptora de prueba	98
Figura 103. Patrón de ganancia de la antena banda ancha HG2404CU	99
Figura 104. Fotografía de la polarización horizontal de la antena HG2404CU usada para graficar el patrón de radiación horizontal de la misma	99
Figura 105. Patrón de radiación horizontal de la antena HG2404CU.....	100

Figura 106. Patrón de radiación 3D horizontal de la antena HG2404CU.....	100
Figura 107. Fotografía de la polarización vertical de la antena HG2404CU usada para graficar el patrón de radiación vertical de la misma.....	101
Figura 108. Patrón de radiación vertical de la antena HG2404CU.....	101
Figura 109. Patrón de radiación 3D vertical de la antena HG2404CU.....	102
Figura 110. Fotografía de la polarización vertical de la antena espiral de Arquímedes usada para graficar el patrón de radiación vertical de la misma.....	102
Figura 111. Patrón de radiación vertical de la antena espiral de Arquímedes.....	103
Figura 112. Fotografía de la polarización horizontal de la antena espiral de Arquímedes.....	104
Figura 113. Patrón de radiación horizontal de la antena espiral de Arquímedes.....	104
Figura 114. Letra de identificación (CH1) y ventana de transmisión (CH2).....	105
Figura 115. Diferencia entre los tiempos de la letra de identificación y la ventana de control.....	106
Figura 116. Retardo de tiempo programado en el microcontrolador medido con respecto al dato que este mismo envía.....	106
Figura 117. Tiempo de procesamiento de la tarjeta sensora.....	107
Figura 118. Tiempo de procesamiento de LabView.....	108
Figura 119. Tiempo de procesamiento de LabView. Muestra #2.....	108
Figura 120. Tiempo de procesamiento de LabView. Muestra #3.....	109
Figura 121. Tiempo de procesamiento de LabView. Ventana de control.....	109
Figura 122. Fotografía de la conexión directa del sensor 3 con el generador RF.....	110
Figura 123. Grafica del valor de potencia enviado por el generador RF vs. El valor de potencia mostrado por la red de sensores. Nótese como se rectifican los datos para obtener una buena aproximación.....	111
Figura 124. Grafica de Voltaje RMS Vs. Frecuencia de entrada. Potencia de la señal de entrada constante e igual a 3dBm. Sensor 3.....	112
Figura 125. Configuración #1 de las antenas y la fuente de radiación. No esta a escala.....	113
Figura 126. Grafica capturada gracias a la configuración #1 de la señal enviada por el generador de RF. Frecuencia de 850 MHz a 13 dBm.....	114
Figura 127. Configuración #2 de las antenas y la fuente de radiación. No esta a escala.....	115
Figura 128. Grafica capturada gracias a la configuración #2 de la señal enviada por el generador de RF. Frecuencia de 850 MHz a 13 dBm.....	115
Figura 129. Configuración #1 de las antenas con respecto a la fuente de radiación. No esta a escala.....	116
Figura 130. Fotografía de la configuración #1 usando celulares Movistar en el centro del área de detección.....	117
Figura 131. Grafica de las señales capturadas por la red de sensores. Señal emitida por dos aparatos de telefonía celular de Movistar ubicados en el centro de la red.....	118

Figura 132. Patrón de radiación de un teléfono celular a una frecuencia de 900MHz	118
Figura 133. Configuración #2. Fuentes de Radiación a 1 [m] del sensor 2 y a 2[m] del sensor 3. No esta a escala	119
Figura 134. Grafica de las señales capturadas por la red de sensores. Señal emitida por dos aparatos de telefonía celular de Movistar ubicados más cerca del sensor 2 que del sensor 3.....	119
Figura 135. Configuración #3. Fuentes de Radiación a 1 [m] del sensor 3 y a 2[m] del sensor 2. No esta a escala	120
Figura 136. Grafica de las señales capturadas por la red de sensores. Señal emitida por dos aparatos de telefonía celular de Movistar ubicados más cerca del sensor 3 que del sensor 2.....	120
Figura 137. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 30 [cm] de la antena y en el mismo plano horizontal	121
Figura 138. Montaje básico usado para analizar el funcionamiento de la tarjeta sensora 3 ante una excitación a 850MHz.....	121
Figura 139. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 1 [m] de la antena HG2404CU.....	122
Figura 140. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 2 [m] de la antena HG2404CU.....	122
Figura 141. Montaje básico usado para analizar el funcionamiento de la tarjeta sensora 3 ante una excitación a 850MHz incluyendo el patrón de radiación vertical de la antena HG2404CU. No esta a escala	123
Figura 142. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 3 [m] de la antena HG2404CU.....	123
Figura 143. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 4 [m] de la antena HG2404CU.....	124
Figura 144. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 5 [m] de la antena HG2404CU.....	124
Figura 145. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 6 [m] de la antena HG2404CU.....	124
Figura 146. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 7 [m] de la antena	124
Figura 147. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 8 [m] de la antena	125
Figura 148. Grafica de la variación de potencia máxima detectada vs. Distancia. 850 MHz.....	125
Figura 149. Patrón de Radiación de la antena banda ancha HG2404CU.....	126
Figura 150. Montaje básico número 2. Cambia el patrón de radiación vertical por el de radiación horizontal. No esta a escala	126
Figura 151. Plano sobre el cual se realiza la prueba fuera de la habitación. Nótese no solo la distancia que separa a la antena transmisora de la receptora sino la cantidad de objetos que interfieren con la detección	127

Figura 152. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz fuera de la habitación en la que se encontraba la antena HG2404CU127

Figura 153. Configuración #1 de las antenas con respecto a la fuente de radiación.....128

Figura 154. Grafica de las señales capturadas por la red de sensores. Señal emitida por dos aparatos de telefonía celular de Tigo ubicados en el centro de la red129

Figura 155. Grafica de la señal capturada por el sensor 3. Señal emitida por dos aparatos generadores de radiación130

Figura 156. Grafica de las señales capturadas por la red de sensores. Señal emitida por un Access Point ubicado en el centro de la red.131

Figura 157. Diagrama general para la conexión del hardware.....133

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre la Fase 1 y la Fase 2 de la red de sensores para la detección de.....	1
Tabla 2. Cotización de la antena HG2404CU.....	15
Tabla 3. Características de los adaptadores N-Macho a SMA-Hembra.....	16
Tabla 4. Principales características de la antena banda ancha HG2404CU.....	16
Tabla 5. Relación de voltajes de salida con resistencias de polarización.	20
Tabla 6. Salidas lógicas para las dos diferentes condiciones del detector de batería baja.....	21
Tabla 7. Condiciones de la entrada LBO del MAX9030 y su respectiva salida ante tal entrada.....	23
Tabla 8. Configuraciones del AD8361	26
Tabla 9. Tabla de estados de recepción de datos del MAX485	33
Tabla 10. Consumo total de potencia en la tarjeta sensora.	34
Tabla 11. Dimensiones y características de la antena espiral de Arquímedes	43
Tabla 12. Descripción de las diferentes funciones del panel frontal en modo de visualización 1	54
Tabla 13. Descripción de las diferentes funciones del panel frontal en modo de visualización 2.....	56
Tabla 14. Descripción de las diferentes funciones del panel frontal en modo conversión	57
Tabla 15. Número total de datos capturados por segundo para diferentes cantidades de sensores trabajando al mismo tiempo.....	60
Tabla 16. Parámetros que definen la comunicación serial en LabView™	62
Tabla 17. Tabla final generada por el programa creado en LabView™	67
Tabla 18. Descripción de las pruebas realizadas con la red en diferentes fases del trabajo de.....	70
Tabla 19. Cotización hecha para la posible compra de antenas logarítmicas periódicas entre.....	75
Tabla 20. Características físicas de la antena logarítmica periódica.....	76
Tabla 21. Frecuencias de trabajo de cada canal según el estándar IEEE802.11	83
Tabla 22. Conclusiones de la práctica realizada al comparar la espiral de Arquímedes con la antena logarítmica periódica SAS-510-4.....	97
Tabla 23. Valores recomendados de resistencias para acople de entrada a diferentes frecuencias.....	129
Tabla 24. Conclusiones finales de las pruebas realizadas.....	132
Tabla 25. Características técnicas del equipo final.	134
Tabla 26. Elementos resistivos usados en la construcción de una tarjeta sensora.	145
Tabla 27. Elementos capacitivos usados en la construcción de una tarjeta sensora.	145

Tabla 28. Dispositivos usados en la construcción de una tarjeta sensora.	146
Tabla 29. Elementos resistivos usados en la construcción de la tarjeta central.	147
Tabla 30. Elementos capacitivos usados en la construcción de la tarjeta central.	147
Tabla 31. Dispositivos usados en la construcción de la tarjeta central.	147

1. LOGROS

Para atraer al lector a un análisis detallado de este libro de grado, en primer lugar se exponen los alcances del mismo y la diferencia entre las dos fases que hasta el momento comprenden este trabajo de grado. Para esto se presenta una tabla comparativa entre las dos etapas.

Tabla 1. Comparación entre la Fase 1 y la Fase 2 de la red de sensores para la detección de radiación electromagnética no ionizante

PROPIEDAD	FASE 1	FASE 2
Número de Sensores	1	4 con facilidad de Expansión
Técnica de impresión PCB	Cloruro Ferrico	Fotograbado
Tecnología usada	DIP y MSOP	MSOP, SSOP, DIP, SMD, SOIC, μ MAX y SO
Antena	Whip	Banda Ancha (Espiral de Arquímedes y HG2404CU)
Simulación de la Antena	No Aplica	CST Studio (Espiral de Arquímedes)
Posible cambio en la Antena	Imposible	Posible gracias a conectores SMA
Voltaje Regulado	No Aplica	Si Aplica (MAX667)
Detección E Indicación de Batería Baja	No Aplica	Si Aplica (MAX667 y MAX9030)
Rango de Detección	900 MHz	800 MHz a 2.5 GHz
Voltaje DC Máximo de Detección	3 [V]	5 [V]
Indicadores Visuales	Densidad de Potencia Baja, Media y Alta	Indicador de encendido, batería baja y transmisión
Distancia de Transmisión	No Aplica	1200 metros
Comunicación con PC	No Aplica	Si Aplica (RS-232)
Visualización de Datos	No Aplica	Interfaz Grafica
Medición de Densidad de Potencia	No Aplica	Si Aplica
Almacenamiento de Datos	No Aplica	Archivo en Excel
Area de Cubrimiento	1 solo punto de Detección	4 Puntos de Detección con facilidad de Expansión
Concentrador de Información	No Aplica	Si Aplica (Tarjeta Central)
Triangulación	No Aplica	Posible Triangulación de fuentes de emisión
Tamaño Tarjetas Sensoras	6[cm]x6,5[cm]	9,5[cm]x5[cm]
Alimentación	3 [V]	9 [V]

Fuente: Autor

Los alcances que competen a esta fase en el desarrollo de la red de sensores son los que se exponen a continuación.

1. Brindar una introducción del por que el interés en desarrollar una red de sensores para monitorear la radiación electromagnética no ionizante dentro de esta banda de frecuencias.
2. Diseñar e implementar una red de sensores que pueda detectar radiación electromagnética desde los 800 MHz hasta los 2.5 GHz. Esto con el fin de poder revelar la presencia de fuentes de radiación en un área en particular; como podrían ser emisiones provenientes de celulares, conexiones inalámbricas Wi-Fi y cualquier otra que se encuentre en este rango de frecuencias. Para tal fin, la red de sensores presenta una sensibilidad que va desde los -22 dBm y entre los 8 y los 10 dBm (dependiendo de la frecuencia).
3. Poder concentrar todos los datos recopilados de la red en un solo punto (Tarjeta Central) para que estos puedan ser enviados por medio del puerto serial RS-232 al computador. De esta manera, dichos datos pueden ser visualizados en LabView para que el usuario del software los analice, valore e interprete.
4. Poder ofrecer al operario del sistema una herramienta para la visualización de los datos capturados. Este instrumento debe poder brindar la información de la manera mas clara y precisa y además debe poseer diversas maneras de representar los datos según el usuario lo crea conveniente. Para este ultimo objetivo, se debe tener en cuenta que el software de visualización no debe sobrecargar la estación de trabajo e influir negativamente en el número de datos que pueden ser adquiridos.
5. Brindar la posibilidad de expandir la red, permitiendo la ampliación del área de detección. Esto se hace con el fin de permitir que un futuro se pueda situar una fuente en particular con una mayor cantidad de sensores y con un menor porcentaje de error su ubicación.
6. Posibilitar que el operario de la red escoja el tipo de antena que el crea conveniente (Direccional u Omnidireccional, Banda Ancha o Banda Fija) para la detección de una radiación en particular (Entre los 800MHz y los 2.5GHz). Esto se hace con el uso de antenas externas y adaptadores para los conectores, ya que la tarjeta sensora cuenta con un conector SMA no reverso a su entrada.

En este orden de ideas, se procede a iniciar con una descripción detalla de todos los elementos que se encuentran presentes dentro de este libro de grado.

2. INTRODUCCION

La radiación electromagnética no ionizante es producida por todos los dispositivos electrónicos que usamos y se encuentra ubicada en un amplio rango de frecuencias, tanto bajas como altas y por ende existe en casi todos los ambientes en los que el hombre se desenvuelve habitualmente. Esta se define de manera formal como aquella que no puede separar electrones de los átomos o alterar las estructuras moleculares. Sin embargo, la radiación electromagnética de baja frecuencia es una forma de energía, capaz de hacer que las moléculas vibren.

Existen problemas graves cuando se habla de este tipo de radiación. Uno de estos es que no se cuentan con estudios a largo plazo y concluyentes acerca de cómo esta clase de exposición constante y progresiva del ser humano a la radiación no ionizante, puede afectar el organismo y que tanto influyen todas las nuevas tecnologías, en especial en el área de las comunicaciones, dentro de las enfermedades que arremeten contra el ser humano hoy en día. Hasta este momento, solo se le atribuye irrefutablemente a este tipo de radiación la transmisión de energía calorífica. Pero por otra parte existen estudios poblacionales y epidemiológicos que correlacionan significativamente la radiación electromagnética no ionizante con daños a la salud humana. Por ejemplo, un estudio realizado por un grupo de investigación alemán (Horst Eger et al., 2004) [1] señala que la probabilidad de cáncer aumenta en tres veces en la población que vive dentro de un radio de 400 metros de una antena de telefonía móvil en comparación con la población que vive fuera de ese radio. Otro estudio alemán realizado por el Dr. Ferdinand Ruzicka [2], señala que el promedio de vida disminuye en 10 años en los habitantes que viven cerca de una antena emisora de contaminación electromagnética, si se comparan con los que viven lejos de una. Por otra parte, dejando de un lado los supuestos efectos nocivos a la salud humana, otro problema que se puede encontrar es la interferencia que esta radiación puede producir sobre diferentes sistemas y como la polución electromagnética obstruye el correcto funcionamiento de estos equipos. Además por cuestiones de seguridad el uso de equipos que emitan radiación se encuentra restringido en ciertos ambientes, tales como estaciones de gasolina, entidades bancarias, cárceles y otros entornos, pero es bastante difícil controlar estas emisiones y se hace necesario el uso de dispositivos especializados capaces de detectar, bloquear o ubicar las fuentes de dicha radiación para poderlas controlar o eliminar.

De esta manera el grupo investigación CEMOS¹ de la Universidad Industrial de Santander, adscrito a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones y con la asistencia del estudiante de maestría Ing. José Rúgeles, ha logrado desarrollar una red de sensores capaz de detectar las fuentes de radiación presentes en un área específica.

La finalidad de este trabajo de grado es la detección campos electromagnéticos que se encuentran presentes dentro de un volumen en particular. El trabajo que se presenta a continuación es la segunda fase en el desarrollo total de esta red y sus antecedentes se encuentran descritos mas adelante.

¹ *Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación.*

Con la finalidad de explicarle al lector de manera clara y concisa en que consiste este trabajo de grado, se debe decir en primer lugar que el sistema ha sido diseñado pensando en un alto grado de portabilidad empleando tecnología SMT (Surface Mount Technology), brindando indicaciones luminosas al operario para advertir de posibles fallas o malfuncionamientos, maximizando el número de datos que se pueden capturar por segundo, evitando la pérdida o corrupción de dichos datos implementando estándares como el RS-485 y protocolos de comunicación como el Profibus. Finalmente, se presenta al operario final toda la información recopilada de la manera mas clara y explicita pero al mismo tiempo, evitando que el usuario se sature de información innecesaria; esto se hace implementando un interfaz grafica elaborada en LabView™.

Para lograr todo lo anterior, se usa una antena banda ancha para capturar la señal de interés (HG2404CU); en seguida se usa un sensor de radiofrecuencia (AD8361) que captura una señal electromagnética y la transforma en una tensión de corriente directa. Luego, esta tensión es digitalizada mediante un microcontrolador (PIC16F88) el cual tiene conectado a su salida un integrado emisor-receptor (MAX485). Este último permite entablar una comunicación, de aproximadamente 1.2 [km], con otro integrado emisor-receptor (MAX485) y así transmitir el dato hasta una tarjeta central que hace las veces de concentrador, recibiendo toda la información proveniente de la red. Después de esta recepción en la tarjeta central, los datos son convertidos a un estándar entendible por el puerto serial del computador (RS-232) con que se está trabajando (MAX232) para que finalmente este computador procese toda la información recopilada con el software diseñado en LabView™. Todo este proceso se describe paso a paso y en mayor detalle, dentro de este libro de grado.

Para justificar el correcto funcionamiento de la red de sensores, se realizaron múltiples pruebas de laboratorio y otros ambientes. Dichas pruebas se encuentran consignadas en el capítulo “PRUEBAS REALIZADAS”. En estas se emplearon diferentes dispositivos tales como: generador de RF con barrido en frecuencia y potencia (Marconi Instruments 2023), teléfonos móviles operando a diferentes frecuencias, analizadores de espectro (Rohde & Schwarz. FSP Spectrum Analyzer. 9Hz a 40 GHz), software de simulación de campos electromagnéticos (CST Studio) y un sistema que permite la medición del patrón de radiación de diferentes antenas (LVDAM-ANT - Antenna Training and Measuring System), entre otros. Además, se realizaron diversos montajes en los cuales se usaron antenas banda ancha, banda dual y banda fija. Con todas estas pruebas se ha logrado concluir que la red de sensores es capaz de detectar señales que varían entre los 800MHz y 2.5GHz, y -21 dBm a los 8 dBm o 9,9 dBm dependiendo de la frecuencia.

3. ANTECEDENTES

Título: Equipo para detección de radiación electromagnética no ionizante
Presentado por: Gustavo Adolfo Reyes Torres

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico mecánicas
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Bucaramanga
2006

En ese trabajo de grado se cumplieron con los siguientes objetivos:

Objetivo General

Construir un equipo portátil capaz de detectar la presencia de radiación electromagnética no ionizante proveniente de un teléfono móvil.

Objetivos Específicos

- Hacer el equipo sensible a la radiación proveniente de un teléfono móvil en el momento en que éste recibe una llamada.
- Caracterizar la respuesta del equipo en términos de distancia y frecuencia en un rango que cubra la banda de operación de los teléfonos móviles y empleando los equipos adecuados para tal fin, disponibles en la E3T.
- Evaluar el desempeño del equipo con diferentes teléfonos móviles.

Como se puede observar, en la primera fase del trabajo de grado se profundizó en el desarrollo de un equipo que usara el sistema sensor AD8361 pero se enfocó al diseño de un solo dispositivo de detección a una frecuencia fija ya que la antena de recepción era una antena whip diseñada sobre PCB.

La continuación lógica de este trabajo de grado sugiere la creación de una red de sensores que puede monitorear un área mucho más amplia y que, a su vez, permita mas adelante la triangulación de señales dentro dicha área en un rango de frecuencias determinado. Tomando como referencia el trabajo realizado en la primera fase y teniendo en cuenta las conclusiones, observaciones y resultados presentados por su autor, se procede al desarrollo del presente trabajo de grado.

4. MARCO TEORICO

4.1. Radiación electromagnética no ionizante

Una corriente eléctrica alterna (AC) se define como el movimiento de electrones en una misma dirección, usualmente a través de un alambre. Esta corriente produce dos tipos de campos: Un campo eléctrico AC y un campo magnético AC, ambos forman lo que se llama un campo electromagnético. Los campos eléctricos de la corriente alterna resultan de la intensidad de la corriente y los campos magnéticos resultan del movimiento de las cargas. El campo eléctrico representa la fuerza que las cargas eléctricas ejercen sobre otras cargas, y esta fuerza puede repeler o atraer. El campo magnético se forma alrededor de la corriente y se irradia en ángulo recto respecto a la dirección de la corriente.

Características:

- Toda la radiación electromagnética viaja a la velocidad de la luz.
- La frecuencia de la radiación electromagnética define su carácter.
- A altas frecuencias la radiación se denomina “radiación ionizante” y puede causar cáncer cuando se rompen las moléculas de ADN. A frecuencias bajas, la radiación electromagnética es “no ionizante”, lo que significa que no puede separar electrones de los tomos o alterar las estructuras moleculares. Sin embargo, la radiación electromagnética de baja frecuencia es una forma de energía, y esta fuerza energética puede hacer que las moléculas vibren.

Los campos electromagnéticos de diferentes fuentes pueden adicionarse o cancelarse mutuamente. Esto es debido a las características de las ondas de la radiación electromagnética. Si la radiación de dos fuentes está en fase, entonces los picos de cada ciclo ocurren al mismo tiempo, y los campos se adicionan. Por otro lado, si dos fuentes están exactamente fuera de fase, entonces una alcanza su máxima intensidad en una dirección, exactamente al mismo tiempo que la otra fuente lo está alcanzando en la dirección opuesta y se cancelan.

Debido a estas adiciones, atenuaciones, cancelaciones, efectos térmicos e interferencias, entre otros, en muchos casos este tipo de emisión electromagnética no es deseada y se le puede considerar un tipo de contaminación. La contaminación electromagnética, a veces también conocida como electropolución, es la contaminación producida por las radiaciones del espectro electromagnético generadas por equipos electrónicos u otros elementos producto de la actividad humana. Teniendo esto en cuenta, es posible suponer que muchas veces estas fuentes de contaminación deben ser desactivadas o removidas de un entorno en particular puesto que pueden alterar el correcto funcionamiento de dispositivos o aun peor, transmitir en una banda de frecuencias o en un periodo de tiempo no autorizado.

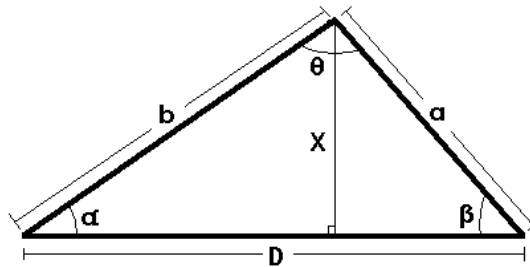
Existen diversas maneras de detectar una fuente de radiación. Entre ellas se encuentran termistores, termocuplas y diodos. Estos dispositivos de detección presentan sus ventajas y desventajas y su estudio a profundidad es presentado en el trabajo de grado referenciado

como [3] y por esto se obvia su estudio dentro de este libro. Para alcanzar los objetivos planteados para este trabajo de grado se usa en el sistema de detección un sensor de radio frecuencia que hace las veces de transductor, al convertir una señal con valor RMS a un valor de tensión DC, teniendo en cuenta sus características de amplio rango dinámico, consumo de energía, tamaño, versatilidad en el funcionamiento y buen precio. Estos valores de señal DC a la salida del transductor son enviados a una estación de trabajo para su posterior graficación y análisis. Al tener señales provenientes de una serie de transductores con idénticas características de construcción, alimentación y funcionamiento y con la única diferencia de posición X-Y entre ellos, se puede pensar en una posible triangulación de la fuente de radiación por medio de algoritmos matemáticos.

4.2. Triangulación de señales

En trigonometría y geometría elemental, la triangulación es el proceso de encontrar coordenadas y distancias a θ un punto, calculando la longitud de un lado de un triángulo, dadas las medidas de los ángulos y los lados del triángulo formado por ese punto y dos otros puntos de referencia sabidos, usando la ley de senos.

Figura 1. Triangulación de un punto con 2 puntos de referencia



Fuente: Autor

En la Figura 1, el ángulo θ del triángulo es $180 - \beta - \alpha$, puesto que la suma de los tres ángulos en cualquier triángulo se sabe que es 180 grados. El lado opuesto para este ángulo es D , la cual es una distancia conocida. Se muestra la ley de senos en la Ecuación 1 y esta es la que permite realizar la triangulación.

$$\frac{a}{\text{sen}(\alpha)} = \frac{b}{\text{sen}(\beta)} = \frac{D}{\text{sen}(\theta)} \quad \text{Ecuación 1}$$

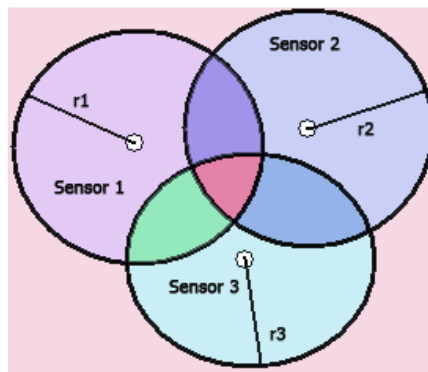
De la Ecuación 1 se conocen los ángulos α , β y la distancia D . Con estos datos conocidos se puede implementar un sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas (a , b y θ) linealmente independiente. Finalmente, la distancia X se puede calcular usando las sencillas ecuaciones que describen un triángulo rectángulo. Dada cualquiera de las longitudes, el seno y el coseno se pueden utilizar para calcular la distancia X que se necesita saber.

Es relativamente sencillo implementar un algoritmo que pueda realizar estos cálculos con un grado aceptable de error. Dicho error estará dado por el número de triángulos que se

puedan formar para poder ubicar un punto en un plano X-Y. Si para el ejemplo de la Figura 1 se contara con uno o más puntos adicionales, el error en el cálculo de la distancia X se vería reducido.

Para este trabajo de grado en particular, no se cuenta con la dirección de los vectores que muestran la ubicación de la fuente de radiación, sino que se cuenta con la magnitud de dicho vector. Este valor de la magnitud normalmente se conoce como RSSI (**Received Signal Strength Indication**). En el primer caso, la dirección del vector se obtiene mediante el uso de antenas direccionales. Estas antenas están diseñadas para recibir señales de una dirección específica y así se puede detectar el punto de donde se recibe mayor potencia; luego trasladando la posición de dicha antena se puede identificar otra dirección. De esta manera se obtienen dos vértices del triángulo para poder calcular la posible posición de la fuente, esta posición sería el tercer vértice de dicho triángulo. Cuando se usan antenas multidireccionales (u omnidireccionales), el método puede cambiar un poco. Estas antenas pueden recibir la misma cantidad de potencia en todas las direcciones, si bien con menos intensidad que las direccionales, y de esta manera no se puede saber la dirección de la cual proviene la potencia, pero si se puede conocer la posición relativa de la fuente. Si se toma el valor de potencia detectado como la magnitud del vector dirección, se puede conocer la distancia a la cual se encuentra la fuente de emisión con respecto a las demás antenas. Esto se muestra mejor en la Figura 2.

Figura 2. Diagrama general para la triangulación de señales usando la magnitud del vector dirección



Fuente: Autor

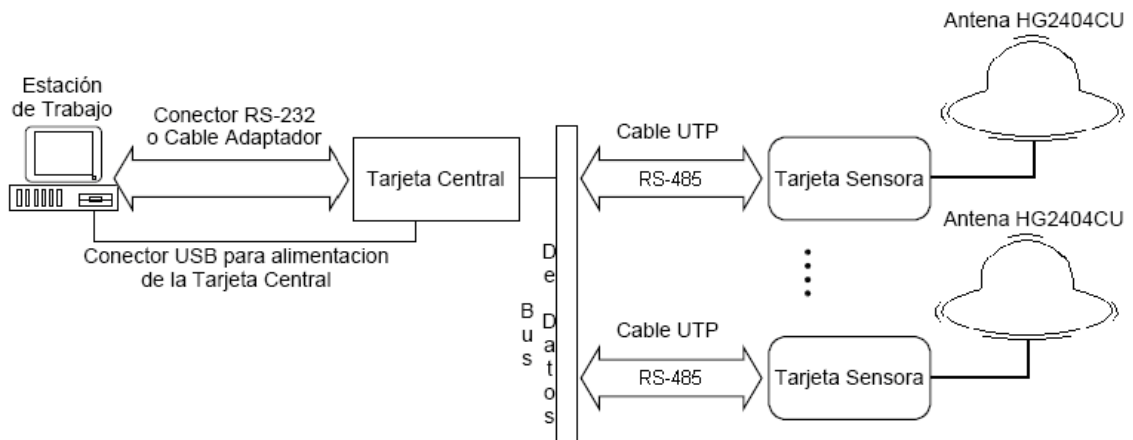
Teniendo el valor de la magnitud del vector dirección se puede dibujar un círculo. Sobre el perímetro de dicho círculo se debe encontrar la fuente de radiación. Ahora si se tiene otro valor para la posición de la misma fuente de radiación, se obtiene un punto sobre el cual se encuentra el origen y así se puede ubicar. El anterior sería el caso ideal, pero en la vida real se presenta un error y las circunferencias no se tocan en un solo punto sino en dos. Esto da como resultado un área de intersección sobre la cual se puede encontrar la fuente que se busca. Para refinar el cálculo y disminuir el error, se debe incluir el mayor número de circunferencias posible y así un mayor número de intersecciones. En este trabajo de grado se usa un valor RSSI que se encuentra entre 0 y 5 [V] y que además puede presentar 256

valores diferentes de potencia debido a la resolución que se usa en la digitalización de la señal analógica del AD8361.

5. DISEÑO FUNCIONAL

Como primera medida se desea ubicar al lector dentro del marco sobre el cual se desarrolla este documento. En la Figura 3 se muestra el esquema general objeto de este capítulo.

Figura 3. Esquema general de las etapas dentro de la red de sensores



Fuente: Autor

Se procederá a explicar cada elemento dentro del sistema uno por uno, partiendo de los elementos que por su ubicación dentro de la red, se encuentran mas cerca a la etapa en la que se captura la señal de interés (Antena).

Para el diseño funcional del sistema se estudian diferentes maneras de implementarlo. Por ejemplo para el caso de la antena receptora se pensó en usar diferentes configuraciones como podrían ser la espiral equiangular o la logarítmica periódica, pero dentro de la variedad de antenas independientes de la frecuencia se escogió la espiral de Arquímedes puesto que su implementación es mas sencilla que las demás, el tamaño final de la antena es menor y se encuentra mayor cantidad de literatura al respecto que de las demás antenas. Todos los elementos mostrados dentro de este diseño funcional se escogen pensando en la miniaturización del dispositivo final, en la reducción de su consumo de potencia total y en maximizar la portabilidad de todo el sistema. La comunicación entre la red y la estación de trabajo se diseña para que su funcionamiento sea el mas practico y económico posible sin la necesidad de usar tarjetas de adquisición de datos u otra serie de dispositivos externos. Además dentro de este diseño se consideran indicaciones o advertencias luminosas necesarias para que el operario final entienda estados de encendido o apagado, transmisión o recepción e indicaciones de batería baja.

5.1. Antena espiral de Arquímedes

Aunque los espirales de Arquímedes y espirales exponenciales tienen diversas ecuaciones que las definen, la práctica demuestra que sus características teóricas no difieren mucho de la realidad. [3]

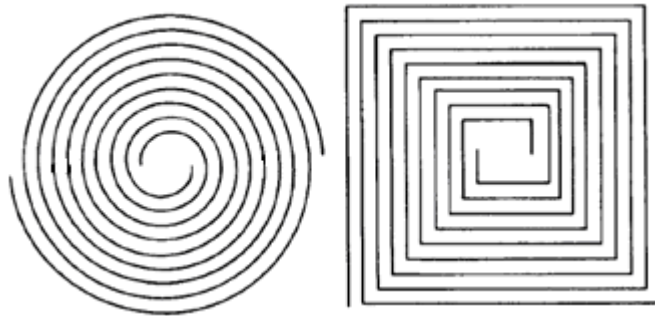
Las longitudes de los brazos de las espirales de Arquímedes pueden ser largas y producir altas pérdidas en el circuito a bajas frecuencias.

El ángulo de envoltura de una espiral de Arquímedes cambia de un alto valor en el centro a un valor bajo en el exterior. La alta tasa de envoltura en el centro excita modos de mayor orden a altas frecuencias. La baja tasa de envoltura en el diámetro externo mejora la forma del patrón a frecuencias bajas. Aunque una espiral exponencial tiene características más uniformes sobre la gama de frecuencia entera, una espiral de Arquímedes es útil. El radio de la espiral de Arquímedes aumenta uniformemente con ángulo dada la Ecuación 2.

$$r = r_0 + a\phi \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde r_0 es el radio inicial y a es la constante de crecimiento. En la Figura 4 se muestran dos formas de espirales de Arquímedes.

Figura 4. Formas posibles de una espiral de Arquímedes



Fuente: **Modern Antenna Design; Milligan**, Thomas A.

Generalmente se hacen las antenas complementarias de tiras de metal de ancho uniforme iguales al espaciamiento entre las tiras. Una línea balanceada alimenta la espiral desde el centro y los brazos espirales crecientes separan las corrientes.

Para irradiar eficientemente la antena debe tener un perímetro de 1.25λ en la frecuencia de funcionamiento más baja. La frecuencia superior determina el espaciamiento entre los puntos de la alimentación en menos de $\lambda/4$, aunque para reducir la radiación en modos altos, deben estar más cercanos [4]. De acuerdo a este texto, para este caso particular la antena debería tener un radio exterior de aproximadamente 7.46cm y uno interno que debe ser menor que 3.125cm.

Estos valores para los radios de la antena son aceptables, pero el inconveniente resultó al no definir la relación entre el ancho de la antena, la separación entre caminos y el número de vueltas con el cual diseñar la antena; por consiguiente no se podría justificar correctamente el montaje de una antena con los valores obtenidos. Se continúa la búsqueda de información al respecto logrando obtener resultados aceptables mas adelante.

También se investigo el diseño de antenas espirales de Arquímedes en “Diseño de una antena **Micro Strip** en modo espiral y circuito de acople para receptores de Ultra ancho de banda” [5].

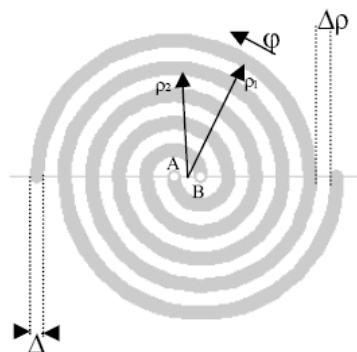
Estas antenas pueden ser construidas usando tecnología PCB económica y exhibir fácilmente impedancia de entrada constante a través de la banda. Aquí se estudian dos problemas; en primer lugar una antena espiral de Arquímedes banda ancha que cubre una banda de frecuencia a partir de 800 MHz a 2.4 GHz la cual se estudió, diseñó y se probó. En segundo lugar, los circuitos de acople capaces de adaptar la impedancia de la antena en la mayor parte del ancho de banda de la antena.

Esta antena se hace de dos líneas de **Micro Strip** impresas en un sustrato dieléctrico. La Ecuación 3 describe matemáticamente el comportamiento de los brazos de la antena de manera general y donde ρ y φ están coordenadas polares, a y b son constantes.

$$\begin{aligned}\rho_1(\varphi) &= a.\varphi + b \\ \rho_2(\varphi) &= a.(\varphi - \pi) + b\end{aligned}\quad \text{Ecuación 3}$$

El espaciamiento entre los conductores ($\Delta\rho$) mostrado en la Figura 5, se elige para ser igual de la línea anchura (Δ) de modo que la antena funcione como auto complementaria. En el texto guía usado no se especifica claramente si estos valores de distancias entre conductores y ancho del mismo se pueden escoger arbitrariamente o si por el contrario existen valores recomendados.

Figura 5. Antena espiral de Arquímedes de dos brazos



Fuente: “**Design of a Spiral-Mode Micro strip Antenna and Matching Circuitry for Ultra-Wide-Band Receivers**”

Las características geométricas de la antena son elegidas con las siguientes reglas:

- El límite más bajo de la banda de trabajo es determinado por el perímetro de la última vuelta de la antena, que es igual a la longitud de onda de la frecuencia más baja.
- El límite superior es fijado por el hecho de que la longitud de onda debe ser igual al perímetro de la región donde está la alimentación de la antena.

Se investiga las características de la antena operando en la gama de frecuencia de 0.8 GHz a 2.4 GHz. Para funcionar la espiral como antena autocomplementaria, se eligen los parámetros como sigue: espacio entre los conductores = 0.5mm; ancho de la línea = 0.5mm; número de vueltas = 2.5. Con estos parámetros la antena tiene un diámetro exterior de aproximadamente 6.28λ (con $\lambda = 0.375\text{m}$ se tendría un diámetro exterior de 2.35 m) funcionando en la frecuencia más baja, y un diámetro interior de $\sim 6.28\lambda$ (con $\lambda = 0.125\text{m}$ se tomaría un radio interno de 78 cm.) en la frecuencia de 2.4 GHz.

Como se puede ver el tamaño de la antena considerada en este trabajo es demasiado grande y además con un área mucho mayor que la considerada anteriormente, pero su montaje y posterior utilización no puede ser descartada por tratarse de una antena estudiada y probada en laboratorio. Además se verá más adelante que el tamaño de la antena Espiral de Arquímedes es inversamente proporcional al número de vueltas de los brazos (en esta referencia solo se trabajó con 2.5 vueltas), por consiguiente este inconveniente de tamaño se podría solucionar de esta manera.

5.1.1. Fabricación antena espiral de Arquímedes

Finalmente se desarrolla la antena espiral de Arquímedes como sigue [4]. La constante de la proporcionalidad se determina de la anchura de cada brazo w y del espaciamiento entre cada vuelta s , el cual para un espiral auto complementario está dado por la Ecuación 4.

$$r_0 = \frac{s + w}{\pi} = \frac{2w}{\pi} \quad \text{Ecuación 4}$$

Así el espaciamiento o la anchura se puede escribir como:

$$s = w = \frac{r_2 - r_1}{4N} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde r_2 es el radio exterior de la espiral y N es el número de vueltas. La Ecuación 5 se aplica solo para una espiral de Arquímedes de dos brazos. El punto de operación de la espiral para la frecuencia baja es determinado teóricamente por el radio externo y dado por la Ecuación 6.

$$f_{low} = \frac{c}{2\pi r_2} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde c es la velocidad de la luz o $c = 299792458$ [m/s]. Si se despeja se encuentra que $r_2 = 5.96$ cm. En la práctica la frecuencia baja será mayor que el predicho por la ecuación anterior debido a las reflexiones al final de la espiral. Las reflexiones pueden ser reducidas usando una carga resistiva en el extremo de cada brazo o agregando una pérdida de conductividad a una cierta parte de la vuelta externa de cada brazo. De igual manera el punto de funcionamiento de alta frecuencia se relaciona con el radio interno por la Ecuación 7.

$$f_{high} = \frac{c}{2\pi r_1} \quad \text{Ecuación 7}$$

También, el límite de alta frecuencia puede ser menor que el encontrado en la Ecuación 7, debido a los efectos de la región de la alimentación. Se puede obtener entonces el valor de r_1 siendo este igual a 1.98cm. Por estos dos motivos se diseña primero una antena con los valores de frecuencia deseados, es decir entre 800MHz y 2.4GHz para realizar pruebas iniciales. De esta forma se determinara el ancho de banda real de la antena y si su intervalo de trabajo no es el correcto se pensara como primera medida en un error de la naturaleza presentada anteriormente.

Ahora, si se propone una antena autocomplementaria, se debe decir que $S = W$ y entonces se reemplaza en la formula dada en la Ecuación 8.

$$s = w = \frac{r_2 - r_1}{4N} \quad \text{Ecuación 8}$$

Y se obtiene un valor de $N = 19.86$ vueltas el cual se aproxima a 20 vueltas.

Al ser ecuaciones aproximadas y donde se desprecian varios términos y variables, se aconseja al momento de las pruebas, si se encuentra que el ancho de banda es menor que el deseado, diseñar una nueva espiral con una frecuencia de corte bajo menor que la deseada y una de corte alto mayor que la que se está buscando. Este proceso se debe hacer a prueba y error pues en ningún momento se especifica dentro de las formulas la naturaleza del material del que se fabrica la antena y por ende los resultados variaran dependiendo del material usado.

5.2. Antena HG2404CU

El grupo de trabajo es el primero en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, en diseñar y fabricar una antena banda ancha espiral de Arquímedes y gracias a esto, se muestra que es posible hacerlo logrando interesantes resultados. También

se presenta la imperativa necesidad de adquirir equipos de laboratorio como cámaras anecoicas, analizadores de espectro que alcancen los 5GHz, generadores de radio frecuencia que puedan generar señales con diferentes tipos de modulación hasta los 5GHz, cables de conexión, adaptadores y antenas patrón, entre otras cosas. Todo esto para facilitar la construcción de este tipo de tecnologías.

En el capítulo de “PRUEBAS REALIZADAS”, sección “Pruebas realizadas con el analizador de espectros **Rohde & Schwarz. FSP Spectrum Analyzer 9Hz a 400GHz**” se explica en detalle como se comporta la antena espiral de Arquímedes ante diferentes condiciones y diferentes señales. Finalmente se logra concluir que presenta características bastante interesantes gracias a su relación costo/beneficio. Su montaje dentro de este proyecto de grado es tenido en cuenta por su gran aporte formativo y lo benéfico de su realización para el equipo de trabajo, pero se deja a un lado debido a que no se tiene un patrón de radiación conocido puesto que no se cuentan con los equipos de laboratorio necesarios para tal fin. Asimismo, también se desconocen la resistencia de entrada, el ángulo de directividad y la carta de Smith, entre otros. Esto es un gran inconveniente porque no se puede asegurar el correcto funcionamiento de esta antena a través de todas las frecuencias de trabajo necesarias. Tampoco se puede asegurar un acople correcto entre la antena receptora, el cable de conexión y el sensor AD8361. La directividad de la antena ha sido comprobada mas no se puede demostrar irrefutablemente esta propiedad, ni definirla físicamente usando un ángulo de directividad, mostrando al usuario la carta de Smith o el patrón de ganancia.

Por todos estos motivos, se decide implementar finalmente la antena HG2404CU disponible en el laboratorio de medios de transmisión de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander. Esta antena fue adquirida por el laboratorio de medios de transmisión gracias a la gestión realizada por el grupo de trabajo y a la colaboración de varias personas, entre ellas el Ing. José Rúgeles. A continuación se muestra en la Tabla 2 el valor y la referencia de la antena cotizada.

Tabla 2. Cotización de la antena HG2404CU

Tipo de Conector	Referencia	Precio Directo
N-Hembra	HG2404CU-NF	Cantidad 1-9: \$21.99 c/u

Fuente: **HyperLink Technologies**

Se compraron 5 antenas de este tipo a nombre de la Universidad Industrial de Santander con la finalidad de ser usadas en el laboratorio de medios de transmisión pero sus características son ideales para este proyecto de grado. Además de estas antenas, también se adquirieron adaptadores de N-Macho a SMA-Hembra con polaridad normal. En la Tabla 3 se muestran sus características.

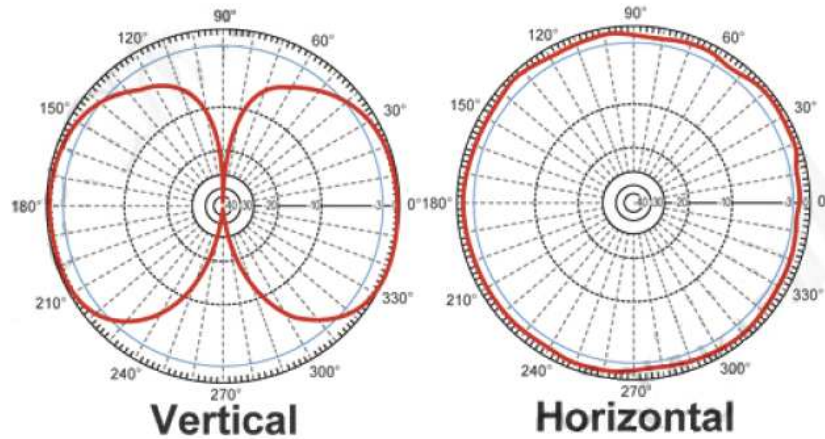
Tabla 3. Características de los adaptadores N-Macho a SMA-Hembra

Impedancia	Rango de Frecuencia	Cuerpo	Contacto	Precio
50 Ohms	DC ~ 11 GHz	Latón Niquelado	Latón con recubrimiento de Oro	\$3.99 c/u

Fuente: **HyperLink Technologies**

De este tipo de conectores también se adquieren 5 dando un total de \$129.90 los cuales son aportados por la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. A continuación se presenta en la Figura 6 el patrón de ganancia de esta antena banda ancha.

Figura 6. Patrón de ganancia de la antena banda ancha HG2404CU



Fuente: **HyperLink Technologies**

En la Figura 6 se puede apreciar como esta antena banda ancha es omnidireccional en su eje horizontal y como es direccional o directiva en su eje vertical. Por último se presenta al lector una tabla con un resumen de las características de esta antena banda ancha.

Tabla 4. Principales características de la antena banda ancha HG2404CU

Frecuencia	800MHz-3GHz
Ganancia	3.5dBi
Angulo directivo vertical	90°
Angulo directivo horizontal	360°
Impedancia	50 Ohms
Máx. Potencia de salida	50 Watts
VSWR	<1.5:1 en promedio
Peso	0.94 lb. (0.35kg)
Dimensiones	180mm diámetro, 70mm alto

Fuente: **HyperLink Technologies**

5.3. Regulación de voltaje y detección de batería baja

Por ser un equipo portátil, el consumo de potencia es un aspecto a considerar en estos casos. Indicaciones visuales usando led's, son siempre una buena manera de indicar al operador de la red que sus dispositivos se encuentran en un umbral de trabajo poco estable y que probablemente los datos arrojados no son correctos o que muy pronto el equipo dejara de funcionar parcial o totalmente.

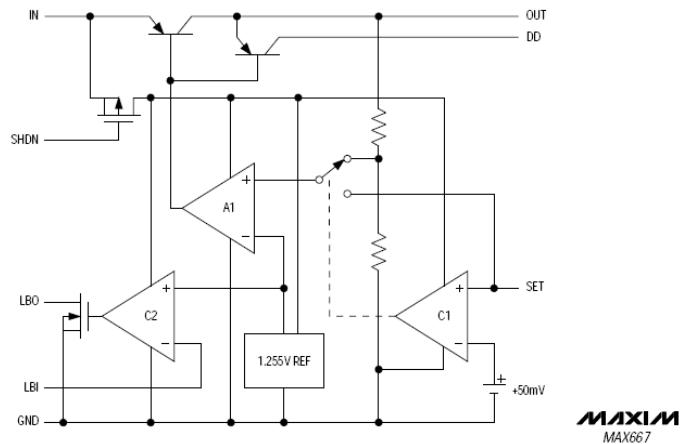
Además la regulación de voltaje se hace indispensable al momento de transmitir los datos. Se debe asegurar que el microcontrolador que esta digitalizando la señal proveniente del AD8361 tenga un voltaje DC de referencia con muy pocas variaciones o en lo posible fija, para así lograr una conversión análoga digital coherente y a la vez disminuir errores en la comunicación entre el microcontrolador y la tarjeta central.

Para lograr los dos objetivos propuestos anteriormente, se emplean dos circuitos integrados: uno es el regulador de voltaje y el otro es un circuito comparador de baja potencia con indicación visual en LED de una condición de batería baja ajustable. Estos dos sistemas son descritos detalladamente a continuación.

5.3.1 Regulador de voltaje

En esta etapa se usa el MAX667 de **Maxim Integrated Products**, el cual es un regulador lineal de voltaje cuyo valor a la salida es ajustable. En la Figura 7 se presenta al lector el diagrama de bloques del sistema regulador.

Figura 7. Diagrama de bloques del MAX667

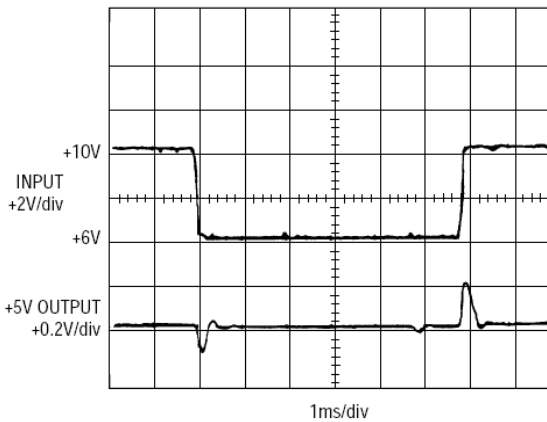


Fuente: **Maxim Integrated Products**

El MAX667 es un regulador de voltaje que trabaja dentro del rango de 3.5V a 16.5V.

Su principal característica es la flexibilidad que ofrece, pues se puede escoger el valor de voltaje que se desea a la salida de este dispositivo con el arreglo de un juego de resistencias. Este voltaje es la alimentación que se usa para todos los elementos presentes dentro del sistema final.

Figura 8. Respuesta dinámica a cambios bruscos en la entrada del MAX667



Fuente: **Maxim Integrated Products**

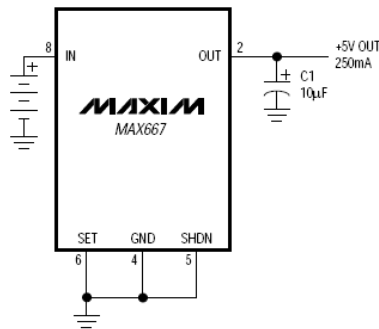
Como se muestra en la Figura 8 este integrado presenta pocas variaciones de voltaje a su salida en presencia de cambios grandes de magnitud a la entrada en poco tiempo.

Toda la red de sensores se diseña para ser alimentada por baterías. El sistema de alimentación busca ofrecer al equipo características de portabilidad, seguridad y eficiencia; aunque la transmisión de datos al concentrador ubicado en la tarjeta central se hace de manera cableada, se dispuso el uso de baterías pensando en la tercera fase de este proyecto en el cual se transmitirá la información de manera inalámbrica usando, por ejemplo, la tecnología Zig-Bee. De todas formas el uso de este tipo de alimentación disminuye el número de cables presente y de esta manera hace la red de sensores lo más portátil posible.

Al no poseer una fuente de alimentación constante, puesto que el voltaje de dichas baterías decaerá paulatinamente a medida que se usan, se debe implementar alguna barrera y evitar que la variación de voltaje de la fuente descargándose sea vista por los demás dispositivos del montaje. Lo que se busca con el MAX667 es esto mismo, corregir la caída de voltaje e intentar brindar al resto del circuito las menores variaciones posibles de voltaje a la entrada de la tarjeta sensora.

El voltaje de alimentación proviene de tres baterías que son dispuestas en serie, para proveer al regulador de voltaje un valor de 9V para su propia polarización y a la entrada del mismo. Este valor es escogido de esta manera ya que el sistema sensor es alimentado con un voltaje regulado de 5V permitiendo así un rango de descarga de las baterías de 4V. A la salida de dicho regulador existen 5V y esto se hace de la siguiente manera:

Figura 9. Configuración para ajustar el voltaje de salida del MAX667

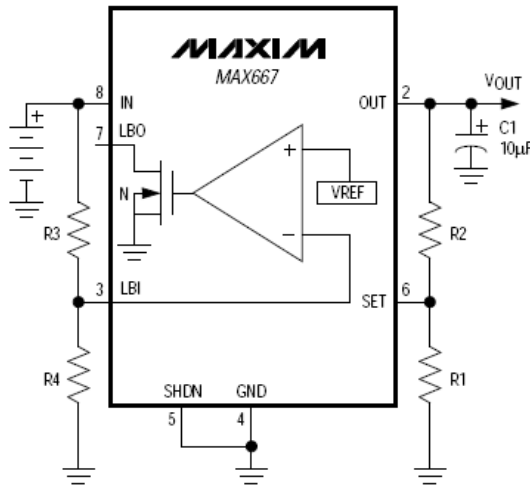


Fuente: **Maxim Integrated Products**

Usando el montaje mostrado en la Figura 9, se puede lograr obtener un voltaje regulado de 5V a la salida del MAX667. El uso de resistencias de polarización no es necesario para este caso.

El siguiente paso es la configuración para la detección de batería baja. Para esto se usa el montaje mostrado en la Figura 10.

Figura 10. Configuración para ajustar el umbral de detección de batería baja del MAX667



Fuente: **Maxim Integrated Products**

En la Figura 10 se muestra la configuración general del MAX667. Esta configuración comprende el ajuste del umbral para la detección de batería baja y el voltaje ajustable regulado a la salida. En la parte derecha de la Figura 10 se aprecian las resistencias R1 y R2. Estas son las usadas para ajustar el valor de voltaje a la salida pero para este caso en particular R1 es remplaza por un corto y R2 por circuito abierto, para obtener así, un valor de voltaje regulado de 5 [V]. Las resistencias mostradas al lado izquierdo (R3 y R4) de la Figura 10 son usadas para ajustar el voltaje de referencia para el detector de batería baja.

$$R3 = R4 \left(\frac{V_{BATT}}{V_{LBI}} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 9}$$

Con la ecuación anterior se puede ajustar el valor de referencia a cualquier voltaje por encima de el valor de referencia interno que es de 1.22V. Para este caso el valor de referencia V_{BATT} que se desea es de 5.5V puesto que el fabricante recomienda que para un voltaje de salida de 5V regulado, la entrada de alimentación debe ser igual que la salida regulada agregando 350mV, para una correcta operación del sistema. Debido a que este dispositivo alimenta todo el resto de la tarjeta, este será el punto de ruptura para detectar una posible condición de batería baja y así siempre garantizar como máximo 200mA para todo el sistema de detección. Asimismo para la ecuación anterior, y siendo típicamente según el fabricante $V_{LBI}=1.225$ V, podemos iterar usando diferentes variables para obtener la siguiente tabla.

Tabla 5. Relación de voltajes de salida con resistencias de polarización.

Regulador de voltaje							
Batería baja							
V_{BATT} [V]	5,4	5,4	5,5	5	5,1	5,2	5,2
R3 [MΩ]	5,11	9,2	5,2	3,08	4,7	4,9	3,24
R4 [MΩ]	1,5	2,7	1,5	1	1,5	1,5	1

Fuente: Autor

De la Tabla 5 se puede apreciar como la resistencia R3 no influye en gran medida dentro de la indicación de batería baja y como una aproximación a una resistencia de uso comercial no implica grandes cambios dentro del comportamiento del circuito. Obtenemos así que de manera teórica, las resistencias R3 y R4 deben ser de 5.1MΩ y 1.5MΩ respectivamente.

Asimismo, un resistor de 10 [kΩ] se ubica entre los pines LBO y OUT del MAX667 para obtener una salida lógica de voltaje en el terminal LBO y comunicar la condición de batería baja a la siguiente etapa del sistema.

Ahora, siempre que el voltaje de entrada sea menor que el fijado de referencia, la salida LBO será baja, es decir tierra, indicando de esta manera que la fuente de alimentación se ha descargado y se encuentra dentro o por debajo del umbral de 5.5V. Esto se utiliza posteriormente para indicar de manera luminosa al operador de la red la condición actual de la fuente de alimentación y advertirle que debe ser remplazada inmediatamente. Por el contrario de lo anterior, la salida LBO es alta siempre y cuando la alimentación se encuentre en un rango de voltaje por encima del umbral de 5.5V. Esto se muestra mejor en la Tabla 6.

Tabla 6. Salidas lógicas para las dos diferentes condiciones del detector de batería baja

Condición	LBO
Batería cargada	Salida lógica alta o 5V
Batería por debajo de umbral	Salida lógica baja o tierra

Fuente: Autor

De esta manera se obtiene una indicación clara del estado actual de la fuente de alimentación, característica fundamental en los equipos portátiles hoy en día. Pero usar directamente esta salida LBO del MAX667 para iluminar el LED indicador conllevaría inevitablemente a un consumo de potencia adicional por la iluminación del LED en si. Asimismo, la lógica del sistema implica una salida lógica alta para una batería cargada y un constante consumo de potencia debido al funcionamiento del LED advirtiendo de una condición normal, convirtiéndose esto más que en una cualidad, en una desventaja en el funcionamiento.

Se puede reducir en gran medida el consumo de potencia del LED iluminándolo a baja frecuencia y a un bajo ciclo de trabajo. Por este motivo se implementa la siguiente etapa, la cual busca complementar la salida LBO del regulador haciendo más eficiente la indicación luminosa deseada, transformando la alarma de batería baja de una luz estática a una emisión centellante que alumbra con intervalos de tiempo establecidos ante una entrada por debajo del umbral de voltaje determinado.

5.3.1.1 Consumo de potencia MAX667

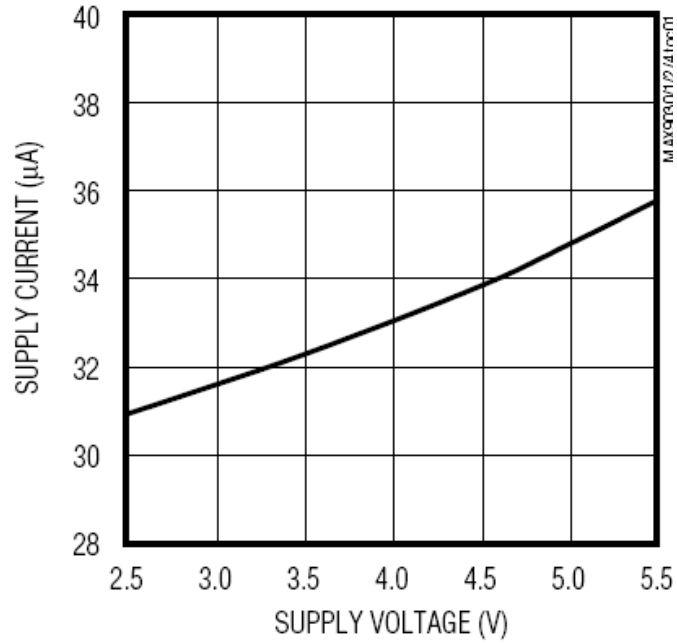
Por ultimo se puntualiza el consumo de potencia de este encapsulado (SO de 8 pines). Tomando los valores máximos, la potencia consumida típicamente para una fuente de alimentación de 18 [V], y para una temperatura por encima de los 70°C es de 471 [mW]. Aunque dispone de el, el MAX667 nunca se encuentra en modo de bajo consumo, pues siempre debe esta alimentando a los demás elementos de toda la tarjeta sensora.

5.3.2. Detector de batería baja

Para esta implementación se usa el integrado MAX9030 de la empresa **Maxim Integrated Products**. Este módulo trabaja dentro de un rango de alimentación entre los 2.5 y los 5.5V.

Es un dispositivo que se usa para poder mostrar al usuario final una indicación luminosa centellante en el momento en que la fuente de alimentación se encuentre por debajo del valor de 5.5V establecido anteriormente.

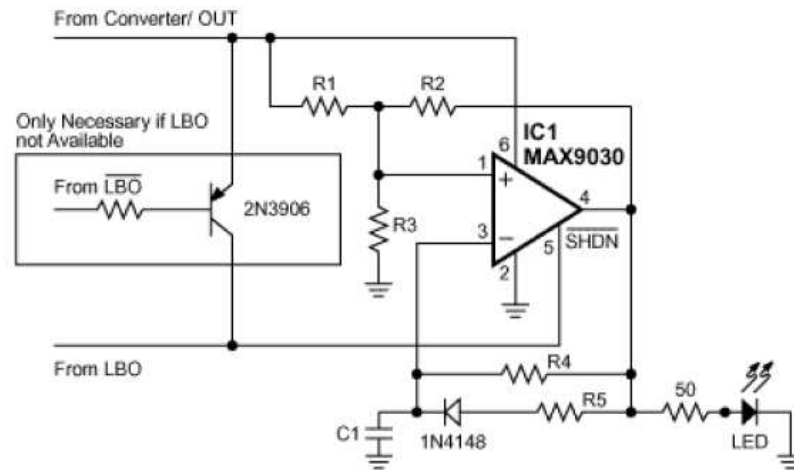
Figura 11. Grafica de corriente de fuente vs. Voltaje de fuente. Nótese el consumo de corriente a 5V



Fuente: **Maxim Integrated Products**

En la Figura 11 se muestra el consumo de potencia del MAX9030. Para este caso la alimentación es de 5V y por tanto la corriente es aproximadamente 35 [µA].

Figura 12. Esquema de configuración del detector de batería baja



Fuente: **Maxim Integrated Products**

La salida LBO (**Low Battery Output**) que se encuentra en la parte inferior izquierda de la Figura 12 se obtiene de la etapa de regulación anterior del MAX667. Por tal motivo es necesario comparar la tabla de verdad de la Tabla 6 con la presentada en la Tabla 7.

Tabla 7. Condiciones de la entrada LBO del MAX9030 y su respectiva salida ante tal entrada.

Condición de la entrada	Indicación luminosa
LBO Bajo	Apagada (Batería cargada)
LBO Alto	Activa (Batería en el umbral o por debajo de el)

Fuente: Autor

Como se muestra en la Tabla 7, si la entrada LBO es baja, esto es interpretado por el MAX9030 como una fuente de alimentación cargada y que se encuentra por encima del umbral establecido en la etapa de regulación anterior. Por el contrario una entrada alta indica una batería trabajando dentro o por debajo del umbral de 5.5V lo cual es mostrado al operador por la iluminación del LED.

La línea de transmisión que se encuentra en la parte superior de la Figura 12 es la salida de voltaje regulada del MAX667. Esta sirve como alimentación al sistema detector de batería baja del MAX9030 y a todo el resto del sistema.

De este diseño vale la pena resaltar que mientras la señal LBO sea menor que $0.3 \times V_{dd}$, para este caso 1.5V, el MAX9030 permanecerá apagado consumiendo solo 0.05 [μA] máximo. La lógica usada en los dos dispositivos, el MAX667 y el MAX9030, son inversas. Por este motivo se debe usar el montaje opcional mostrado en la Figura 12 el cual es el dado por el fabricante para este tipo de casos.

Ahora, cuando LBO es alto, como mínimo $0.7 \times V_{dd}$, es decir 3.5V, el MAX9030 entiende esto como una indicación de batería baja por parte del regulador y se activa el sistema, teniendo un consumo de corriente típico de 35 [μA]. Como se dijo anteriormente, se debe negar la entrada LBO al MAX9030 puesto que los dos sistemas usan lógicas diferentes para indicar los dos estados de la batería.

Cuando este sistema se enciende, produce una iluminación momentánea del LED indicador por un periodo de tiempo ajustable. Como lo que se busca es una indicación breve de la condición actual de la batería, minimizando el consumo de potencia de la fuente de alimentación, se debe mantener bajo el ciclo de trabajo de acuerdo con la siguiente expresión:

$$DC = t_{ON} / (t_{ON} + t_{OFF}) \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde DC es la sigla en inglés de **Duty Cycle**, t_{ON} es el tiempo de encendido y t_{OFF} el tiempo de apagado. Ahora para calcular t_{ON} se tiene la Ecuación 11.

$$t_{ON} = -R_5 C \ln \left(1 - \frac{V_{TRIPHI}}{V_{OUT}} \right) \quad \text{Ecuación 11}$$

Y para t_{OFF} se tiene la Ecuación 12.

$$t_{OFF} = -R_4 C \ln \left(\frac{V_{TRIPL0}}{V_{OUT}} \right) \quad \text{Ecuación 12}$$

Y para describir las variables finales V_{TRIPHI} y V_{TRIPL0} se tiene la Ecuación 13 y la Ecuación 14.

$$V_{TRIPHI} = \frac{V_{OUT} R_3 (R_1 + R_2)}{R_3 (R_1 + R_2) + R_1 R_2} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$V_{TRIPL0} = \frac{V_{OUT} R_3 R_2}{R_3 (R_1 + R_2) + R_1 R_2} \quad \text{Ecuación 14}$$

Se propone un tiempo de encendido $t_{ON}=0.5$ segundos con el cual se asegura que el operador note el cambio del LED de apagado a encendido y viceversa, un tiempo de apagado $t_{OFF}= 5.3$ segundos, dando un ciclo de trabajo de 8.6%. Se conoce que $V_{out}=3.3V$ y con resistencias iguales $R_1=R_2=R_3= 1M\Omega$, resulta reemplazando en las ecuaciones anteriores que:

$$V_{TRIPHI}= 2.2V$$

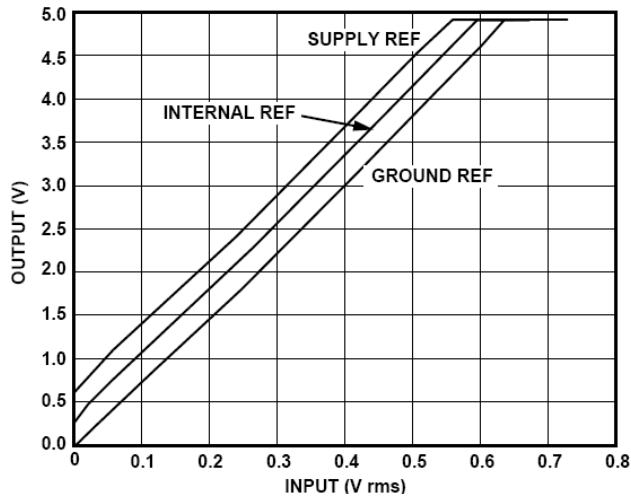
$$V_{TRIPL0}=1.1V$$

Ahora despejando de las ecuaciones para t_{ON} y t_{OFF} resulta el uso de un capacitor de 2.2 [μF] y se puede saber el valor de R_4 si se propone $R_5=200$ [$k\Omega$]. Entonces se encuentra que $R_4=2.2$ [$M\Omega$]. De esta manera se define el comportamiento global de el sistema detector de batería baja quedando claro su funcionamiento y su acople con el sistema regulador.

5.3.2.1 Consumo de potencia MAX9030

Por ultimo se puntualiza el consumo de potencia de este encapsulado (SC70 de 6 pines). Cuando el circuito comparador se encuentra activo, la corriente de fuente consumida es de 35 [μA] en promedio para una fuente de alimentación de 5 [V]. Cuando el MAX9030 se encuentra en modo de bajo consumo, es decir, la batería se encuentra por encima del voltaje mínimo, la corriente de fuente consumida es de 0.05 [μA] en promedio.

Figura 14. V_{in} vs. V_{out} en las tres configuraciones del AD8361



Fuente: **Analog Devices**

Ahora se presentan estas consideraciones de manera numérica quedando como sigue en la Tabla 8.

Tabla 8. Configuraciones del AD8361

Configuración	Salida (Sin señal)	Voltaje de salida
Modo de referencia interna	0.350 V	$7.5 \cdot V_{in} + 0.350 \text{ V}$
Modo de referencia a tierra	0 V	$7.5 \cdot V_{in}$
Modo de referencia a fuente	$V_s/7.5$	$7.5 \cdot V_{in} + V_s/7.5$

Fuente: **Analog Devices**

Como se ve en la Tabla 8 su salida es lineal y es un voltaje DC proporcional al voltaje de entrada de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$V_{OUT} = 7.5 \times V_{IN} \text{ rms} \quad \text{Ecuación 15}$$

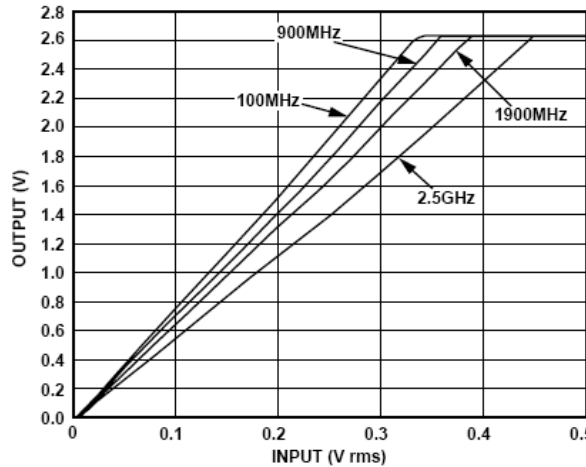
La Ecuación 15 se cumple, si solo si, se polariza el sensor situándolo en modo referencia a tierra como lo indica la Tabla 8.

Como se demostró en la primera etapa de este trabajo, bajo esta configuración, la salida DC del AD8361 permanece invariable ante una entrada de potencia constante aun en presencia de variaciones de voltaje en la fuente de alimentación. Además, otra virtud del trabajo en referencia a tierra es que las variaciones de tensión a la salida en las otras dos configuraciones, es decir las de referencia interna y referencia a fuente; representan una reducción del rango dinámico efectivo por lo cual no es apropiado implementarlas en el diseño. Por esta razón, se usa el modo de referencia a tierra en el diseño final del sistema sensor.

5.4.1.3. Características de rendimiento típicas

En la Figura 15 se observa el comportamiento a la salida del sensor ante la presencia de una excitación a la entrada. Las frecuencias de trabajo que se muestran son cercanas a las que manejan los dispositivos móviles que se desean detectar en este trabajo en particular.

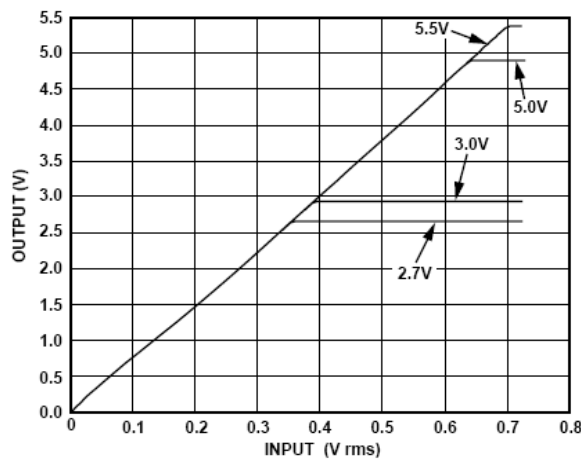
Figura 15. Salida vs. Nivel de entrada para diversos valores de frecuencia. Modo de referencia a tierra



Fuente: Analog Devices

Para una misma frecuencia y con una potencia de entrada creciente de manera lineal, se ve como la respuesta a la salida del sensor permanece lineal hasta alcanzar un punto de saturación máxima aproximadamente igual al valor de la fuente de alimentación.

Figura 16. Salida vs. Nivel de entrada para diferentes fuentes de alimentación. Modo de referencia a tierra. Frecuencia 900 MHz



Fuente: Analog Devices

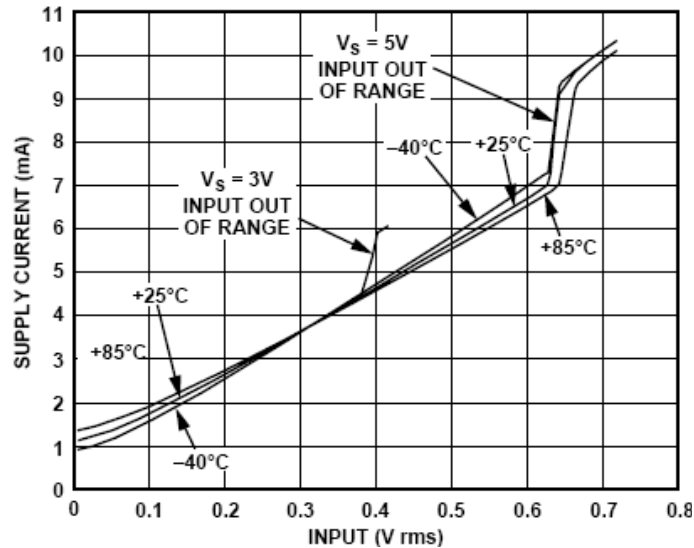
Como se muestra en la Figura 16, para una misma frecuencia con un aumento lineal en la potencia de la señal de entrada, se observa como la máxima salida alcanzada será siempre un valor de voltaje DC muy cercano al valor de la fuente de alimentación.

Estas características de la salida del sensor son declaradas de manera explícita puesto que se debe definir claramente el rango de excursión a la salida del AD8361, debido a que esta es la entrada al microcontrolador que se usa para digitalizar y enviar el valor de voltaje DC que representa la densidad de potencia presente en el ambiente.

5.4.1.4. Consumo de potencia AD8361

El consumo de corriente del AD8361 varía con respecto a la magnitud de la señal RF a la entrada del sistema. Esta corriente puede comprender valores desde los 1 [mA] en ausencia de una señal a la entrada, hasta los 7 [mA] cuando la magnitud de la señal de entrada alcanza un valor de 0.66 [V_{RMS}]. Cuando el sistema se encuentra en modo de bajo consumo de potencia, la corriente de fuente tiene un valor de 1[μ A], siendo este cambio de estado controlado por el PIC16F88 como se explica con mayor detalle mas adelante.

Figura 17. Corriente de fuente V_s . Voltaje de entrada. Fuentes de 3[V] y 5[V].
Temperaturas -40°C , 25°C y 85°C



Fuente: Analog Devices

Como se observa en la Figura 17 el consumo de potencia de este dispositivo es dependiente de la temperatura, el voltaje de alimentación y la magnitud de la señal electromagnética a la entrada. El fabricante no proporciona un valor promedio para el consumo de potencia del AD8361 alimentado con 5 [V] pero si suministra un valor máximo el cual es de 200 [mW] para el empaquetado MSOP.

5.5. Amplificación de señal

5.5.1. INA322

La salida del detector de potencia AD8361 es amplificada mediante el amplificador de instrumentación INA322 de la empresa **Texas Instruments Incorporated** y así se puede contar con una salida analógica amplificada que sirve para realizar las pruebas de caracterización del equipo y verificar su correcto funcionamiento.

Este circuito integrado con encapsulado MSOP de 8 terminales, es alimentado con 5 [V] y tiene una ganancia de 5 [V/V]. Su consumo de corriente es de 40 [μ A] cuando se encuentra en operación y por ende su consumo de potencia es bastante reducido de alrededor de 200 [μ W]. Cabe señalar que el microcontrolador PIC16F88 no interviene directamente en el funcionamiento de este amplificador de instrumentación.

5.6. Transmisión de datos en la tarjeta sensora

Para esta etapa del proyecto se escoge la implementación del protocolo RS485, como comunicación entre las tarjetas sensoras y la tarjeta central. Esta elección no fue al azar y como se demostrara más adelante se comparo la relación beneficio/costo de este protocolo contra otros, tales como RS-232, I²C, SPI y CAN.

El protocolo RS-485 utiliza una conexión balanceada y se utilizan voltajes de máximo 6 [V] por lo que se reduce el factor de ruido comparándolo con otros como por ejemplo el RS-232.

Las velocidades que se pueden alcanzar van desde 100kbps a una distancia de 1200 [m] y de 10Mbps para una distancia de 12 [m], con señales que van desde los 200 [mV] hasta los 6 [V].

Como primera medida se digitalizan los datos provenientes del sensor AD8361 usando un microcontrolador de 10 Bits de resolución y luego estos datos son enviados de manera cableada a una tarjeta central que concentra toda la información proveniente de todos los sensores. Finalmente, esta tarjeta central esta conectada por medio del puerto serial al computador y los datos son procesados mediante un software creado para tal fin. Todo este proceso se describe con mayor detalle a continuación.

5.6.1. PIC16F88

El microcontrolador PIC16F88 de la empresa **Microchip Technology Inc.** es un dispositivo de encapsulado SSOP de 20 pines, con memoria flash de 7168 Bytes, memoria de datos: SRAM de 368 Bytes y EEPROM de 256 Bytes, dos módulos comparadores, dos temporizadores de 8 bits y uno de 16 bits; tiene siete canales de conversión analógico/digital con resolución de 10 bits que permite procesar la señal RMS a la salida del detector de potencia. Conjuntamente cuenta con 8 frecuencias diferentes para el oscilador interno, las cuales son variables por el usuario. En este caso en particular se usa el oscilador interno de 4MHz.

Inicialmente este dispositivo se escoge pensando en implementar un protocolo de transmisión basado en comunicación I²C puesto que este módulo cuenta con un periférico diseñado para tal fin. Esta idea inicial fue desechada debido a que en primera medida la distancia que se puede lograr usando este protocolo de comunicación es mucho menor que la que se logra implementando RS-485. Además, la conexión final que se debe realizar al computador bajo un entorno LabViewTM usando I²C, requiere el uso de hardware adicional, como por ejemplo la **NI USB-8451 I²C/SPI Interface**, incurriendo en costos adicionales. Por otra parte, la implementación de una arquitectura basada en el protocolo de **National Instruments CAN (Controller Area Network)** implicaría costos más elevados que una basada en I²C. La solución más eficiente y económica encontrada es la del uso de periférico AUSART incluido dentro del PIC16F88.

5.6.1.1. Programación del PIC16F88

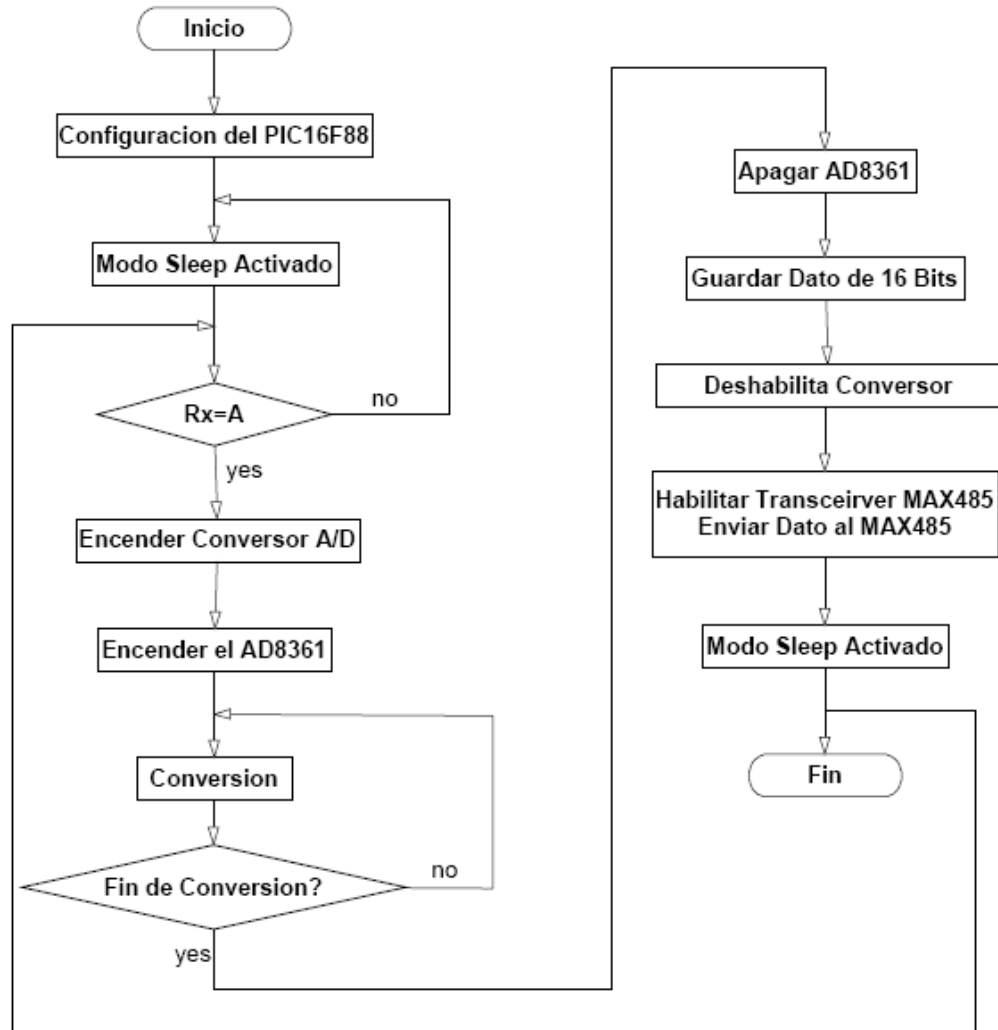
El código fuente de la programación del microcontrolador PIC16F88 se muestra completamente en el Anexo F.

A continuación se presenta en la Figura 18 el diagrama de flujo del programa implementado para el PIC16F88. Se puede apreciar como una de las tareas del microcontrolador es manipular el estado del sensor AD8361 y del transmisor/receptor MAX485, cambiándolos de su estado de bajo consumo de potencia a un estado activo; esto reduce en gran manera el consumo de potencia del sistema final. Además, otras tareas son la digitalización del dato proveniente del sensor AD8361 y el envío de este dato digitalizado a través del periférico AUSART.

Como se aprecia en la Figura 18 el programa implementado le indica al PIC16F88 que permanezca en modo de bajo consumo de potencia (Sleep) y permanezca en espera. Bajo esta condición se puede decir que el microcontrolador solo escucha el canal esperando identificar la letra con la cual está programado. Esta condición escucha solo cambia cuando el computador le envíe por medio de la tarjeta central, la letra de identificación (dirección) que se le ha asignado previamente a cada tarjeta sensora. Debido a la utilización de un protocolo de comunicación asíncrono, el proceso de conversión y transmisión de datos realizados por el PIC16F88 solo se realiza una vez y al término del mismo, el dispositivo entra nuevamente en su estado de bajo consumo a la espera de la letra que lo identifica.

En la Figura 18 se muestra el diagrama de flujo para el dispositivo sensor programado con la letra A, pero para fines de este proyecto, se utilizan cuatro letras identificadores, que van desde la letra A hasta la letra D en orden alfabético.

Figura 18. Diagrama de flujo del programa implementado para el PIC16F88



Fuente: Autor

5.6.1.2. Consumo de potencia PIC16F88

La disipación de potencia de este integrado se calcula de acuerdo a como se muestra desde la Ecuación 16 hasta la Ecuación 19.

$$P_{DIS} = V_{DD} * (I_{DD} - I_{OH}) + (V_{DD} - V_{OH}) * I_{OH} + V_{OL} * I_{OL} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$P_{DIS} = 5V * (1.4mA - (-3mA)) + (5V - 4.3V) * (-3mA) + 0.6V * 8.5mA$$

Ecuación 17

$$P_{DIS} = 22mW - 2.1mW + 5.1mW \quad \text{Ecuación 18}$$

$$P_{DIS} = 25mW \quad \text{Ecuación 17}$$

Todos estos valores para corrientes y voltajes han sido tomados de la hoja de datos del integrado provisto por la empresa **Microchip Technology Inc.** Todos ellos son calculados para una frecuencia de oscilación de 4MHz con una fuente de alimentación constante de 5[V].

5.6.2. Transmisor-Receptor MAX485

El dispositivo encapsulado MAX485 de **Maxim Integrated Products**, es un sistema transmisor-receptor de bajo consumo de potencia para comunicación RS-485 (Standard EIA 485 para transmisión multipunto diferencial). El sistema utilizado se encuentra en encapsulado μ MAX de 8 pines, con el fin de minimizar el diseño en general. Estos módulos de comunicación manejan una corriente de fuente de alrededor de 120 [uA] cuando la línea no se encuentra cargada y de 500 [uA] cuando la línea de transmisión se encuentra en uso. Adicionalmente, presenta una corriente de 0.1 [uA] cuando el dispositivo esta en modo de bajo consumo.

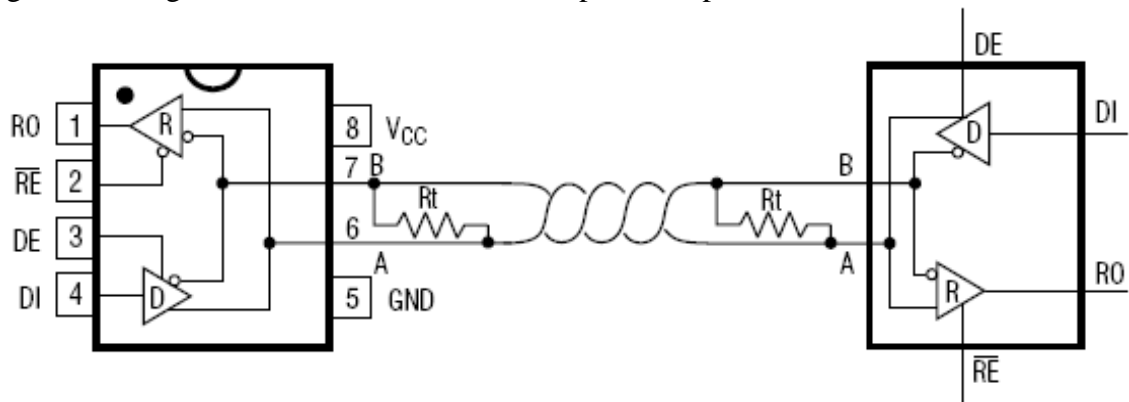
El montaje de este sistema permite el uso de una línea de comunicación en modo **Half-Duplex** y alcanzar una tasa máxima de transmisión de 2.5Mbps. Asimismo, una de las ventajas del MAX485 es que los información que se encuentran en el bus de datos, esta transmitida de manera diferencial. La transmisión diferencial es ideal para transferir datos a altas velocidades sobre largas distancias y a través de canales ruidosos. Esta técnica reduce los ruidos que aparecen por los voltajes en la línea de transmisión; además de ser un estándar bastante abierto que permite muchas y diferentes configuraciones.

Finalmente, este dispositivo trabaja con una fuente de alimentación con voltaje constante de 5 [V], pero en el bus de datos maneja un rango de voltaje que se encuentra entre los -7 [V] y los 12 [V].

5.6.2.1. Diagrama de conexión del MAX485

A continuación se presenta el esquema de conexión para lograr una comunicación exitosa entre estos dispositivos usando el protocolo RS-485.

Figura 19. Diagrama de conexión entre dos dispositivos para la comunicación del MAX485



Fuente: **Maxim Integrated Products**

Con esta configuración es posible alcanzar distancias de hasta 1200 [m] usando un par trenzado estándar y sin la necesidad de dispositivos externos.

La terminal RO (**Receiver Output**) es la salida de los datos que son recibidos por medio de la línea de transmisión (Bus de datos). Para que esta recepción sea posible, la terminal \overline{RE} debe tener un estado lógico bajo o de lo contrario la recepción será nula puesto que RO pasara a un estado de alta impedancia. La terminal DI (**Driver Input**) es la entrada de la información que es enviada hacia el bus de datos (Línea diferencial AB). Para realizar esta función, la terminal DE (**Driver Output Enable**) debe tener un valor lógico alto. Para que no se presente colisión en la comunicación, los terminales \overline{RE} y DE son conectados en corto circuito y unidos a la misma señal de control. Lo anterior se resume de manera clara en la Tabla 9.

Tabla 9. Tabla de estados de recepción de datos del MAX485

ENTRADAS			SALIDA
\overline{RE}	DE	A-B	RO
0	0	$\geq +0.2[V]$	1
0	0	$\leq -0.2[V]$	0
0	0	Entradas Abiertas	1
1	0	X	Alta Impedancia

Fuente: Autor

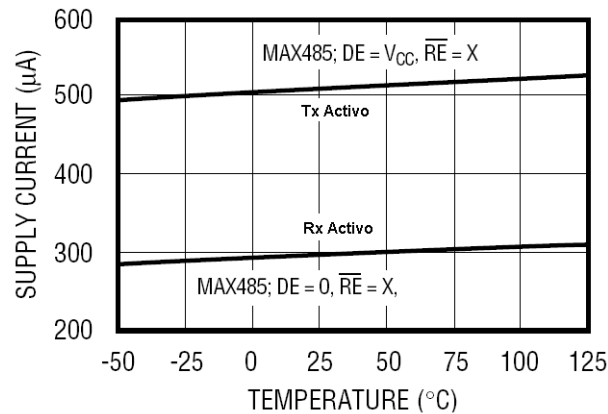
Esta señal de control es administrada por dos configuraciones diferentes, una para la tarjeta sensora y otra en la tarjeta central. En la primera, la señal de control proviene del microcontrolador PIC16F88 montado en el sistema sensor, como se explico anteriormente. En la tarjeta central la señal que controla la comunicación en el bus y por ende, entre todos los MAX485 presentes en el sistema, es generada por un LM555 configurado en estado monoestable como se explica posteriormente en este documento.

5.6.2.2. Consumo de potencia MAX485

Para este encapsulado μ MAX de 8 terminales, la corriente tomada de la fuente depende directamente del estado en el cual se encuentre el canal y de la temperatura. En otras palabras, el consumo de potencia depende de los valores lógicos presentes en los terminales \overline{RE} y DE o de si el MAX485 se encuentra transmitiendo o recibiendo datos. Esto se especifica claramente en la Figura 20.

De la Figura 20 se pueden obtener valores promedios para las corrientes de fuente siendo estos de aproximadamente 500 [μ A] para transmisión y 300 [μ A] para recepción.

Figura 20. Grafica de la corriente de Fuente Vs. Temperatura.



Fuente: Maxim Integrated Products

5.7. Consumo total de potencia para la tarjeta sensora

En la Tabla 10 se muestra finalmente el consumo de potencia de cada dispositivo de manera individual y luego la suma de todas estas potencias. Los valores máximos son provistos por los fabricantes de cada dispositivo y en la mayoría de los casos estos consumos no son alcanzados en modo de operación normal dentro de este trabajo de grado. El único dispositivo que alcanza su consumo de potencia máximo es el MAX485 cuando se encuentra transmitiendo.

Tabla 10. Consumo total de potencia en la tarjeta sensora.

Dispositivo	Encapsulado	Potencia disipada		
		Min.	Typ.	Max.
MAX667	SO		100 [µW]	471 [mW]
MAX9030	SC70	0.25 [µW]	175 [µW]	245 [mW]
AD8361	MSOP			200 [mW]
INA322	MSOP		200 [µW]	
PIC16F88	SSOP		25 [mW]	
MAX485	µMAX	1.5 [mW]		2.5 [mW]
Total		1.50025 [mW]	25.375 [mW]	918,5 [mW]

Fuente: Autor

Para esta tabla, el valor a tener en cuenta es el consumo de potencia típico de todo el sistema, que para este caso es de 25.375 [mW], puesto que en esta franja es en donde el sistema opera la mayor parte del tiempo. Para obtener un valor de consumo de potencia más exacto se debe sumar la potencia consumida por el MAX485 dependiendo del estado en el cual se encuentra.

Para el cálculo de la potencia del AD8361 se debe tener en cuenta que este valor varía de acuerdo con la magnitud de la señal RF a la entrada de este dispositivo. Esto se ve en mayor detalle en el capítulo “DISEÑO FUNCIONAL”, sección “Etapa Transductora Y Acondicionamiento De Señal”, párrafo “Consumo de Potencia AD8361”.

Experimentalmente se ha encontrado que el consumo de corriente en la tarjeta sensora, sin el regulador de voltaje MAX667, omitiendo el led indicador de encendido y alimentado con una fuente regulada de 5 V es de 2,72 [mA] cuando el dispositivo está en stand-by (es decir no hay transmisión de datos) y de 3,20 [mA] cuando la tarjeta está transmitiendo. Esto permite asegurar que la corriente necesaria para transmisión es cercana a los 500 [uA].

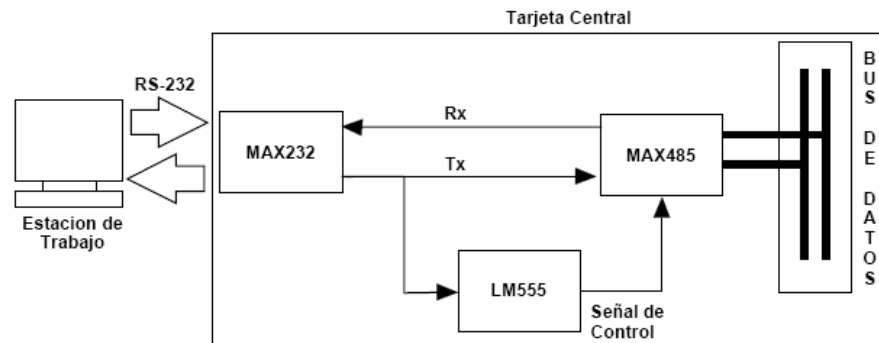
Se realizan también pruebas con la tarjeta final instalando el rectificador de voltaje, el led de indicación de encendido y se alimenta con las baterías de 9 [V]. Bajo estas condiciones, la corriente de consumo total final en modo Stand-By es de 3,83[mA] y en modo de transmisión es de 4,3 [mA].

Debido a lo anterior, la duración de las baterías en modo de transmisión se encuentra alrededor de las 70 horas.

5.8. Transmisión de datos en la tarjeta central

Una característica importante en una red de sensores, es poder reunir o concentrar toda la información recopilada en un punto central para permitir su análisis. Para esto es importante que la información llegue a este punto sin corrupción y que además sea posible identificar cada dato y conocer claramente su procedencia. Asimismo, la comunicación entre la red de sensores y la tarjeta central debe ser coherente, presentando los mismos tiempos de transmisión y tener en cuenta los retardos presentes en cada dispositivo. Por todo lo anterior se ha diseñado un módulo que cumpla con estos requerimientos. El diagrama de bloques de este sistema se presenta a continuación en la Figura 21.

Figura 21. Diagrama de bloques de la tarjeta central



Fuente: Autor

Como se aprecia en la Figura 21, la tarjeta central esta conformada por 3 dispositivos entre los cuales se encuentran dos Transmisor/Receptor (MAX485 y MAX232) y un temporizador LM555 configurado en estado monoestable. Por ultimo, este modulo es alimentado con 5 [V] los cuales provienen directamente del computador sobre el cual se corre el software y son capturados los datos. Para esto se usa el puerto USB del mismo permitiendo que el uso de fuentes de alimentación externas sea innecesario y por ende reducir el tamaño de este dispositivo y aumentar su portabilidad.

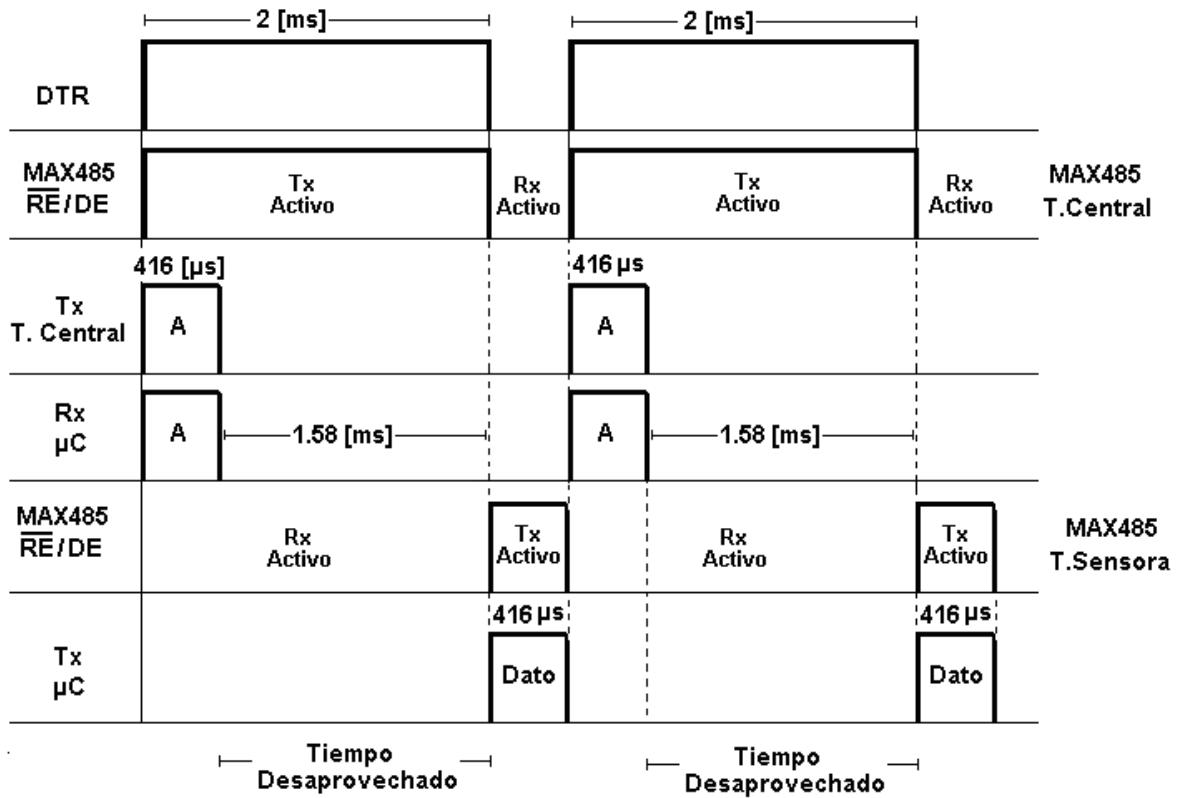
5.8.1. Transmisor/Receptor MAX485

Como se describe en el capítulo “Transmisión de datos en la tarjeta sensora” el uso de este dispositivo es indispensable para entablar una comunicación coherente entre la tarjeta central y la red de sensores, puesto que por la línea de transmisión, los datos son transmitidos de manera diferencial y estos solo son comprensibles por el MAX485. Teniendo en cuenta este criterio, este es usado para la administración del bus central.

5.8.2. Temporizador LM555

Se pensó en construir la tarjeta central con el menor número de dispositivos posible y controlar la comunicación por medio del uso de software, el uso del dispositivo LM555 no se encontraba previsto dentro de este modulo. El equipo de trabajo considero conveniente el uso del Terminal DTR (**Data Transmission Ready**) para controlar el cambio de estado del Transmisor/Receptor y acceder al medio (Bus de Datos) sin generar colisión en la información. Al momento de las pruebas de laboratorio, se pudo encontrar que el software LabView™ montado sobre entorno Windows XP, no puede controlar el cambio de estado lógico del DTR en un rango de tiempo inferior a los 2 [ms]. Esto era necesario para poder entablar la comunicación entre la red de sensores y el acceso al medio, puesto que a la velocidad de transmisión de 19200 [baudios] el tiempo para transmitir un dato de 1 Byte es de 416 [μs] presentándose así un elevado desperdicio del ancho de ventana para la transmisión y recepción de los datos (de aproximadamente 75%). En otras palabras, la tarjeta sensora envía la letra de identificación del sensor al mismo tiempo que DTR se encuentra en alto (canal libre para transmisión desde la tarjeta central), el microcontrolador recibe dicha letra de identificación y debe esperar 1.584 [ms] para que el canal se libere (debido al retardo en el cambio del estado lógico del DTR) y luego responde con el dato solicitado. Este proceso requiere un tiempo de espera de 4 [ms] entre la recepción de un dato y el otro. Todo esto se resume de manera clara en la Figura 22 mostrada a continuación.

Figura 22. Diagrama de tiempos de la comunicación controlada por software para el microcontrolador identificado con la letra A. Nótese el tiempo muerto

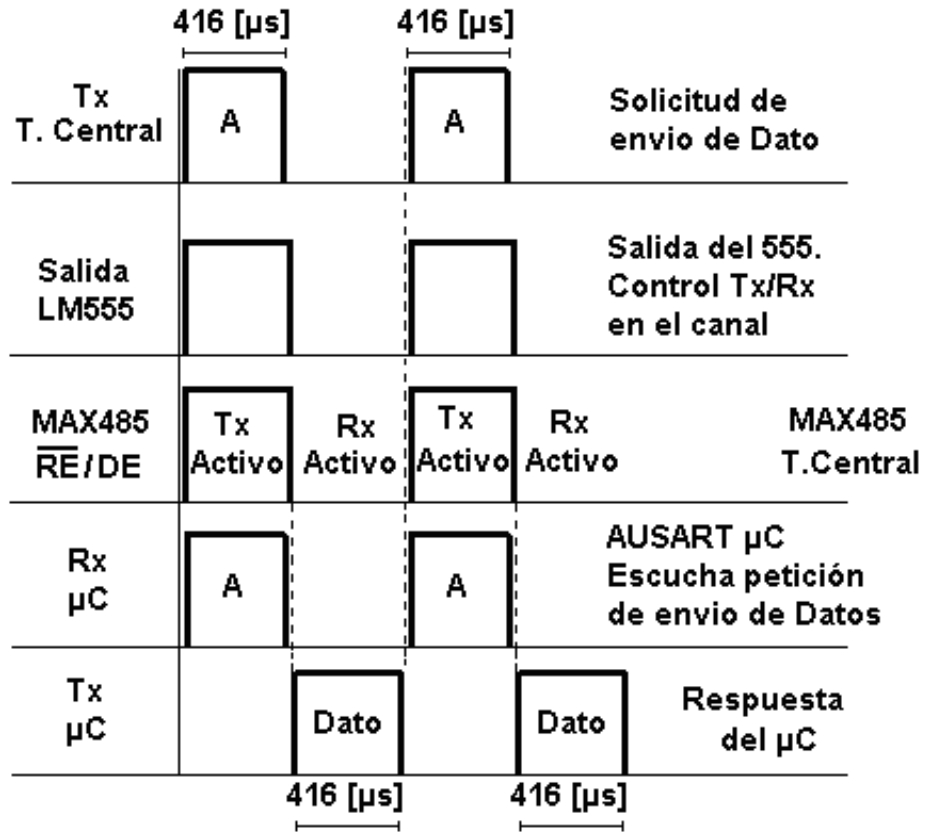


Fuente: Autor

Debido a este inconveniente, la velocidad de transmisión en realidad no sería de 19200 [baudios] sino por el contrario se encontraría en alrededor de los 5600 [baudios]. La solución más eficiente y económica encontrada por el equipo de trabajo es la utilización de un temporizador LM555 en estado monoestable disparado por el flanco de subida de la letra de identificación que se desea ser transmitida. Esta configuración genera una señal con estado lógico alto por un periodo de tiempo establecido, gracias a una excitación a la entrada; haciendo las veces de la señal de control DTR pensada en un principio.

La Figura 23 muestra el diagrama de tiempos de este montaje. Nótese como el tiempo muerto en la comunicación mostrado en la Figura 22 ha sido corregido exitosamente.

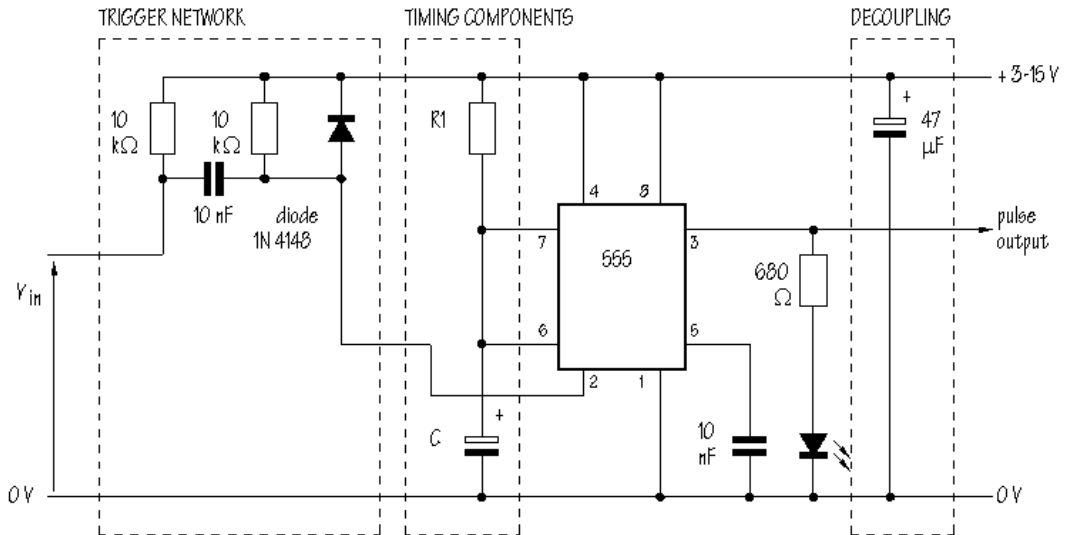
Figura 23. Diagrama de tiempos de la comunicación controlada por hardware para el microcontrolador identificado con la letra A



Fuente: Autor

Habiendo justificado claramente el uso de este circuito temporizador, se procede a describir su montaje y configuración. Se escoge un circuito integrado LM555 es montado en empaquetado DIP8. Como se aprecia en la Figura 24 el sistema debe ser alimentado por una fuente de entre 3 [V] y 15[V]. Ya que la tarjeta central es alimentada directamente desde el computador en el cual se capturan los datos, usando para esto el puerto USB del mismo, esto hace compatible el sistema temporizador con este montaje. Además, se describen los elementos pasivos necesarios para el correcto funcionamiento de este sistema temporizador. Capacitores y resistencias son usados para este fin.

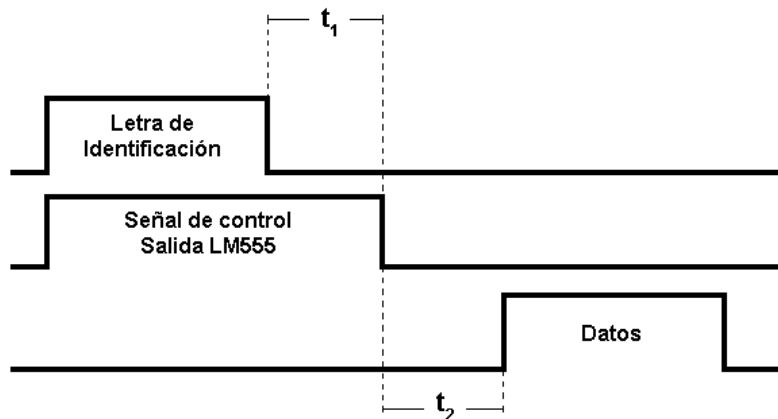
Figura 24. Circuito temporizador con LM555 en estado monoestable



Fuente: <http://www.doctronics.co.uk/555.htm>

En la Figura 24 se describen los elementos pasivos necesarios para el correcto funcionamiento de este sistema temporizador. Capacitores y resistencias son usados para este fin, haciendo de esto un inconveniente puesto que esto aumenta la posibilidad de un error en alguna parte del sistema, la aparición de retardos desconocidos, cambios en el periodo de duración de la ventana de control debido a los cambios de temperatura inherentes a estos elementos pasivos, entre otros. Para solucionar este problema se ajustan los tiempos como se muestra en la Figura 25.

Figura 25. Tiempos de retardo usados para sincronizar la comunicación y sortear posibles cambios en la señal de control



Fuente: Autor

La Figura 25 ilustra los retardos usados para eludir los posibles efectos de los elementos pasivos dentro del circuito temporizador. Estos tiempos son necesarios para brindar robustez a la comunicación. El tiempo t_1 es introducido al sistema pensando en una posible disminución de la ventana de control y se ajusta con un valor de alrededor de 80 [μ s]. Este se genera en el circuito temporizador del LM555 ajustando el valor de la ventana gracias al juego de capacitores y resistencias, asegurando así que la transmisión de la letra de identificación sea completa y sin errores. El tiempo t_2 es una espera generada en el microcontrolador y se implanta pensando en un posible aumento en la ventana de control de acceso al medio. Este tiempo en el microcontrolador es de 100 [μ s] y con este valor da un t_2 de 20 [μ s].

Como se menciona anteriormente, este circuito temporizador es muy flexible puesto que permite ajustar el ciclo de trabajo de la señal a la salida, de una manera muy simple y económica. La siguiente ecuación muestra como calcular el valor para este ciclo de trabajo.

$$t = 1.1 * R_A * C \quad \text{Ecuación 20}$$

Para la generación de este pulso con un ciclo de trabajo definido previamente, es necesaria una señal que actúe como disparador o **trigger**. Para esto se usa la misma letra que se desea enviar conectada al terminal 2 del circuito integrado. De esta manera se usa el flanco de subida de la letra de identificación para generar el pulso necesario que controla el acceso al medio de la tarjeta central así como de las tarjetas sensoras.

Finalmente por todo lo anterior, se logra obtener un pulso con una duración de un poco más de 416 [μ s], es decir, un poco mas de tiempo que la letra de identificación que lo genera y así controlar el estado de el Transmisor/Receptor MAX485 y por ende el acceso al bus de datos de todas las tarjetas presentes en el sistema.

5.8.3. Driver/Receptor MAX232

Es indispensable el uso de este circuito integrado para poder conectar la tarjeta central al puerto serial del computador sobre el cual se corre el software para la adquisición de datos. El MAX232 de la empresa **Maxim Integrated Products** es un circuito integrado en empaquetado DIP8 y trabaja con un voltaje de fuente de 5[V].

Este dispositivo es usado para entablar una comunicación coherente entre la tarjeta central y el computador en el cual se almacenan y visualizan los datos. Su función es manejar los niveles de voltaje TTL o CMOS y convertirlos a niveles de voltaje RS-232 y viceversa.

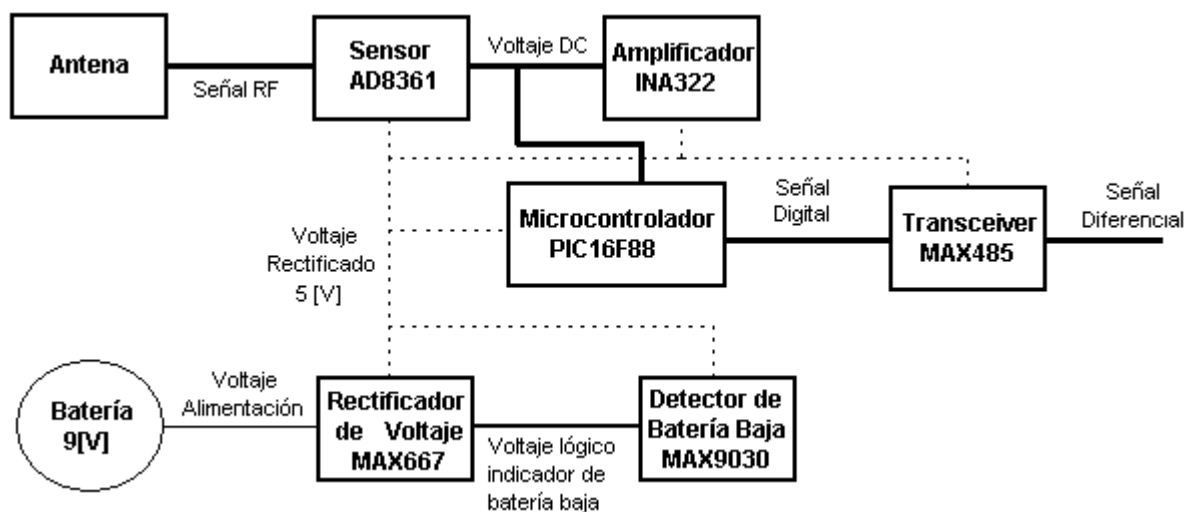
6. DISEÑO CIRCUITAL

6.1. Diseño del circuito impreso (PCB)

En este capítulo se muestra al lector todo el proceso realizado para la implantación de la red de sensores para detección de radiación no ionizante en su etapa final. En esta parte del diseño se usó el software **Eagle**².

Como primera medida, se presenta al lector los diagramas de bloques de las tarjetas. El diagrama de la tarjeta sensora se muestra en la Figura 26. Nótese cómo viaja la señal a través de toda la tarjeta sensora y cómo esta señal cambia a medida que atraviesa las diferentes etapas dentro de la tarjeta. Además, nótese la rectificación de voltaje usada para alimentar todo el sistema.

Figura 26. Diagrama de bloques de la tarjeta sensora

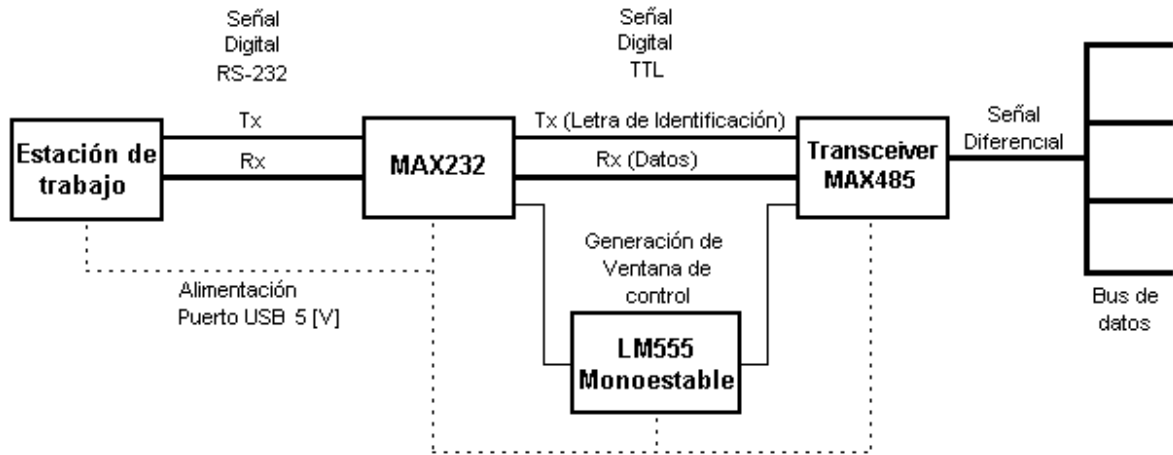


Fuente: Autor

El diagrama de bloques de la tarjeta central se muestra en la Figura 27. Nótese el bus de datos a la entrada del sistema. Además se advierte la presencia del circuito generador de la ventana de control de acceso al medio y la alimentación proveniente del puerto USB de la estación de trabajo. Por último, nótese cómo los datos cambian de un estándar de comunicación a otro.

² Eagle - Layout - Software
CadSoft Computer, Inc.
Version 4.11 <http://www.cadsoftusa.com>

Figura 27. Diagrama de bloques de la tarjeta central



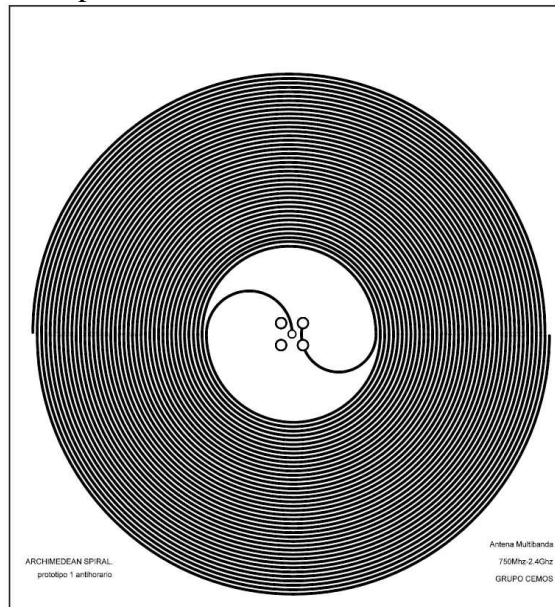
Fuente: Autor

En este capítulo se describe paso a paso el desarrollo del circuito impreso de cada etapa dentro de la tarjeta sensora, así como de la tarjeta central y la espiral de Arquímedes.

6.1.1. Antena banda ancha

Se puede apreciar finalmente la dimensión real de la antena en el proyecto y como tras la investigación realizada se ha logrado reducir considerablemente el tamaño de este dispositivo. El negativo de las capas de cobre se muestra en la Figura 28.

Figura 28. Detalle del circuito impreso de la antena espiral de Arquímedes (750MHz a 2.4GHz). Vista Superior



Fuente: Eagle - Layout – Software. CadSoft Computer, Inc.

En la Figura 28 se puede ver finalmente todo el circuito impreso que se implementa en el montaje de la antena. El cálculo teórico de la impedancia de salida de esta línea de transmisión es difícil y para este caso es inútil realizar tal cómputo puesto que la teoría difiere bastante de la práctica y el acople se a de realizar experimentalmente. Se hacen a prueba y error buscando en todo momento el mejor acople entre la tarjeta y la antena.

Las características y dimensiones finales de la antena diseñada se muestran en la Tabla 11.

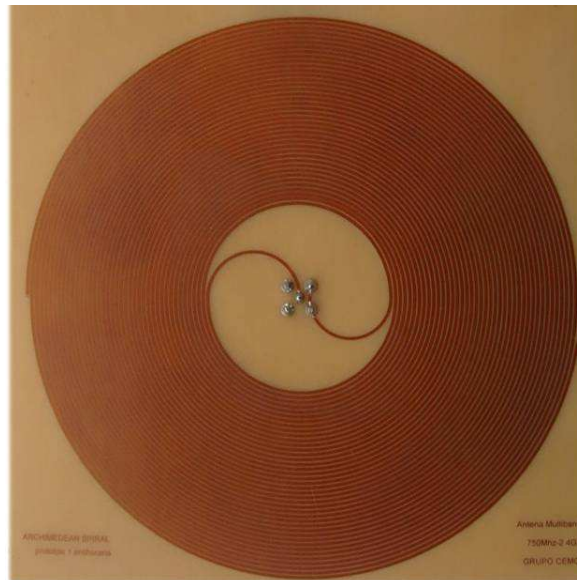
Tabla 11. Dimensiones y características de la antena espiral de Arquímedes

Diámetro interno	3.96 [cm]
Diámetro externo	11.92 [cm]
Número de vueltas	20
Frecuencia de trabajo ideal	800MHz a 2.4 GHz
Material	Cobre

Fuente: Autor

En la Figura 29 se muestra una fotografía de la antena espiral de Arquímedes diseñada por el equipo de trabajo.

Figura 29. Fotografía de la antena espiral de Arquímedes. Vista superior



Fuente: Autor

Por ultimo cabe señalar que las frecuencias con las cuales se probó la banda de trabajo de la antena fueron generadas con los mismo equipos que se desean detectar, entre ellos celulares de diferentes compañías y marcas, equipos de comunicación inalámbrica y computadores personales con comunicación inalámbrica y no se conoce su comportamiento a frecuencias mayores de 2.4 GHz puesto que no se cuenta con equipos de generación por encima de 1.2

GHz. El desconocimiento de todo el ancho de banda real de la antena no presenta ningún inconveniente, pues que **NO** es objetivo de este proyecto el diseño detallado y exhaustivo de una antena espiral de Arquímedes, sino capturar el campo electromagnético presente en un área de la mejor manera posible. Para lograr un diseño formal de una antena de este tipo se necesitaría de equipo avanzado y muy costoso, como lo es el uso de cámaras anecoicas, generadores de frecuencia que pudieran alcanzar rangos muy por encima de los 2.4GHz, extensos cables con poca introducción de ruido y poca atenuación y analizadores de espectro que puedan mostrar una señal generada a esa frecuencia.

Para este proyecto de grado también se cuenta con la antena banda ancha HG2404CU que se muestra en la Figura 30.

Figura 30. Fotografía de la antena banda ancha HG2404CU. Nótese el conector Tipo N



Fuente: Autor

Debido a la curiosidad académica que debe caracterizar a un ingeniero electrónico, se decidió destapar la antena HG2404CU para observar su estructura interna. Lo que se encontró es lo que se muestra en Figura 31 .

Figura 31. Fotografía de la estructura interna de la antena banda ancha HG2404CU



Fuente: Autor

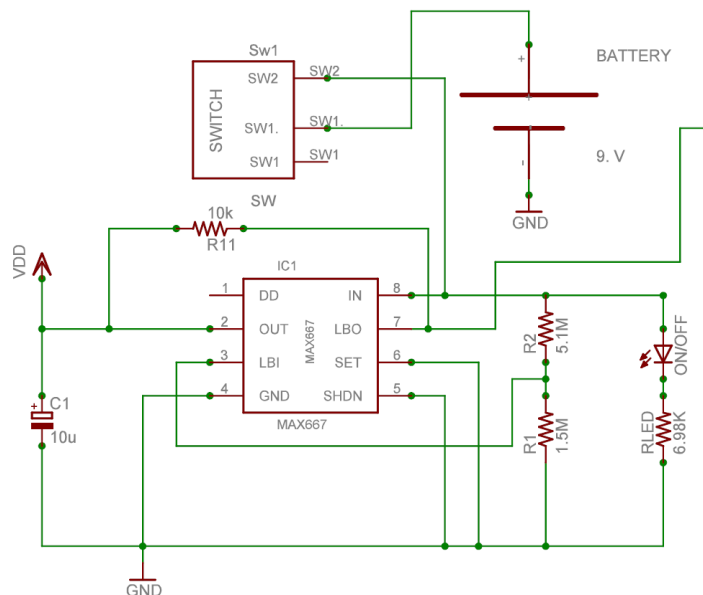
Nótese en la Figura 31 la estructura bi-cónica usada para aumentar el ancho de banda en este tipo de antenas banda ancha. Esta es otra técnica utilizada para poder fabricar una antena independiente de la frecuencia y hacer que su ancho de banda este definido únicamente por la geometría de la misma.

Ahora se muestra al lector el circuito impreso para la tarjeta donde van dispuestos todos los elementos de los cuales se hablo anteriormente.

6.1.2. Regulación de voltaje

En la Figura 32 se observa la configuración del MAX667 alimentado con una batería de 9 [V], para un voltaje regulado de 5 [V] con activación para batería descargada (LBI) de 5.5 [V]. Además se implementa un interruptor para el encendido de todo el sistema con un led para una indicación visual de encendido.

Figura 32. Diagrama esquemático del sistema de encendido y regulación de voltaje

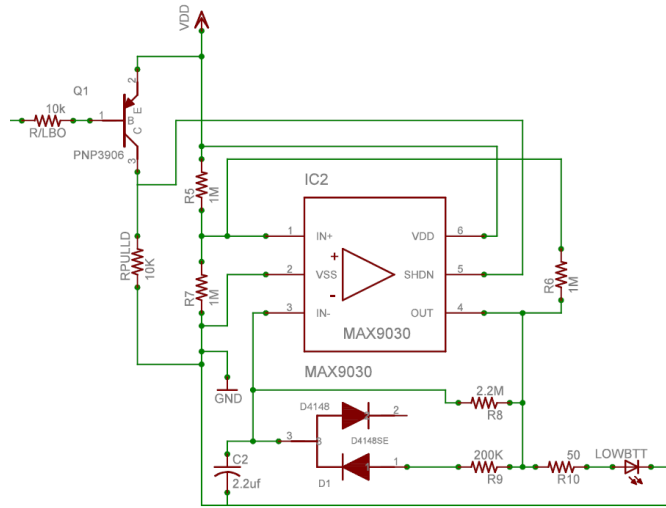


Fuente: Eagle - Layout – Software. CadSoft Computer, Inc.

6.1.3. Detector de batería baja

Para el detector de batería baja se implementa siguiente configuración del MAX9030 como lo indica la Figura 33 . Para un tiempo de encendido de 30 [ms] y de apagado de 5 [s]. Esta etapa se activa cuando el LBO del MAX667 pasa de un nivel alto a un nivel bajo, por medio de la resistencia R/LBO.

Figura 33. Diagrama esquemático del sistema indicador de batería baja

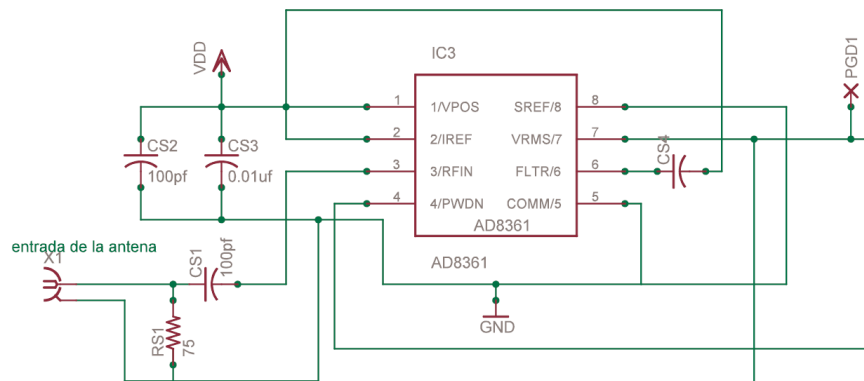


Fuente: Eagle - Layout – Software. CadSoft Computer, Inc.

6.1.4. Sensor AD8361

En la Figura 34 se representa la configuración del sensor AD8361 con referencia a tierra, además se aprecia que la activación del mismo depende de la orden que le envié el microcontrolador PIC16F88 al terminal 4 (PWDN) del AD8361. Esto se realiza así con el fin de minimizar el consumo de potencia de la tarjeta sensora.

Figura 34. Diagrama esquemático de configuración del sensor AD8361



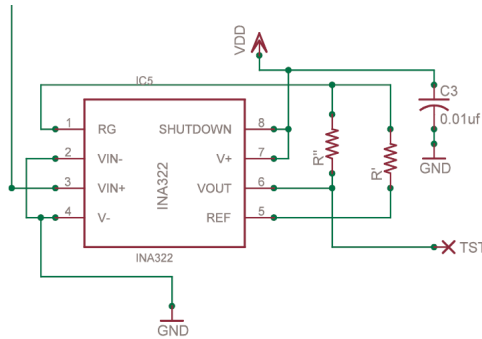
Fuente: Eagle - Layout – Software. CadSoft Computer, Inc.

6.1.5. Etapa de amplificación y calibración

Dentro de cada tarjeta sensora, se implementa una etapa de amplificación como se muestra en la Figura 35. Este sistema se conecta a la salida del sensor AD8361 (pin 7), con el fin de calibrar el sensor y el microcontrolador, de acuerdo a las variaciones generadas por el acople de impedancias entre la antena y el sensor, o para simple verificación del sensor

como tal. Se implementa el amplificador de instrumentación INA322 en configuración de ganancia variable de acuerdo a las resistencias R' y R'' .

Figura 35. Diagrama esquemático del amplificador INA322

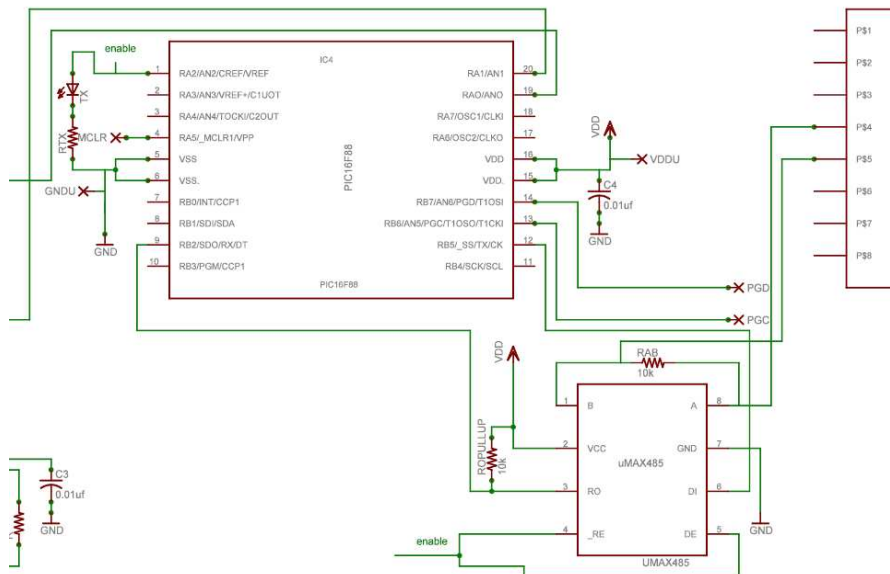


Fuente: Eagle - Layout – Software. CadSoft Computer, Inc.

6.1.6. Etapa de digitalización y envío de datos

Por último se muestra en la Figura 36, la configuración del PIC16F88 y el MAX485. El PIC se configura y programa para habilitar el AD8361, digitalizar el dato obtenido de dicho sensor y enviarlo al MAX485 por medio del Periférico UASART, del microcontrolador. Luego el MAX485 envía estos datos por par trenzado siguiendo la normatividad IAU58A, empleando el par azul, para la transmisión diferencial.

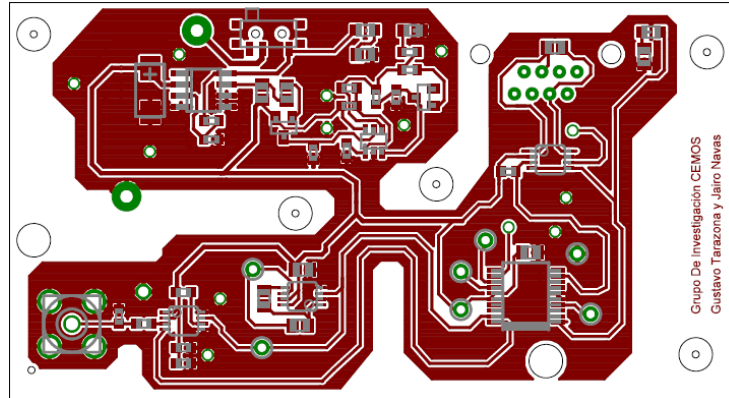
Figura 36. Diagrama esquemático del PIC16F88 y el MAX485 usado para la transmisión de datos



Fuente: Eagle - Layout – Software. CadSoft Computer, Inc.

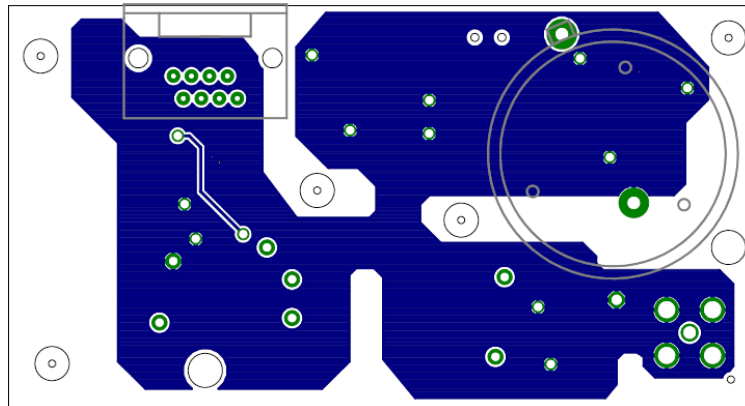
Finalmente se presenta al lector en la Figura 37 y la Figura 38 el layout del prototipo implementado en las tarjetas sensoras finales.

Figura 37. Layout de la tarjeta sensora final. Vista superior



Fuente: **Eagle - Layout – Software. CadSoft Computer, Inc.**

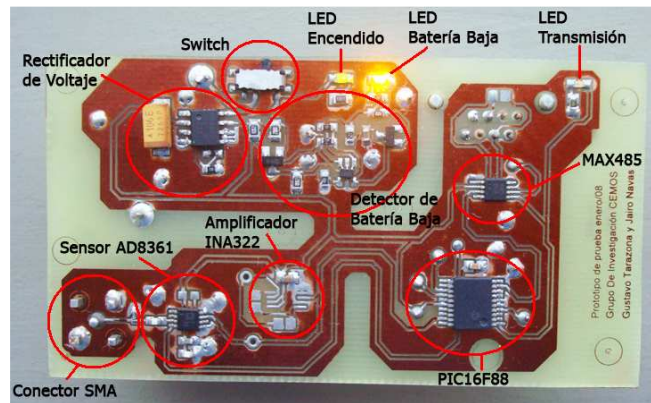
Figura 38. Layout de la tarjeta sensora final. Vista inferior



Fuente: **Eagle - Layout – Software. CadSoft Computer, Inc.**

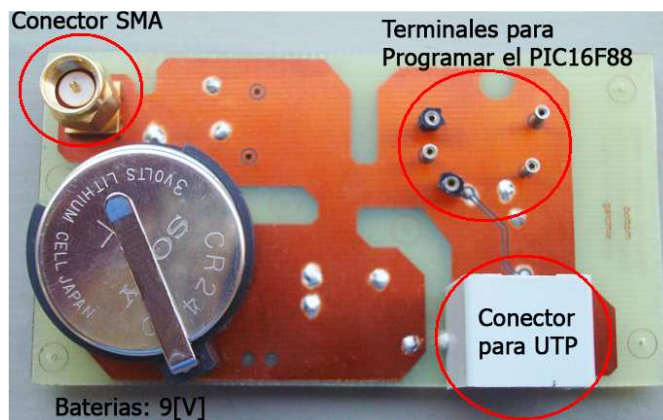
Se reduce el tamaño del sistema al máximo posible para asegurar que las pérdidas en el cobre debido a la etapa de alta frecuencia no sean grandes. Además de esta manera se puede asegurar el correcto funcionamiento del sistema y evitar atenuaciones en el cobre. Para tal fin, se usan dispositivos activos de montaje superficial entre los cuales se encuentran encapsulados SOIC y MSOP y dispositivos pasivos en encapsulados 0603 y 0805. En la Figura 39 y la Figura 40 se aprecia el montaje final de la tarjeta sensora. Se agregan a la fotografía los nombres de los diferentes elementos presentes en el montaje.

Figura 39. Fotografía de la tarjeta sensora con los nombres de los elementos activos. Vista superior



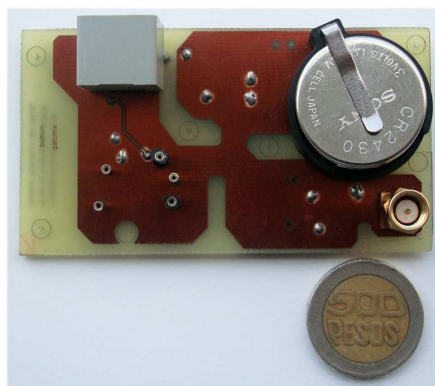
Fuente: Autor

Figura 40. Fotografía de la tarjeta sensora con los nombres de los elementos. Vista inferior



Fuente: Autor

Figura 41. Fotografía que muestra el tamaño final de la tarjeta sensora comparada con una moneda de 500 pesos colombianos

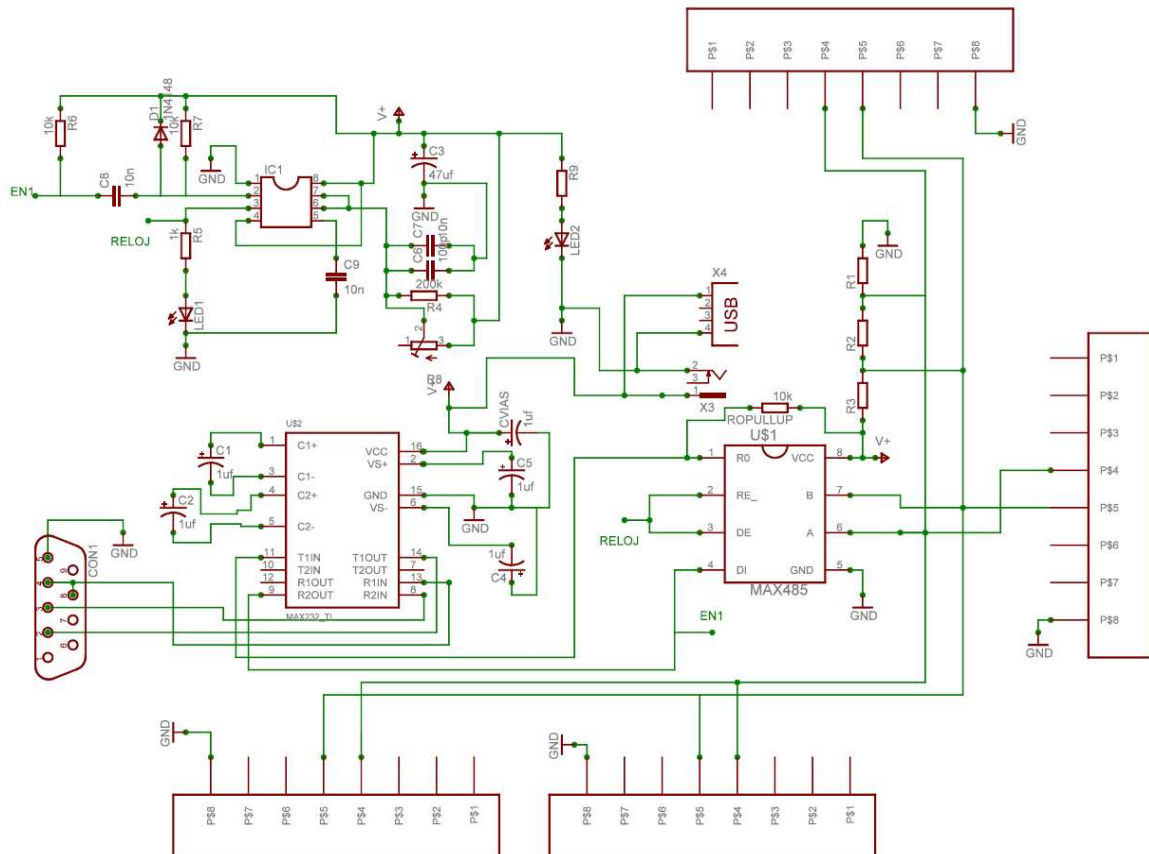


Fuente: Autor

6.1.7. Tarjeta central

En la Figura 42 se presenta el diagrama esquemático usado para el montaje de la tarjeta central. Nótese que todos los conectores RJ-45 Hembra están conectados en paralelo al MAX485. Esto convierte esta etapa de entrada y salida de datos en un bus de transmisión. Esta configuración hace de este montaje una topología Profibus. Esta se usa ampliamente a nivel industrial en procesos que requieren automatización y transmisión de datos, empleando la interconexión de dispositivos de campo de entrada/salida simple con PLC's y estaciones de trabajo. Este diseño se basa en una topología de red de bus lineal empleando transmisión **Half Duplex** Asíncrona con un acceso al bus de manera Maestro/Esclavo (1 maestro y 4 esclavos), con direccionamiento de 8 bits como se explica mas adelante en este libro. Debido a lo anterior, los sensores no pueden transmitir todos al mismo tiempo, y solo el que posea la autorización para acceder al medio podrá hacerlo.

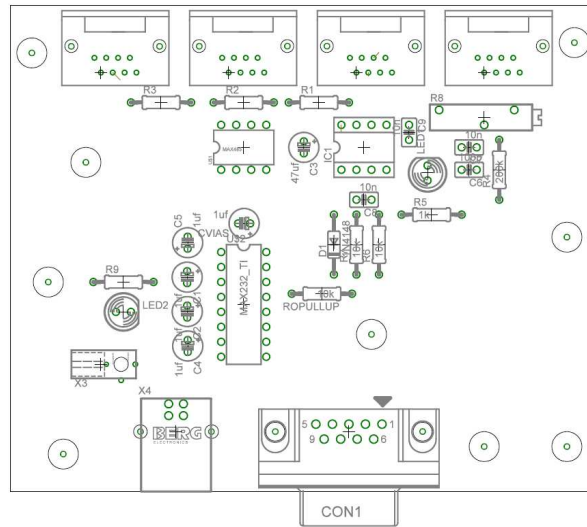
Figura 42. Diagrama esquemático de la tarjeta central usada para la transmisión de letras de identificación, recepción de datos y la conversión de los mismos.



Fuente: **Eagle - Layout – Software. CadSoft Computer, Inc.**

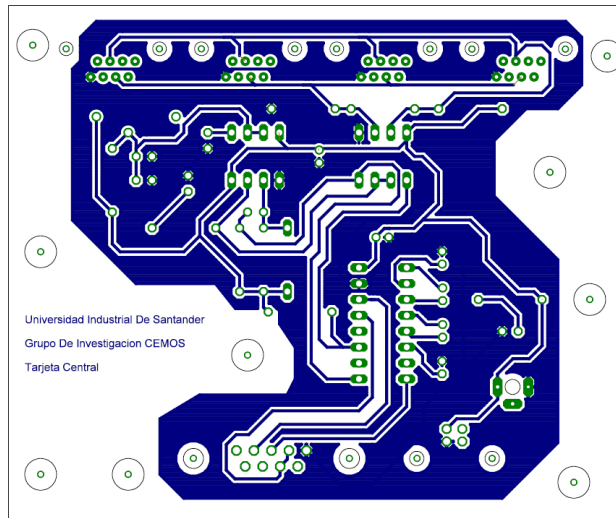
En la Figura 43 y la Figura 44 se muestran el layout perteneciente al diagrama esquemático de la tarjeta central.

Figura 43. Layout de la tarjeta central con elementos. Vista superior



Fuente: Eagle - Layout – Software. CadSoft Computer, Inc.

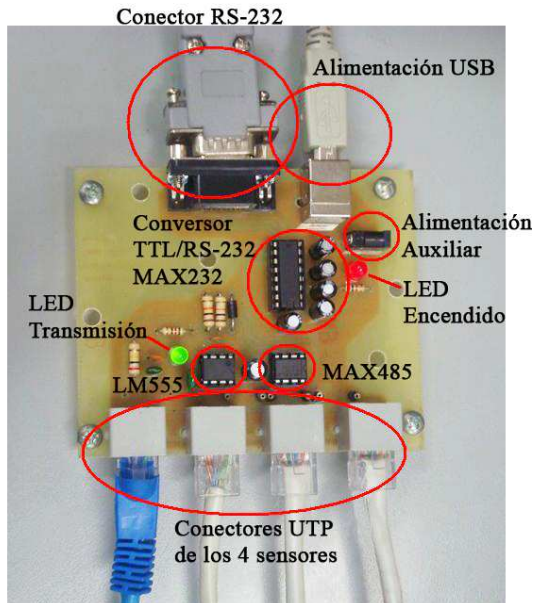
Figura 44. Layout de la tarjeta central. Vista inferior.



Fuente: Eagle - Layout – Software. CadSoft Computer, Inc.

En la Figura 45 se aprecia el montaje final de la tarjeta central. Se agregan a la fotografía los nombres de los diferentes elementos presentes en el montaje. Nótese la presencia de la alimentación externa proveniente del puerto USB del computador en el cual se reciben los datos capturados. Además se cuenta con una alimentación auxiliar a la cual se puede conectar una fuente regulada de 5 [V] y esta se encuentra disponible cuando el equipo de captura no dispone de puertos USB libres o funcionales. Solo se puede usar un tipo de alimentación al tiempo ya que esta tarjeta no cuenta con un sistema que permita elegir una alimentación en particular.

Figura 45. Fotografía de la tarjeta central con los nombres de los elementos. Vista superior



Fuente: Autor

7. SOFTWARE

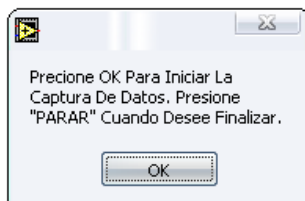
La interfaz grafica (VI) esta hecha usando el software LabVIEW™ Versión 7.0 de la empresa **National Instruments™**. Esta una herramienta gráfica de prueba, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama Lenguaje G. Lenguaje G (**Graphic Language**) es un lenguaje de programación, aunque a diferencia de la gran mayoría no es basado en texto, es gráfico, a través de diagramas es como se representa la lógica del programa que se esta diseñando. El software LabVIEW™ posee la facilidad de permitir la programación de tareas complejas usando diagramas de bloques y diferentes herramientas que este trae por defecto. Además la existencia de pequeños programas conocidos como SubVI's facilitan la tarea de programación haciendo de esta una poderosa herramienta al momento de realizar tareas en el área de adquisición de datos, control de instrumentos, automatización industrial, diseño de control: prototipaje rápido, diseño embebido y domótica entre otras.

Esta herramienta ha sido desarrollada con la finalidad de mostrar al usuario último la información recibida de los sensores de la manera mas clara posible. El VI (Virtual Instrument) elaborado, cuenta con múltiples opciones las cuales le permiten seleccionar al usuario uno o mas modos de visualizar la información, haciendo posible un correcto análisis e interpretación de los datos obtenidos.

En este orden de ideas se procede a describir de manera general y posteriormente bloque por bloque, el funcionamiento final de esta herramienta.

Al momento de ejecutar la herramienta para la captura de datos, lo primero que podrá ver el usuario es una advertencia que le indica que el programa esta a punto de ser ejecutado y esta orden debe ser confirmada. En la Figura 46 se muestra tal advertencia.

Figura 46. Advertencia Visual para el Usuario del Software



Fuente: Autor

Esto se hace con la finalidad de evitar que el software sea ejecutado de manera accidental y por ende se consuman innecesariamente las baterías de las tarjetas sensoras, además de almacenar datos que el usuario podría considerar irrelevantes.

Se presenta el panel frontal del software. Este se muestra en la Figura 47 y es el instrumento de control por el cual el usuario puede escoger el modo de visualización de

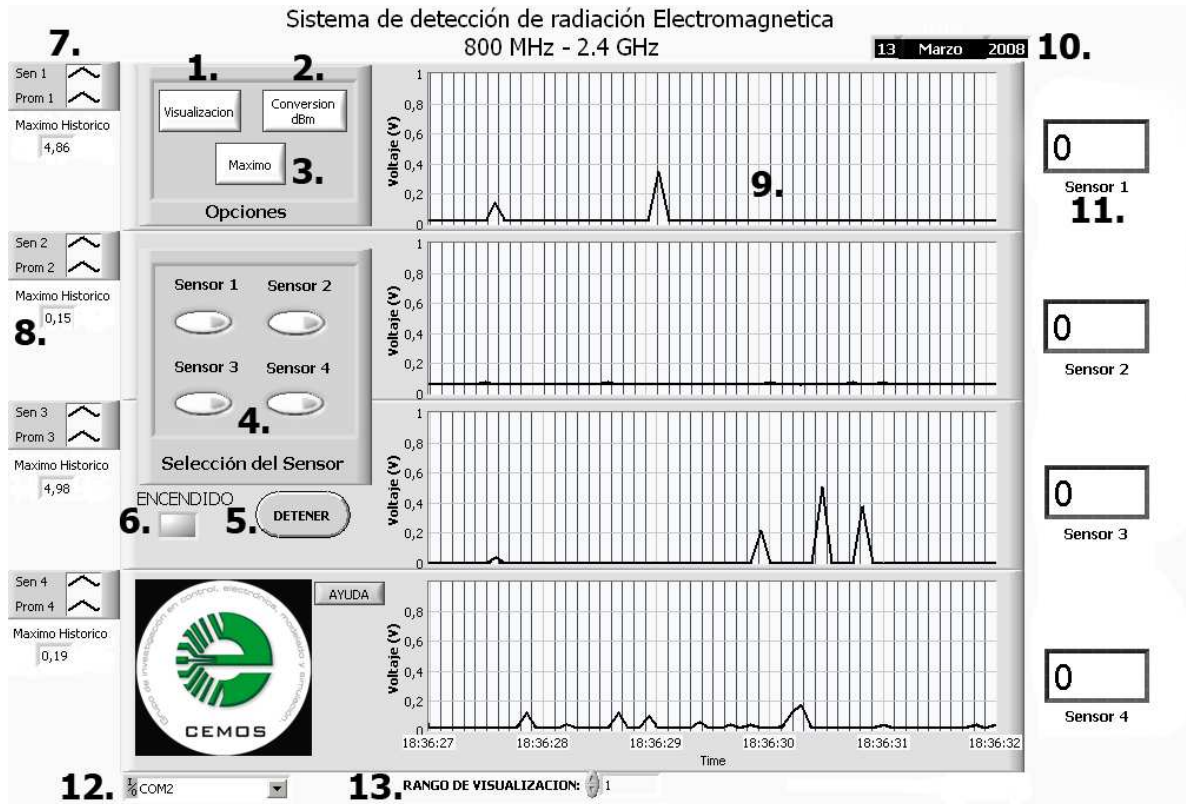
toda la información que proviene de la red de sensores. Las opciones presentes en este panel se encuentran enumeradas y su función, nombres y diferentes opciones se describen a continuación.

Tabla 12. Descripción de las diferentes funciones del panel frontal en modo de visualización 1

Nro.	Nombre	Descripción
1.	Visualización	Botón para selección entre diagrama cartesiano (OFF) y diagrama de tanques (ON).
2.	Conversión	Botón para selección entre diagrama cartesiano (OFF) y diagrama de conversión a dBm (ON).
3.	Máximo	Muestra el valor máximo recibido durante toda la ejecución del programa. Este dato esta siempre disponible en el diagrama de Tanques (Aun con este botón en modo OFF)
4.	Selección de Sensor	Botón para selección independiente del sensor a mostrar en cualquiera de las dos opciones. En modo ON se activan los cuadros indicadores 10.
5.	Parar	Detiene la ejecución del programa en cualquier instante.
6.	Encendido	LED centelleante que le indica al usuario que el programa efectivamente esta siendo ejecutado.
7.	Cuadros Indicadores	Al seleccionar un sensor, estos cuadros aparecen para dar información al usuario acerca del color de la grafica que se presenta.
8.	Máximo Histórico	Muestra el valor máximo encontrado durante toda la ejecución del programa. Este valor siempre es calculado aun si la opción se encuentra en modo OFF.
9.	Diagrama Cartesiano	Muestra gráficamente todos los datos almacenados vs. la hora en la cual se registraron. Además si Promedio esta ON, muestra gráficamente este valor.
10.	Fecha	Fecha tomada del computador sobre el cual se ejecuta el programa. También se guarda en el archivo de texto generado al finalizar el programa.
11.	Indicador Numérico	Muestra el valor actual del dato entrante. Este se activa individualmente al escoger un sensor.
12.	Puerto	Define el puerto sobre el cual se leerán los datos a capturar. Por ejemplo COM1 por ser comunicación serial. El puerto se debe definir antes de iniciar la ejecución del programa.
13.	Rango de Visualización	Modifica las propiedades de las graficas cartesianas y de tanques alterando el rango sobre el cual se muestran los datos. Por defecto este rango esta entre 0 y 5 [V].

Fuente: Autor

Figura 47. Panel frontal de la interfaz grafica. Modo de visualización 1



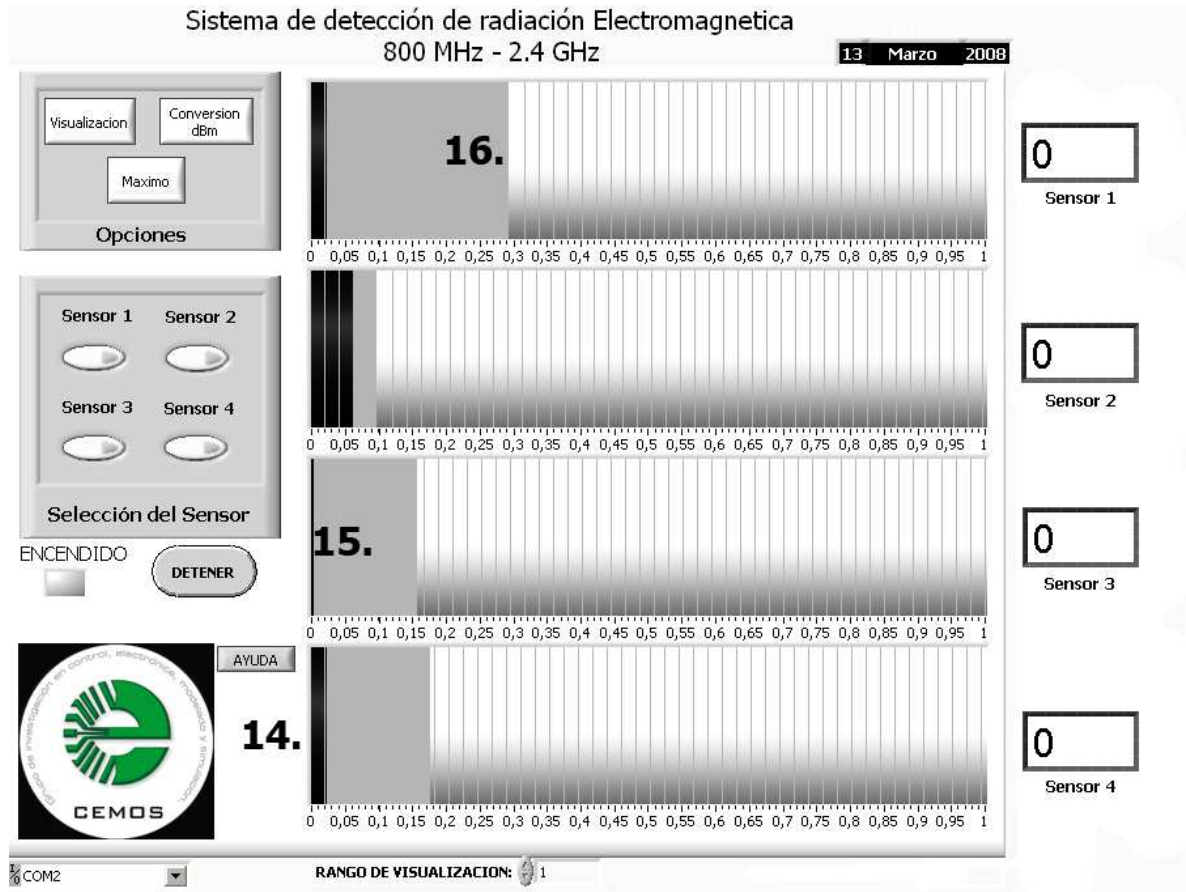
Fuente: Autor

Como se dice en la Tabla 12, el panel frontal cuenta con tres modos de analizar gráficamente las señales provenientes de los sensores. Estos tres modos pueden ser escogidos con el botón “Visualización” y con el botón “Conversión”. La Figura 47 muestra el comportamiento del panel frontal cuando estos dos botones se encuentran en OFF y solo se exponen las graficas cartesianas del valor de voltaje RMS de los sensores AD8361 contra la hora en la cual se llevo a cabo la medición.

Ahora en la Figura 48 se muestra otra opción de visualización que se implemento al momento de diseñar el programa. Esta se activa solo cuando el botón “Visualización” se encuentra en ON, haciendo que el diagrama cartesiano cambie por el diagrama de tanques, proporcionando al usuario la libertad de elegir la que, según el, le proporcione mas información.

De esta manera se le permite al operario una cierta libertad al momento de evaluar los datos que están siendo capturados, ya que el puede elegir la opción que el crea mas conveniente, de entre las 3 diferentes que posee la interfaz grafica diseñada.

Figura 48. Panel frontal de la interfaz grafica. Modo de visualización 2



Fuente: Autor

La siguiente tabla describe los objetos presentes en el panel frontal de la Figura 48.

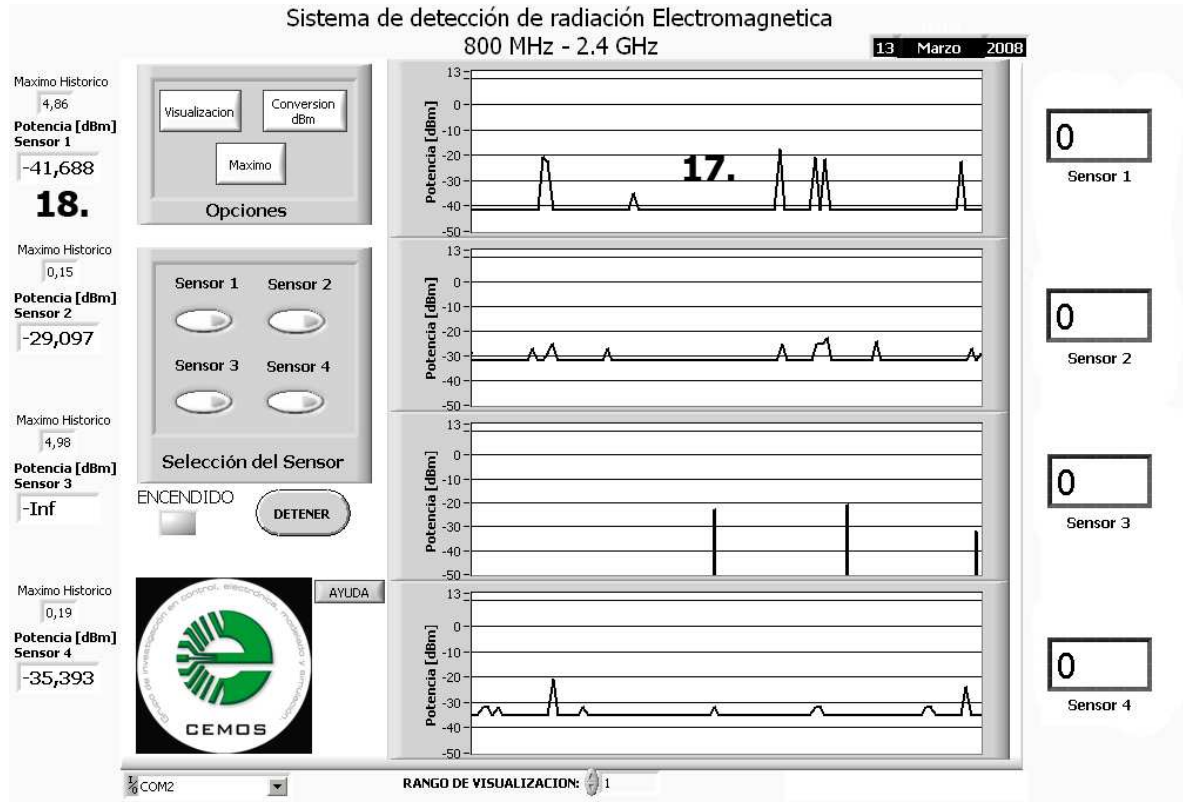
Tabla 13. Descripción de las diferentes funciones del panel frontal en modo de visualización 2

Nro.	Nombre	Descripción
14.	Diagrama de Tanques	Muestra gráficamente la variación de los datos entrantes.
15.	Dato Actual	Se muestra el valor actual de voltaje. De esta manera se ve claramente como varia un dato con respecto al anterior.
16.	Valor Máximo	Máximo valor de voltaje registrado hasta el momento desde que se ejecuta el programa.

Fuente: Autor

Por ultimo, se presenta al lector otra manera de visualizar los datos que están siendo capturados. En esta opción del panel frontal el usuario puede ver como cambia la potencia en dBm de la radiación electromagnética presente en el entorno. La Figura 49 muestra como se ve el panel frontal cuando esta opción de visualización se encuentra activa.

Figura 49. Panel frontal de la interfaz grafica. Modo de visualización 3



Fuente: Autor

La Tabla 14. Descripción de las diferentes funciones del panel frontal en modo conversión Describe los elementos que componen el panel frontal cuando la opción “Conversión” se encuentra activa.

Tabla 14. Descripción de las diferentes funciones del panel frontal en modo conversión

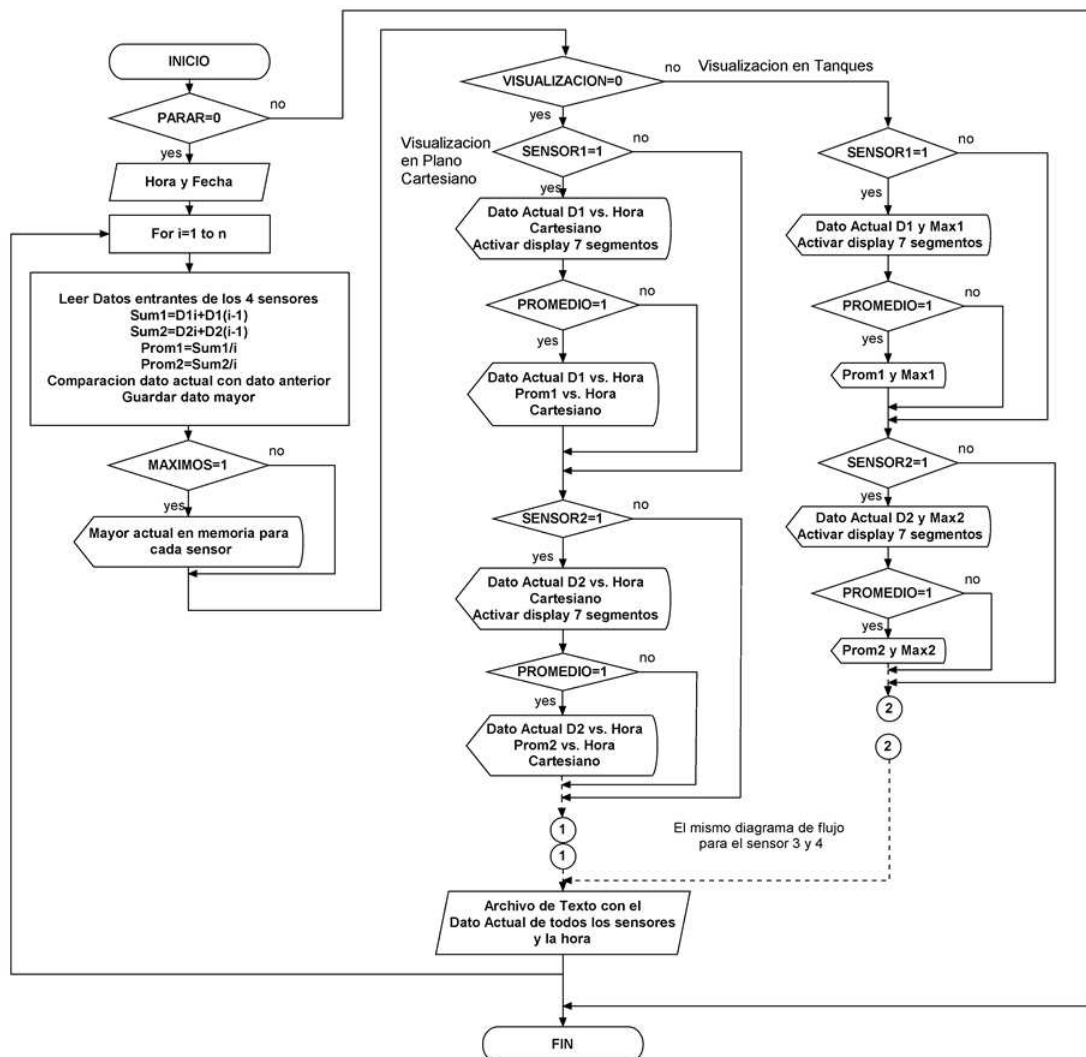
Nro.	Nombre	Descripción
17.	Diagrama de Potencia	Este se activa cuando el botón “Conversión” se encuentra ON. Su rango es de 63 dB. Muestra el valor de potencia en dBm calculado a partir de la ecuación de conversión dada por el fabricante del AD8361 y de una curva de ajuste.
18.	Valor de Potencia	Muestra el valor numérico de potencia actual en dBm.

Fuente: Autor

El cálculo de esta potencia se enseña formalmente mas adelante y se explica como se computariza, que errores presenta y las posibles fuentes del mismo y que criterios se usaron para calibrar la red de sensores. Cabe añadir que esta medida de potencia **NO** es objetivo de este proyecto de grado, pero el equipo de trabajo lo realizo pensando en la tercera fase dentro del desarrollo de este trabajo. Para recomendaciones acerca de esta medición, por favor remítase a las observaciones consignadas al final de este libro.

Después de presentar al lector el panel frontal de este sistema, se procede a enseñar de manera general el diagrama de flujo del sistema.

Figura 50. Diagrama de flujo del programa realizado en LabView™.



Fuente: Autor

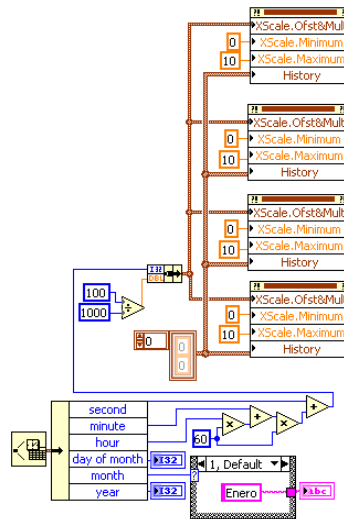
En la Figura 50 se muestra el proceso por el cual atraviesan los datos tomados por los sensores y como finalmente son graficados y presentados al usuario final de manera clara y

ordenada. En este diagrama de flujo se describe el proceso que ocurre para los sensores 1 y 2 únicamente, ya que este mismo ocurre para los sensores 3 y 4 y por simplificación no se presentan en este documento.

Se genera finalmente un archivo de texto en el que se encuentran entre otras cosas la fecha, el tiempo (en formato hora, minutos y segundos), los valores de voltaje registrados y los valores máximos de este voltaje. Este archivo de texto se guarda en el disco duro del computador de manera automática para posteriores estudios y para poder tener todos los datos históricos en un área específica.

En primer lugar, como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 50, se toma la hora y fecha actual desde el computador sobre el cual se ejecuta el programa y luego esta se imprime en las graficas cartesianas de la Figura 47 para posteriormente almacenarla junto con su respectivo dato en el archivo de texto generado al final del programa. La Figura 51 muestra como el programa diseñado obtiene la fecha y la hora del computador usando un subVI que facilita esta tarea. En esta grafica se muestra como se introduce este dato, obtenido del computador sobre el cual se corre el programa, a las 4 graficas presentes en el panel frontal, editando las propiedades de dichas graficas y cargando el valor de hora en formato hora/minutos/segundos sobre el eje X.

Figura 51. VI usado para la captar la hora y fecha actual desde el computador y mostrarla en la grafica cartesiana al momento de ejecutar el programa

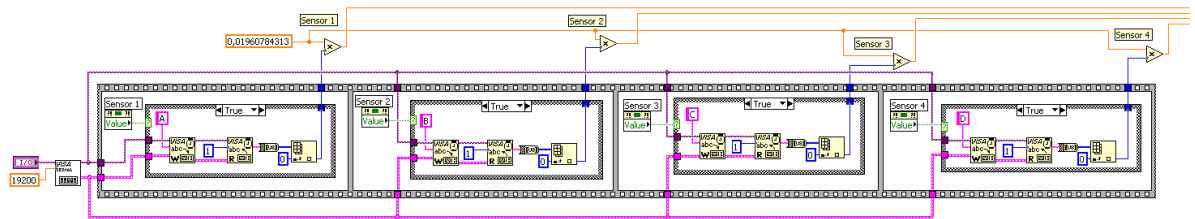


Fuente: LabView™

Cabe resaltar que si el computador sobre el que se corre el software tiene mal configurada la hora y fecha actual, esto se verá reflejado al momento de graficar y almacenar los datos, puesto que la hora capturada por el programa estará igualmente desconfigurada. Esta aclaración se encuentra consignada dentro de las recomendaciones hechas en el MANUAL DEL USUARIO.

Después de obtener la hora y la fecha actual, se procede a recibir los datos desde la tarjeta central. Para realizar este proceso se debe tener en cuenta varios factores, como lo son el puerto por el cual se leerá la información capturada, la velocidad de transmisión, el número de bits a ser leídos, el tiempo que el sistema debe esperar para reportar un error en caso tal que todos los bits no lleguen a su destino, definir que tipo de paridad se usa para el mensaje, bits de parada, el tipo de control de flujo que se utiliza, entre otros parámetros. Más adelante se habla en mayor detalle de cada uno de ellos. La Figura 52 muestra el diagrama de bloques que se usa para entablar la comunicación con los 4 sensores disponibles.

Figura 52. Diagrama de bloques usado para entablar la comunicación con toda la red de sensores



Fuente: LabView™

La Figura 52 presenta como la comunicación serial se realiza paso por paso, es decir, se toma un dato a la vez. Esto es muy conveniente puesto que de esta manera se evita el uso de cabeceras de identificación que reducirían en gran medida el número de datos que el sistema capta por segundo. Gracias a esta configuración serial, el número de datos que son procesados cada segundo oscila alrededor de los 260 cuando solo un sensor esta operando. Este valor no es constante ya que LabView™ trabaja sobre un entorno Windows XP y este sistema operativo ejecuta procesos repentinamente, sin conocimiento del usuario, consumiendo así valiosos recursos informáticos necesarios para optimizar el funcionamiento de la red. El número de datos capturados dependerá en gran medida del espacio en la memoria RAM disponible para la ejecución de LabView™ y por ende de la cantidad de procesos que Windows este ejecutando en ese momento.

En pruebas de laboratorio realizadas, se pudieron encontrar los valores promedio que se presentan a continuación en la Tabla 15.

Tabla 15. Número total de datos capturados por segundo para diferentes cantidades de sensores trabajando al mismo tiempo

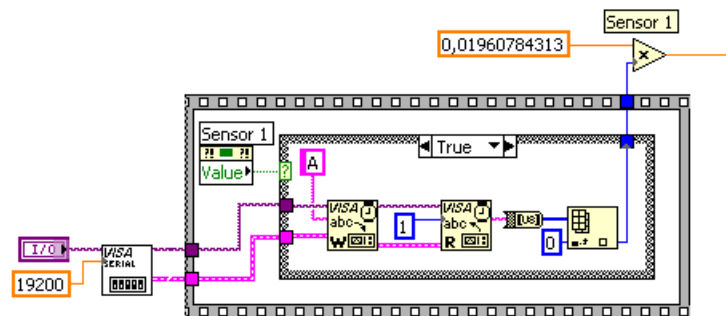
No. de sensores	Datos/Sensor	No. Total de datos
1	82	328
2	69	276
3	62	248
4	52	208

Fuente: Autor

Como se muestra en la Tabla 15, la velocidad de transmisión máxima real del sistema es de 5.2 [kbits/segundo] y no de 19.2 [kbits/segundo] como se plantea en un principio. Esto se debe a que los sensores no transmiten constantemente y deben esperar a que sean llamados por el software. En el primer ciclo de trabajo por ejemplo, el software toma 4 datos como máximo y luego estos son procesados. Mientras esto ocurre, la red de sensores se encuentra a la espera de las letras de identificación y este es el tiempo que se desperdicia en la transmisión. Además, el número de datos que recibe 1 sensor cuando 4 de ellos se encuentran transmitiendo, no es exactamente la cuarta parte del número de datos que captura la red cuando solo 1 de los sensores se encuentra trabajando. Esto se debe a los retardos generados en la acción de encender el sensor para capturar la variable y luego apagarlo. Si los 4 sensores de la red se encuentran encendidos, esta operación se debe realizar 8 veces por ciclo, y por ende la velocidad de transmisión del sistema depende en gran manera de el tiempo de reacción de los elementos dentro de la tarjeta sensora, especialmente el sensor AD8361.

Cada tarjeta sensora se encuentra identificada con una letra del alfabeto latino, escrita en mayúscula. Esta letra se encuentra almacenada en la memoria del microcontrolador PIC16F88 integrado a cada tarjeta sensora. Como se mencionó anteriormente, el microcontrolador siempre está escuchando el canal esperando recibir esta letra y al confirmar que la letra escuchada en el canal es efectivamente la suya, procede a encender el sensor AD8361 y a enviar el dato solicitado. Este dato luego es leído por LabView™ desde el puerto serial y convertido a número para poder ser procesado. Inmediatamente este número es multiplicado por la constante de conversión del microcontrolador, obteniendo así, el verdadero valor del dato y una comunicación coherente. Este proceso de envío de identificación y recepción de datos se repite indefinidamente, un sensor a la vez, hasta que el usuario desactive el sensor o termine la captura de datos. Debido a la lógica en la comunicación que maneja este software, la velocidad con la que se capturan los datos provenientes de un solo sensor es variable, dependiendo esta velocidad del número de sensores que se encuentren activos y enviando datos. Así, si por ejemplo los 4 sensores disponibles se encuentran enviando datos, los 4 sensores ocuparan el bus de transmisión en instantes diferentes de tiempo y LabView™ esperara a obtener los 4 datos para ser procesados.

Figura 53. Diagrama de bloques usado para entablar la comunicación con el sensor A



Fuente: LabView™

La Figura 53 muestra en detalle el diagrama de bloques usado para la recepción de los datos del sensor A. Nótese como se define la velocidad de transmisión a 19200 [baudios] y el nombre del puerto por el cual se deben enviar y leer la información. Además, adviértase el envío de la letra A gracias al modulo de escritura serial y como se leen los datos mediante el modulo de lectura serial. En este caso, se define en el modulo de lectura que el número de bytes a ser leído es 1. Posteriormente se convierten los datos de ASCII a número decimal y luego se multiplican por la constante del microcontrolador. Como se dijo anteriormente, este proceso se repite indefinidamente, un sensor a la vez, hasta que el usuario interrumpa el programa o desactive el sensor A. Todos los parámetros que se definen para la transmisión de datos son los que se presentan en la Tabla 16.

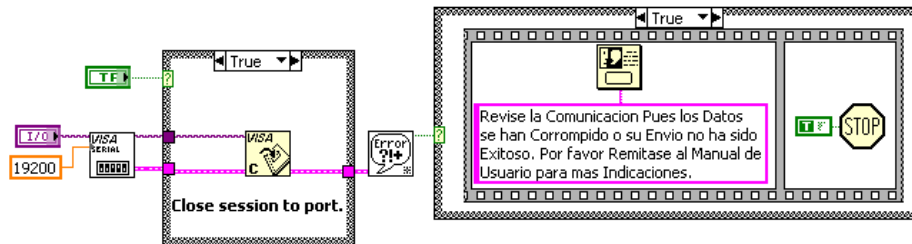
Tabla 16. Parámetros que definen la comunicación serial en LabView™

Nombre	Valor
Puerto	Variable
Timeout	10 [s]
Carácter de terminación de lectura	\n
Baud rate	19200 [Baudios]
Bits	8
Paridad	Ninguna
Bits de parada	1
Control de flujo	Ninguno

Fuente: Autor

Cualquier problema en la comunicación, ya sea pérdida o corrupción de los datos, es informado al usuario mediante el siguiente diagrama de bloques.

Figura 54. Diagrama de bloques usado para cerrar la comunicación y reportar errores en la misma

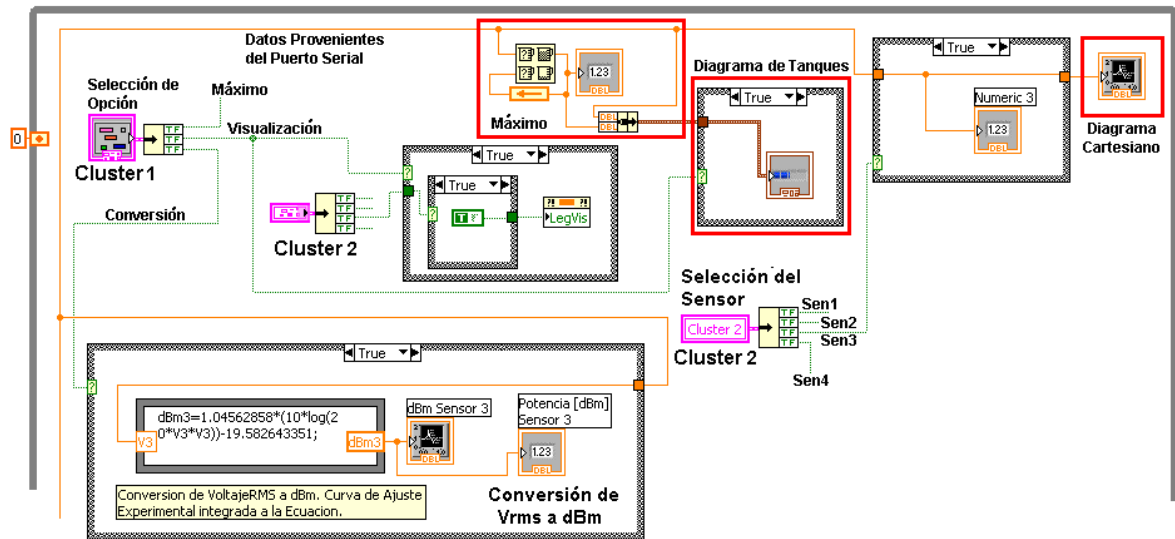


Fuente: LabView™

La Figura 54 muestra como se cierra el puerto serial al finalizar una toma de datos o al momento de encontrar errores en la comunicación. Finalmente se le indica al usuario que revise el hardware puesto que los datos no pueden procesados.

El programa general para el sensor 3 se muestra en la Figura 55. Para los demás sensores se usa el mismo esquema general y los únicos cambios que se realizan son la entrada de datos desde el sensor, la entrada booleana desde el cluster 2 para la selección del sensor y la ecuación de ajuste que se usa para la medición de potencia, entre otros pequeños detalles como el color de la grafica y los nombres.

Figura 55. Resumen del programa en LabView™ para el sensor 3

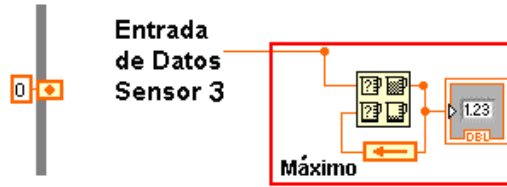


Fuente: LabView™

En la Figura 55 se aprecian las diferentes entradas al sistema como lo son la entrada de datos desde el sensor 3, el cluster 1 (selección de opción) y el cluster 2 (selección de sensor). Conjuntamente también se ven los diferentes procesos que se llevan a cabo al momento de ejecutar el software como los son el cálculo del valor máximo, calculo del valor de potencia, la configuración para el diagrama de tanques así como para el diagrama cartesiano.

En este orden de ideas se presenta en detalle el diagrama de bloques del sistema utilizado para el cálculo del valor máximo. Este diagrama se muestra en la Figura 56 y nuevamente se han borrado todas las conexiones que no sean relevantes para la comprensión del funcionamiento de este bloque. En esta etapa se usa una realimentación negativa que tiene un valor inicial de 0. El icono llamado “Max & Min” presente en el bloque realiza la función de comparar 2 entradas y colocar en la salida superior el mayor de los dos. El valor que sea mayor que el presente en la realimentación es mostrado en el panel frontal y almacenado temporalmente hasta que otro valor mayor que el almacenado se presente en la entrada de datos.

Figura 56. Diagrama de bloques simplificado usado para el calculo del el valor máximo

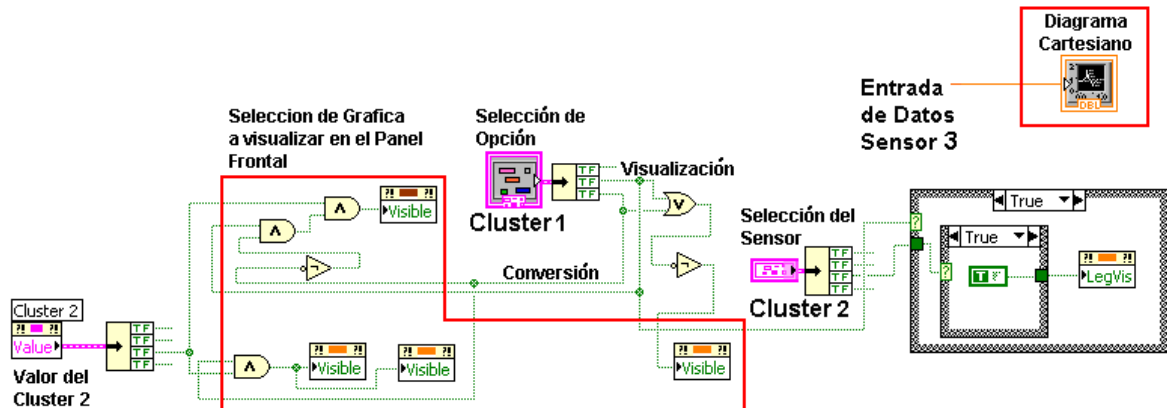


Fuente: LabView™

De esta manera se logra obtener el valor de voltaje máximo de entre toda la cantidad de datos entrantes y almacenar este valor en el archivo de texto final. Se debe decir que el valor máximo es calculado durante toda la ejecución de la interfaz grafica, aun cuando el operario del sistema no haya escogido visualizar dicho valor. Esto se hace con el fin de guardar el valor máximo histórico de toda la detección y así poder brindar al usuario un valor real y actualizado.

Continuando con la presentación de todos los bloques relevantes para el sensor 3, se muestra ahora en la Figura 57 el diagrama de bloques que se usa para modelar la grafica cartesiana vista cuando el botón “Visualización” se encuentra en OFF. El usuario debe colocar en la posición ON el botón “Sensor 3” en el panel frontal para modificar la propiedad de visibilidad mostrada en la Figura 57 y desplegar así la grafica cartesiana de los datos de dicho sensor.

Figura 57. Diagrama de bloques simplificado usado para graficar en plano cartesiano V_{in} vs. Hora



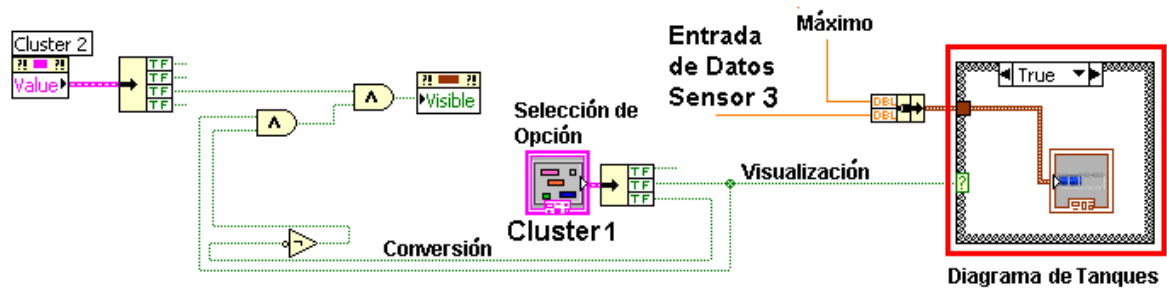
Fuente: LabView™

La entrada al eje Y de esta grafica es el valor del dato actual obtenido del puerto serial para este sensor en particular. La entrada al eje X es la hora actual tomada del computador en el que se trabaja. Esta hora es introducida a la grafica usando las propiedades de esta misma como se muestra en la Figura 51. Además como lo muestra la Figura 57, el botón “Sensor 3” del panel frontal cuando se encuentra ON, cumple la condición de verdadero en la estructura “Case” y esto hace que se despliegue la leyenda a la izquierda del panel frontal

(numeradas con el 7. en la Figura 47) para explicarle claramente al usuario que se esta mostrando y de que color es cada grafica vista.

Cuando el botón “Visualización” se encuentra en ON se despliega en pantalla un diagrama de tanques que se usa para proporcionar al usuario otra opción de analizar los datos y que compara directamente la variación de las señales de manera grafica y sencilla. Este diagrama se muestra en el panel frontal como se muestra en la Figura 48 y el diagrama de bloques que lo controla es el que se presenta en la Figura 58.

Figura 58. Diagrama de bloques simplificado usado para el diagrama de Tanques

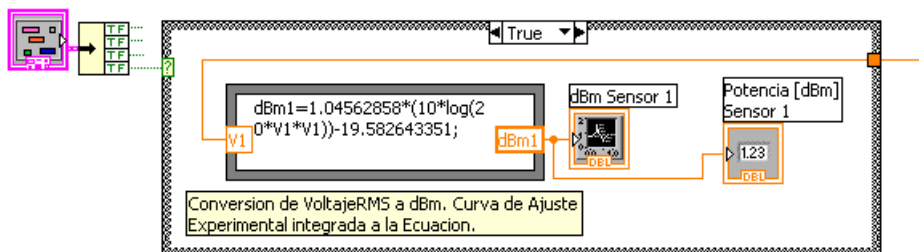


Fuente: LabView™

Este diagrama de bloques contiene compuertas lógicas la cuales permiten seleccionar el tipo de grafica que el usuario desee visualizar. Estas compuertas deben estar presentes ya que de esta manera se evitan errores en la interfaz grafica, tales como intentar mostrar en pantalla el diagrama cartesiano y el diagrama de tanques al tiempo. El tanque muestra la como varían los datos entrantes desde la red de sensores. El tanque siempre muestra el valor máximo alcanzado por los datos y este se obtiene según se muestra en la Figura 56 .

Otra etapa en el procesamiento de los datos, comprende el cálculo del valor de potencia en dBm. Esto se realiza gracias al diagrama de bloques mostrado en la Figura 59.

Figura 59. Diagrama de bloques simplificado usado para el cálculo de potencia en dBm en el sensor 1



Fuente: LabView™

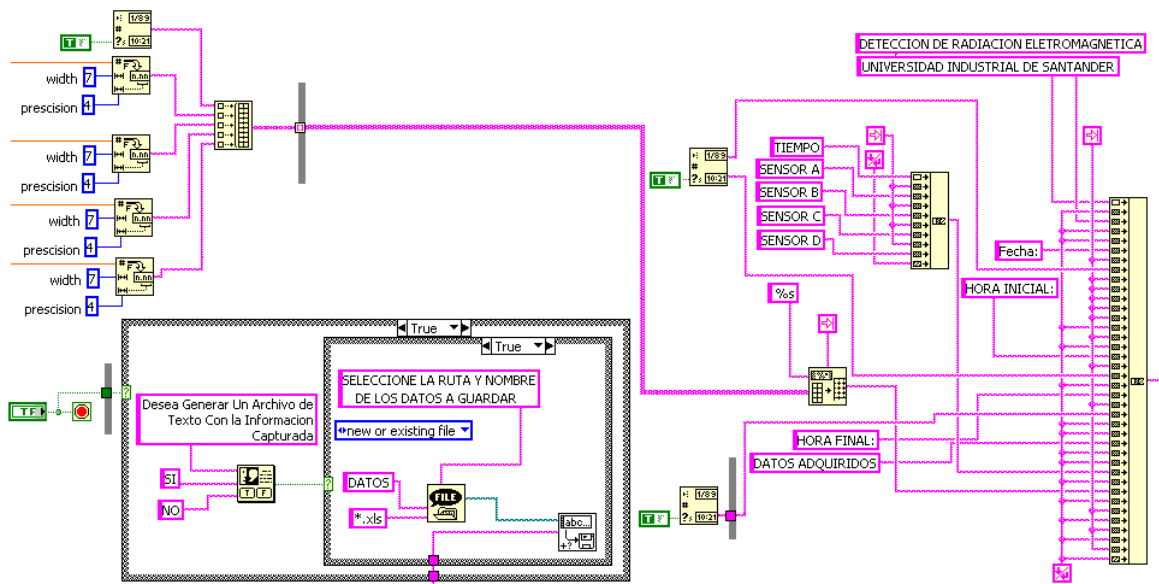
La figura anterior presenta la operación matemática realizada para obtener el valor de potencia en dBm a partir de un valor de voltaje RMS. La formula usada es la que el fabricante da para ser empleada en estos casos y se muestra en la Ecuación 21.

$$dBm = 10\log(20V^2) \quad \text{Ecuación 21}$$

Además de esta formula, también se usa una curva de ajuste la cual fue calculada experimentalmente gracias a un patrón tomado del generador **Marconi Instruments 2023**. Esta aproximación lineal se realizo para cada una de las tarjetas sensoras, siendo así que cada una de ellas posee características diferentes aun cuando todas tienen los mismos elementos de las mismas empresas fabricantes. Para mas detalles acerca de esta curva de ajuste, por favor remítase al capítulo de pruebas realizadas.

Finalmente se muestra al lector el diagrama de bloques usado para la generación del archivo de texto con todos los datos capturados. Este archivo tiene una extensión propia de la aplicación de hoja de cálculo de Microsoft, llamada Excel. De esta manera, el usuario final tiene la opción de escoger si desea o no, almacenar todos lo datos capturados por el sistema, dentro de esta hoja de calculo y así poder analizarlos posteriormente de la manera que este lo crea mas conveniente, puesto cada dato esta relacionado con la hora en la cual este fue almacenado. En la Figura 60 se muestra el diagrama de bloques usado para este fin.

Figura 60. Diagrama de bloques simplificado para la generación del archivo de Excel con los datos capturados



Fuente: LabView™

El software para la visualización de los datos capturados obtiene la fecha y hora desde el computador sobre el cual se corre dicho programa. Esta fecha y hora son almacenadas como datos relevantes para posteriores estudios. El computador sobre el cual se trabaja

debe tener estos dos parámetros correctamente configurados. En último lugar, el usuario puede escoger la ruta sobre la cual almacenar la hoja de cálculo generada y el nombre para la misma. Por defecto se almacena en “Mis Documentos” y el nombre por defecto del archivo es “DATOS”. Dicha hoja de cálculo queda tal como se muestra en la Tabla 17.

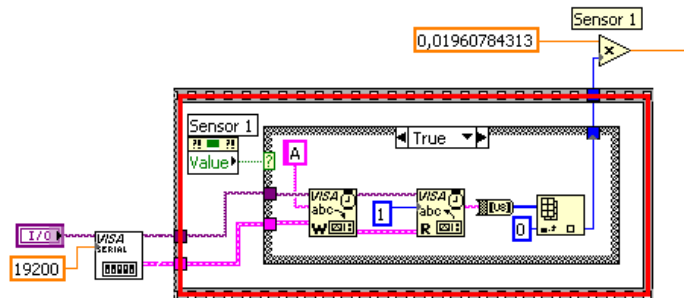
Tabla 17. Tabla final generada por el programa creado en LabView™

DETECCION DE RADIACION ELETROMAGNETICA				
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER				
Fecha:	25/03/2008			
HORA INICIAL:	07:19:22 p.m.			
HORA FINAL:	07:19:34 p.m.			
DATOS ADQUIRIDOS				
TIEMPO	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
07:19:22 p.m.	1,05	0	2,5	0,0196
07:19:34 p.m.	0	0,0196	0	0

Fuente: Autor

Como se ve en la Tabla 17, en el mismo instante de tiempo se muestran diferentes valores de voltaje para diferentes sensores. Esto no contradice lo que se ha dicho hasta el momento acerca de la comunicación serial hecha paso a paso, lo único que esto significa es que LabView™ no puede procesar los datos de cada sensor hasta no haber finalizado el ciclo de envío/lectura de datos de todos los sensores. Un ejemplo en particular se muestra en la Figura 61.

Figura 61. Diagrama de bloques usado para entablar la comunicación con el sensor A. Nótese la estructura de secuencia en rojo



Fuente: LabView™

Esta estructura de secuencia es común para todos los sensores puesto gracias a ella se realiza la secuencia de escritura/lectura del puerto serial y solo hasta finalizar esta

secuencia se despachan los datos de todos los sensores para ser procesados. De esta manera, LabViewTM no lee todos los datos del puerto serial al tiempo, pero si los procesa todos al tiempo. Es por esto que en las graficas puede resultar que aparecen datos capturados en el mismo instante de tiempo, pero esto no es verdad. Lo mismo ocurre con la hoja de datos que se genera al finalizar el programa.

Debido a lo anterior, el programa diseñado no es una adquisición de datos en tiempo real propiamente dicha, puesto que además de capturar los datos a intervalos de tiempo diferentes y mostrarlos como si hubieran sido capturados al mismo tiempo, Windows XP es un SO no determinístico, haciendo que aun en el mejor de los casos, sea imposible calcular el tiempo que puede tomar capturar una serie de datos y luego mostrarlos.

Esto no es un inconveniente para este proyecto de grado, ya que la detección de estas fuentes de radiación no es crucial o de vital importancia para la automatización o el control de un proceso y por esto una adquisición de datos en tiempo real no es fundamental. Como un complemento a esta aseveración se puede decir que normalmente las emisiones de estas fuentes de radiación duran segundos y en algunos casos minutos u horas, permitiendo que se pueda capturar mucha información de una señal aun con una baja velocidad de adquisición, haciendo de este software una herramienta bastante fuerte para la detección, triangulación y posible medición de dichas fuentes.

8. EJECUCION DEL PROGRAMA

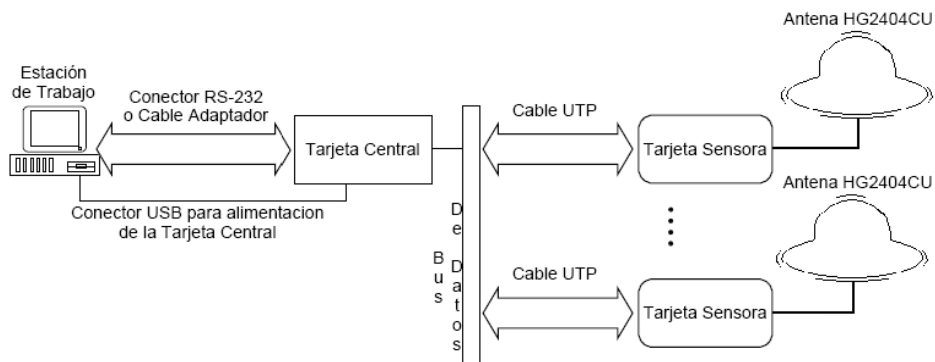
8.1. Instalación de software y hardware

Si se desea trabajar con el programa ejecutable diseñado por el equipo de trabajo sobre el entorno LabView™, no se debe instalar ningún tipo de software adicional y el programa se puede correr solo haciendo “doble-click” sobre el icono del programa ejecutable. En caso tal que el computador no posea puerto serial sobre el cual conectar la tarjeta central es recomendable usar un cable conversor tal como el **PL-2303 USB-Serial Driver** el cual puede convertir automáticamente los datos desde la tarjeta central y enviarlos al computador por medio del puerto USB. Este tipo de cables conversores necesitan la instalación de “**Drivers**” para un correcto funcionamiento. De esta manera, se puede decir que el software diseñado para este proyecto de grado puede ser ejecutado en cualquier computador actual puesto que existen diversos cables que pueden convertir de protocolo serial a el que fuese necesario.

Si se desea correr o editar el programa usando LabView™, el computador sobre el cual se trabaja debe tener instalado dicho software y la persona encargada debe tener conocimientos avanzados en el manejo de este programa. Para detalles acerca de esto se deben consultar los manuales y ayudas provistas por el fabricante acerca de la instalación y uso de esta herramienta.

Para la conexión del hardware se debe tener en cuenta que la manera como se conecten las tarjetas sensoras a la tarjeta central no influye en como se etiqueten los datos. Como se menciono anteriormente, cada tarjeta esta identificada con una letra del abecedario en mayúscula (para este proyecto de grado se usaron las letras comprendidas entre la A y la D) y el software llamara a cada sensor por su letra de identificación cada vez que sea solicitado un dato proveniente desde dicho sensor. En la Figura 62 se muestra como conectar todo el hardware de manera general. Para detalles específicos acerca de la conexión de cada elemento dentro del sistema, por favor remítase a la sección correspondiente.

Figura 62. Diagrama general para la conexión del hardware



Fuente: Autor

9. PRUEBAS REALIZADAS

Se realizaron pruebas para constatar el correcto funcionamiento de las distintas etapas de la red de sensores y del sistema final como un todo. Estas experiencias se llevaron a cabo en múltiples lugares y con la colaboración de diferentes personas. En la Tabla 18 se presenta una introducción a tales prácticas.

Tabla 18. Descripción de las pruebas realizadas con la red en diferentes fases del trabajo de grado

	Prueba	Ubicación	Nombre de Equipo	Descripción
Pruebas Antenas	1 Simulación	UIS, Eléctrica 103	Software CST Studio	Simulación de antena espiral de Arquímedes.
	2 Caracterización de antena espiral de Arquímedes	MinCom. Seccional Santander	Analizador de espectros Rohde & Schwarz FSP Spectrum Analyzer 9Hz a 40 GHz y antena logarítmica periódica SAS-510-4	Comparación de antena espiral de Arquímedes con antena logarítmica periódica SAS-510-4
	3 Caracterización HG2404CU y Espiral de Arquímedes	UDI	Sistema LVDAM-ANT	Caracterización de patrón de radiación de la espiral de Arquímedes y la antena HG2404CU.
Pruebas Sistema	4	UIS, AT201	Sistema red de sensores (4 tarjetas sensoras, 1 tarjeta central y computador para ejecutar la interfaz grafica)	Corroborar la funcionalidad general del sistema. Conocer los tiempos reales de operación de mismo, etapa por etapa. Se usan diferentes configuraciones de antenas para diferentes fuentes de transmisión.
	5 Correcto funcionamiento del sistema final			
	6			

Fuente: Autor

9.1. Pruebas simuladas en CST Studio

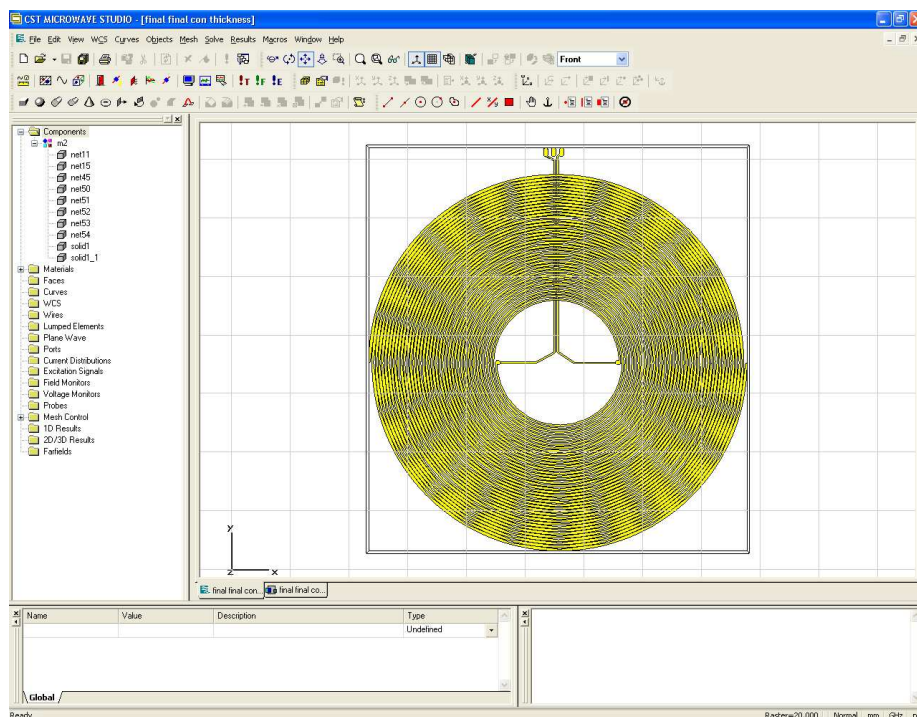
Estas pruebas se realizaron con el fin de observar el posible comportamiento de la antena espiral de Arquímedes. Entre los objetivos de este proyecto de grado **NO** se encuentra el diseño de una antena banda ancha pero el grupo de trabajo deseo explorar este campo debido a que en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander nunca se había trabajado con este tipo de dispositivos y por ende esto se convierte en un logro mas de este proyecto. Para esta etapa se usa el software de simulación CST Studio de la empresa **Computer Simulation Technology**. Esto además es otro gran alcance de este proyecto, puesto que este programa es relativamente nuevo en la universidad y es la primera vez que es usado dentro de un trabajo de grado y ha demostrado ser muy eficaz y exacto en sus resultados, asimismo posee una interfaz grafica amable y resulta sencillo de operar. Este software permite

simular los campos electromagnéticos que pueden generar diferentes formas geométricas complejas compuestas por diversos materiales y trabajando a múltiples frecuencias.

La antena espiral de Arquímedes fue generada en este software gracias a la importación del archivo “gerber” usado para crear el circuito impreso en **Eagle/Layout/Software** de la empresa **CadSoft**.

En la Figura 63 se puede apreciar una imagen general de la interfaz gráfica usada para trabajar en CST Studio.

Figura 63. Imagen general del software de simulación CST

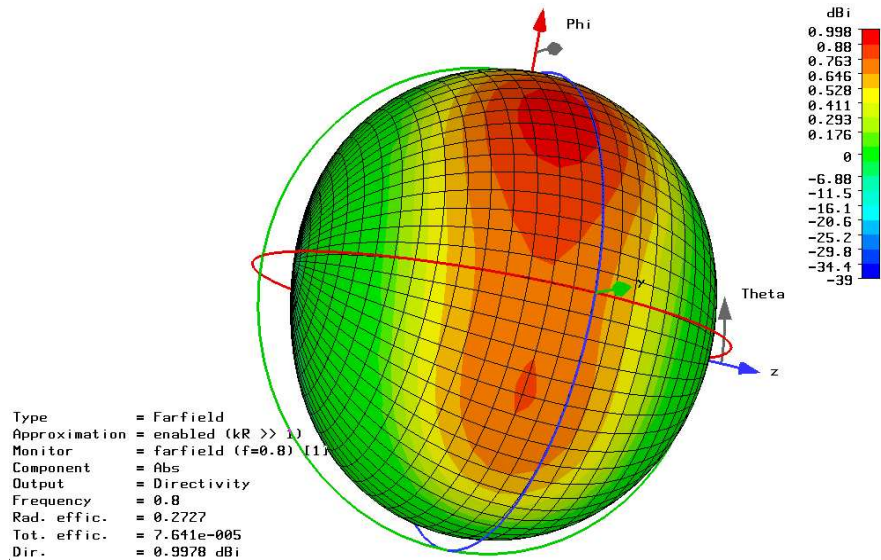


Fuente: Autor

Para información más detallada acerca del uso de este software de simulación, por favor remítase al manual del usuario del mismo.

Luego de tener configurados todos los parámetros de simulación, caracterizar el material del cual se compone la antena, especificar las frecuencias de trabajo y los límites geométricos que comprenden el cálculo de los campos; se procede a correr esta simulación obteniendo los resultados que se presentan en esta sección. Las pruebas se realizaron múltiples veces y como consta en las observaciones consignadas al final de este libro, el tiempo empleado para la carga de los parámetros y la finalización de dicha simulación es bastante grande, alcanzando en todos los casos más de 24 horas. En la Figura 64 se aprecia el patrón de radiación de campo lejano para la primera frecuencia de interés dentro de este trabajo de grado.

Figura 64. Patrón de radiación de campo lejano a 800MHz

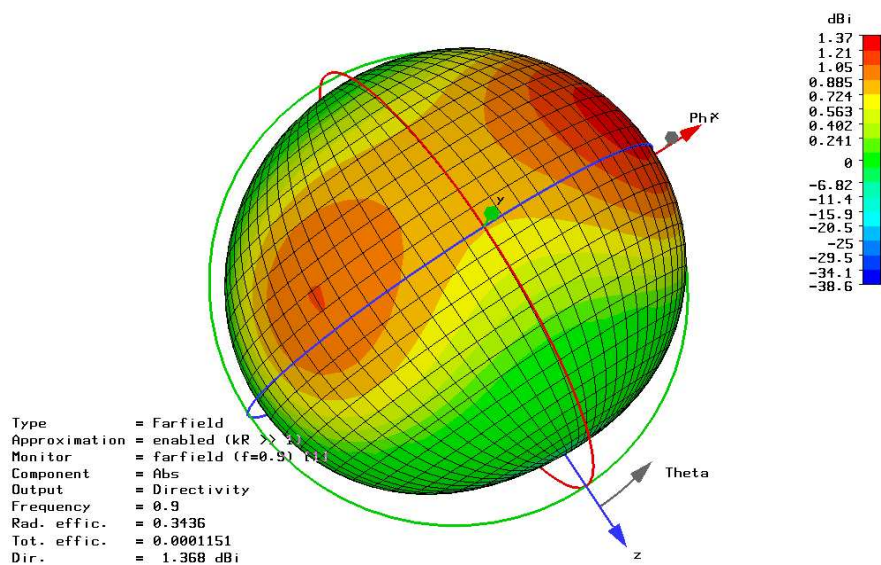


Fuente: CST Studio

Como se expreso anteriormente, esta simulación solo tiene un fin explicativo y solo pretende dar una primera luz acerca del posible comportamiento de la antenna diseñada para este proyecto. En este libro no se ahondara en detalles acerca de la interpretación de esta grafica o acerca de otras propiedades de la antenna y su presentación se reduce a la verificación, de acuerdo con el software, de su propiedad de directividad.

En la Figura 65 se muestra al lector la grafica del patrón de radiación de campo lejano generada para la frecuencia de 900MHz.

Figura 65. Patrón de radiación de campo lejano a 900MHz

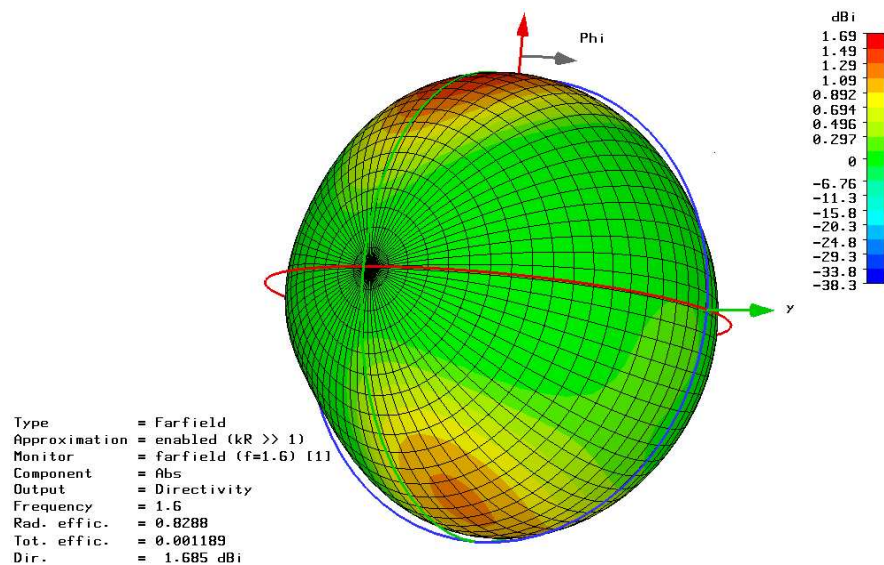


Fuente: CST Studio

La Figura 64 y Figura 65 son de especial interés, puesto que alrededor de ellas se encuentran operando dos importantes empresas de telefonía celular y su detección es objetivo primordial de esta tesis. En una comparación entre la Figura 64 y la Figura 65 se puede apreciar como los dos lóbulos rojos se encuentran mas espaciados el uno del otro. Esto señala una mejora en el comportamiento directivo de esta antena a medida que la frecuencia aumenta. Pruebas posteriores confirman la directividad de esta antena pero no corroboran o desmienten esta afirmación.

En la Figura 66 se observa el patrón de radiación para una frecuencia de trabajo de 1.6GHz.

Figura 66. Patrón de radiación de campo lejano a 1.6GHz



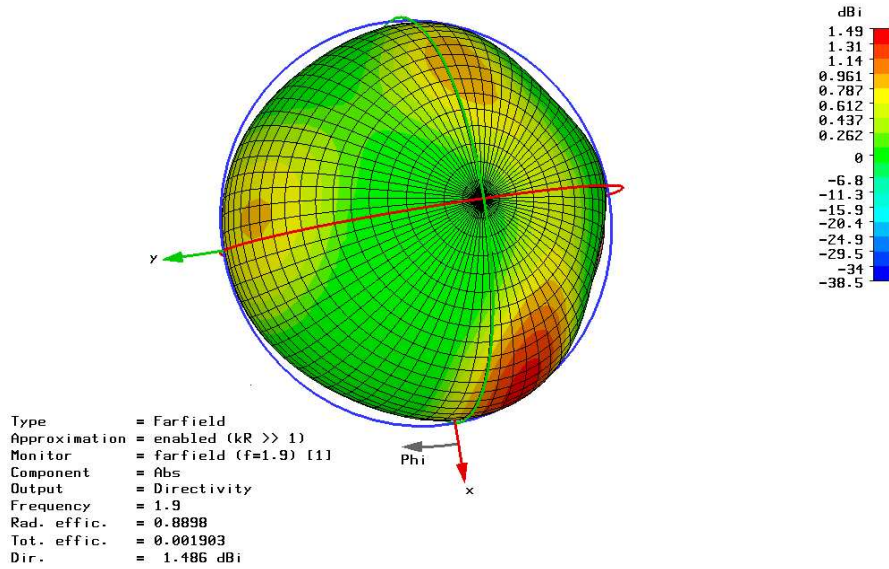
Fuente: CST Studio

Esta frecuencia de trabajo se simuló para poder apreciar el comportamiento de esta antena en la posible detección de telefonía móvil satelital, la cual trabaja en esta frecuencia. Asimismo, por ser una frecuencia armónica de la banda de 800MHz y encontrarse casi en la mitad de la banda de trabajo del sistema. Es interesante notar como el software de simulación muestra una mejora considerable en la direccionalidad y confirma la suposición inicial de que esta antena en particular se comporta mejor a altas frecuencias.

Otra frecuencia importante es la de 1.9GHz puesto que en ella opera otra compañía de telefonía móvil celular. La grafica obtenida de la simulación para esta frecuencia se presenta en la Figura 67.

El análisis de esta figura está fuera de los alcances de este trabajo de grado y se espera que en otra etapa dentro del desarrollo de este proyecto se pueda diseñar, de manera sistemática y clara, una antena banda ancha de estas características. Esto está consignado dentro de este libro en la sección “Observaciones”.

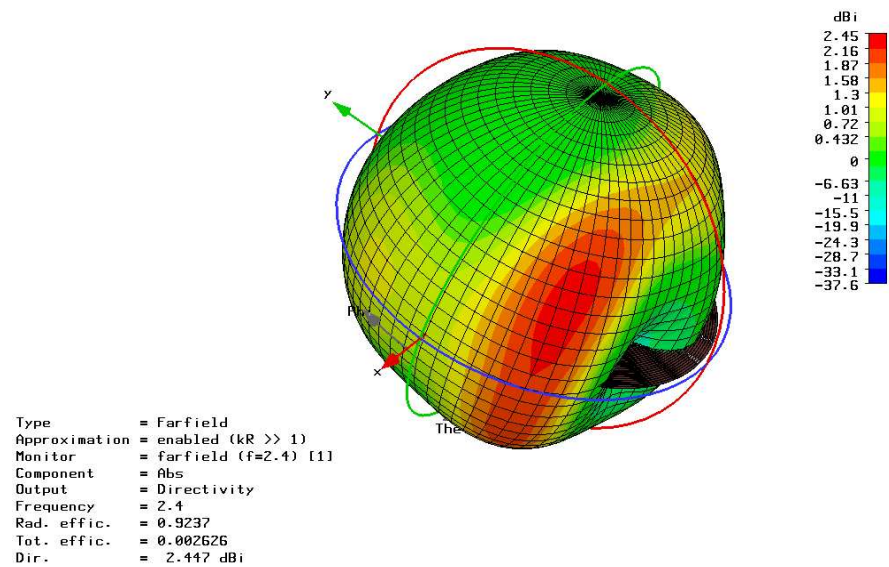
Figura 67. Patrón de radiación de campo lejano a 1.9GHz



Fuente: CST Studio

Finalmente se muestra la grafica obtenida para una frecuencia de trabajo de 2.4GHz. Esta se encuentra en la Figura 68.

Figura 68. Patrón de radiación de campo lejano a 2.4GHz



Fuente: CST Studio

En esta frecuencia trabajan los equipos de conexión de redes de datos inalámbricos Wi-Fi y la tecnología Bluetooth. Según la simulación la antena ya ha perdido las propiedades mostradas anteriormente y esto indicaría que el ancho de banda para el cual se diseñó la

antena no es realmente entre 800MHz y 2.4GHz. En la siguiente sección de este libro se muestran diferentes pruebas realizadas, las cuales ilustraran más el comportamiento real de la antena espiral de Arquímedes.

9.2. Pruebas realizadas a la antena espiral de Arquímedes en campo abierto con el analizador de espectro Rohde & Schwarz. FSP Spectrum Analyzer. 9Hz a 40 GHz

En estas pruebas se busca comparar entre el comportamiento real de una antena logarítmica periódica de uso comercial y la antena espiral de Arquímedes fabricada por el grupo en la etapa de diseño de este trabajo de grado.

La antena logarítmica periódica que se usa como patrón dentro de esta practica, fue prestada de manera muy atenta por el Ingeniero Antonio Jaimes del Ministerio de Comunicaciones de Colombia Seccional Bucaramanga con sede en Provenza y fue cotizada pensando en su posible adquisición. Esta antena se consigue en el comercio por un valor de US\$ 3.875.

Tabla 19. Cotización hecha para la posible compra de antenas logarítmicas periódicas entre otros elementos de interés

Item	Cant.	Ref.	Descripción	DDP UNIT US\$	DDP TOTAL US\$
ANTENA A.H. SYSTEMS					
1,00	1	SAS-510-4	Antena Log Periódic. Rango de Frecuencia 290 MHz a 4 GHz.	3.875	3.875
1,01	1	SAS-519-4	Antena Log Periódic. Rango de Frecuencia 650 MHz a 4 GHz.	3.436	3.436
1,02	1	PAM-0204	Preamplificador. 24 dB Gain Typical (N type)	3.673	3.673
1,03	1	SAC-211	3 Meter N/N Cable, RG-214U	378	378
TOTAL				11.362	11.362

Fuente: **Rentametric International, Inc.**

A continuación de muestra la referencia técnica de la antena patrón que se usa para compara sus características con las de la espiral de Arquímedes.

Antena logarítmica periódica:

- Log periódic antenna A.H. SYSTEMS Chatsworth, CA
Model SAS-510-4
PART No. 2597 SN 117
FREQUENCY 290 MHz – 4 GHz

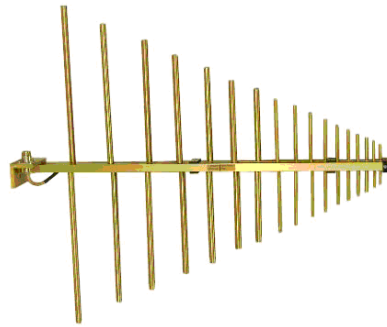
Además se presentan en la siguiente tabla las dimensiones y peso de dicha antena:

Tabla 20. Características físicas de la antena logarítmica periódica

Característica	Sistema Ingles	Sistema Internacional
Longitud	24.2 [in]	61.5 [cm]
Ancho	20.1 [in]	51.1 [cm]
Peso	1.5 [lb]	0.68 [kg]

Fuente: **A.H. Systems**

Figura 69. Detalle de la antena logarítmica periódica SAS-510-4



Fuente: **A.H. Systems**

La antena anterior se compara con la diseñada por el equipo de trabajo. La espiral de Arquímedes es fabricada en circuito impreso PCB y diseñada usando **Eagle-Layout-Software** y se puede apreciar su configuración final en la Figura 29 .

A cerca de las pruebas que se realizaron en el Ministerio de Comunicaciones de Colombia, se debe decir que se intentaron conservar invariables el mayor número de elementos posibles y hacer las mediciones en el menor tiempo para evitar así cambios bruscos en las variables que el equipo de trabajo no puede controlar. Además cabe resaltar que a cada configuración se le dio 2 minutos aproximadamente para recopilar la información. También para evitar alterar el campo cercano de las antenas, todo el personal presente en la experiencia debía encontrarse a una distancia prudente, tanto de la antena emisora como de la receptora. Por ultimo se debe decir que se tomaron fotos de la experiencia y de algunas configuraciones presentes en este documento.

Se coloca la antena logarítmica periódica en polarización horizontal y se deja por un tiempo de aproximadamente 2 minutos apuntando a la fuente de radiación conocida mas cercana, como se muestra en la Figura 70 .

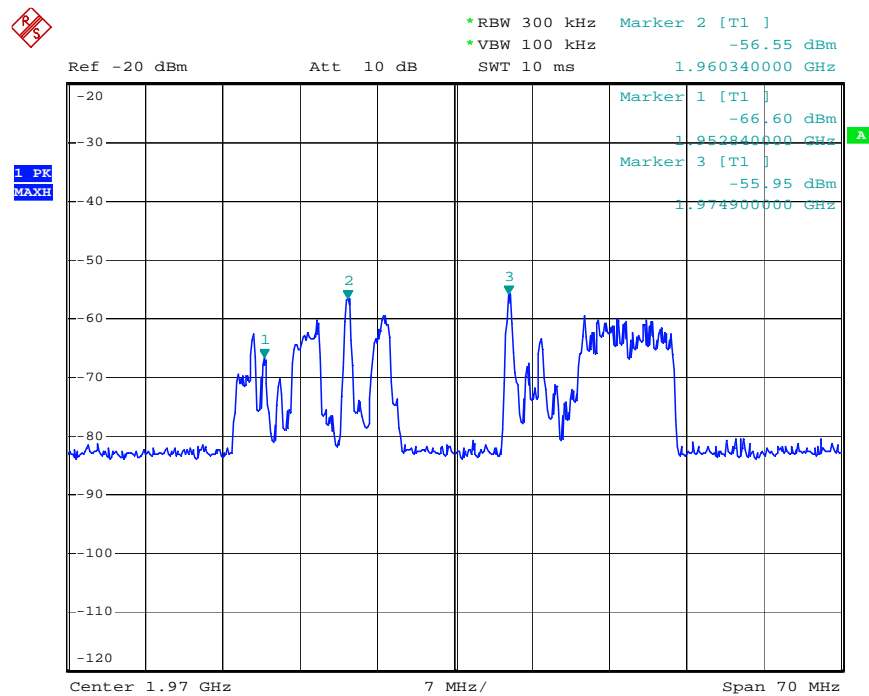
Figura 70. Posición de la antena logarítmica con respecto a al antena transmisora



Fuente: Autor

Se toma la grafica del analizador de espectros **Rohde & Schwarz. FSP Spectrum Analyzer. 9Hz a 40 GHz** usando la opción de Máx. Hold y finalmente se obtiene la señal de una antena de Tigo que se encontraba en los alrededores, mas la radiación desconocida presente en esa banda. Esta suma se aprecia en la Figura 71.

Figura 71. Imagen tomada del analizador de espectros usando la SAS-510-4 con polarización horizontal. Frecuencia central: 1.97 GHz



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

Para tomar esta grafica la antena logarítmica periódica se coloco de manera tal que apuntara a la fuente de radiación conocida más cercana.

La Figura 73 muestra la señal captada en el analizador de espectros pero esta vez se uso la antena espiral de Arquímedes diseñada por el grupo de trabajo. Aquí la antena se ubico con

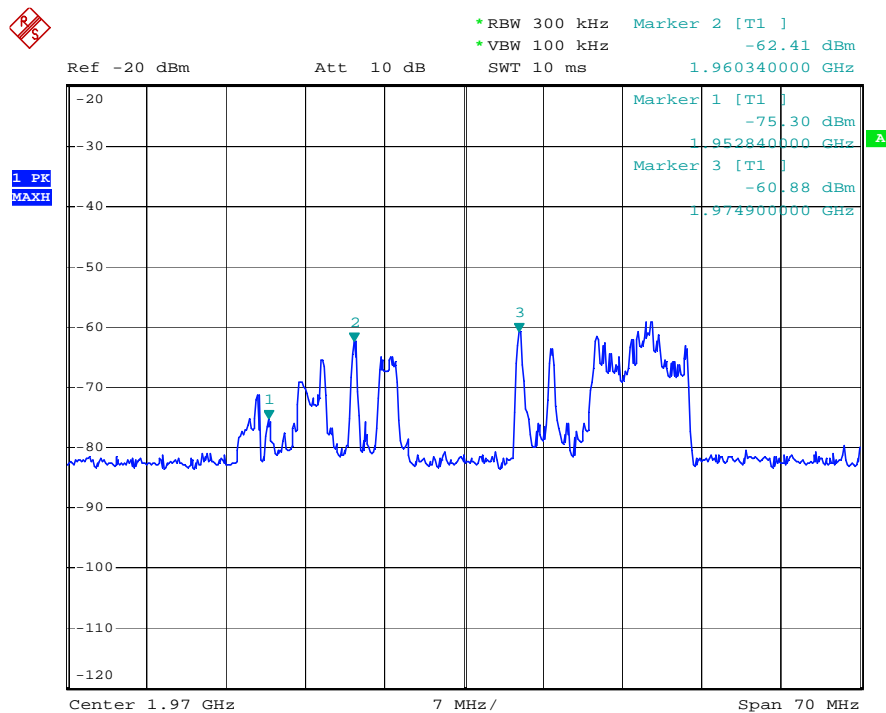
la cara posterior mirando a la fuente de radiación conocida más cercana como se muestra en la Figura 72.

Figura 72. Posición de la antena espiral de Arquímedes con respecto a la antena de transmisión



Fuente: Autor

Figura 73. Señal captada en el analizador de espectros usando la antena espiral de Arquímedes mirando a la fuente de radiación conocida. Posición de la antena como se muestra en la Figura 72. Frecuencia central: 1.97 GHz



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

Como se puede observar en la grafica la diferencia de potencia entre las dos señales mostradas anteriormente es de aproximadamente 5 dB en sus picos máximos. Es necesario resaltar en estas pruebas la importancia que la variación aleatoria en el tiempo de las señales presentes en el medio y su comportamiento estocástico. En la parte inferior izquierda de las graficas se pueden ver el tiempo transcurrido entre una medición y la otra, y es imposible esperar que las graficas sean iguales, inclusive usando la misma antena, puesto

que las condiciones presentes en el entorno no son controlables, aun cuando el equipo de trabajo lo intento. Además, para probar las propiedades de direccionalidad de las dos antenas, tanto de la logarítmica periódica como de la espiral de Arquímedes, se propuso rotar ambas antenas y documentar los cambios ocurridos en ambos arreglos.

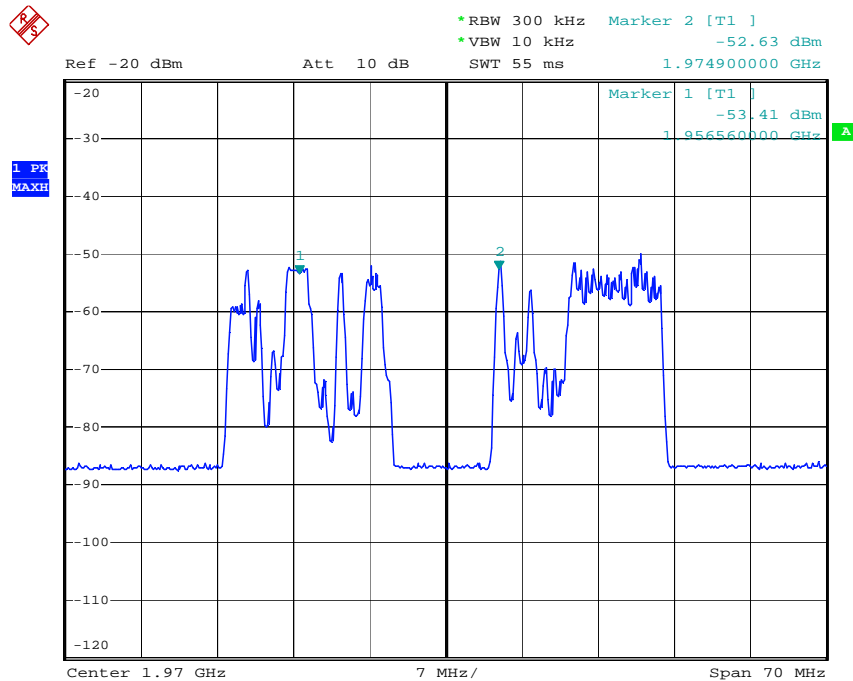
La logarítmica periódica es polarizada verticalmente (al contrario de lo ocurrido en la Figura 70 , en la cual se tiene una polarización horizontal) como se muestra en la Figura 74 y de acuerdo a esta configuración se obtiene la Figura 75 .

Figura 74. Ubicación de la antena logarítmica con respecto a la antena de transmisión



Fuente: Autor

Figura 75. Imagen del analizador de espectros usando la SAS-510-4 con polarización vertical. Frecuencia central: 1.97 GHz



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

Ahora se coloca la antena espiral de tal manera que quede paralelo al terreno, quedando la espiral perpendicular a la antena transmisora como se muestra en la Figura 76.

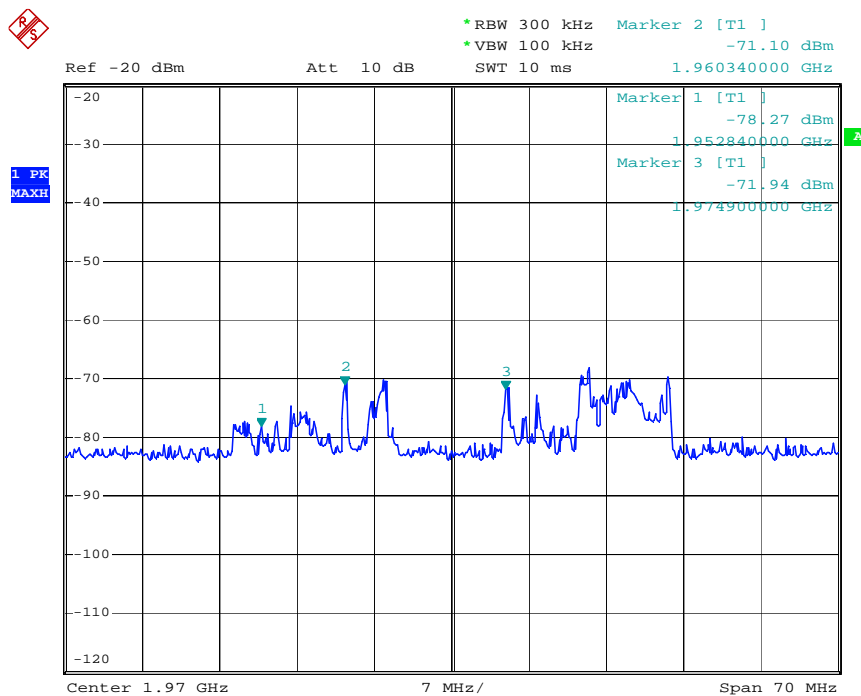
Figura 76. Posición de la antena espiral con respecto a la antena transmisora. Polarización horizontal mirando hacia arriba



Fuente: Autor

De esta manera se puede captar la siguiente señal que se presenta en la Figura 77.

Figura 77. Señal captada en el analizador de espectros usando la antena espiral de Arquímedes mirando al suelo y perpendicular a la antena trasmisora como se muestra en la Figura 76. Frecuencia central: 1.97 GHz



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

Como se puede ver en esta grafica, al rotar la antena como se describió anteriormente con respecto a fuente de radiación, la potencia total de la señal captada se reduce considerablemente. Comparando la Figura 73 y la Figura 77 se puede ver una disminución de más de 10 dB en los picos máximos de la señal. Esto deja entrever las propiedades de direccionalidad que posee la antena, pero se desea profundizar en este aspecto.

Ahora se rota nuevamente la antena espiral de Arquímedes pero esta vez se ubica de tal manera que la fuente de radiación queda paralela a la antena pero no mirándola, es decir, la antena se polariza verticalmente con respecto a la horizontal pero su cara no esta apuntando a la fuente de radiación sino que se encuentra de filo a ella como se muestra en la Figura 78.

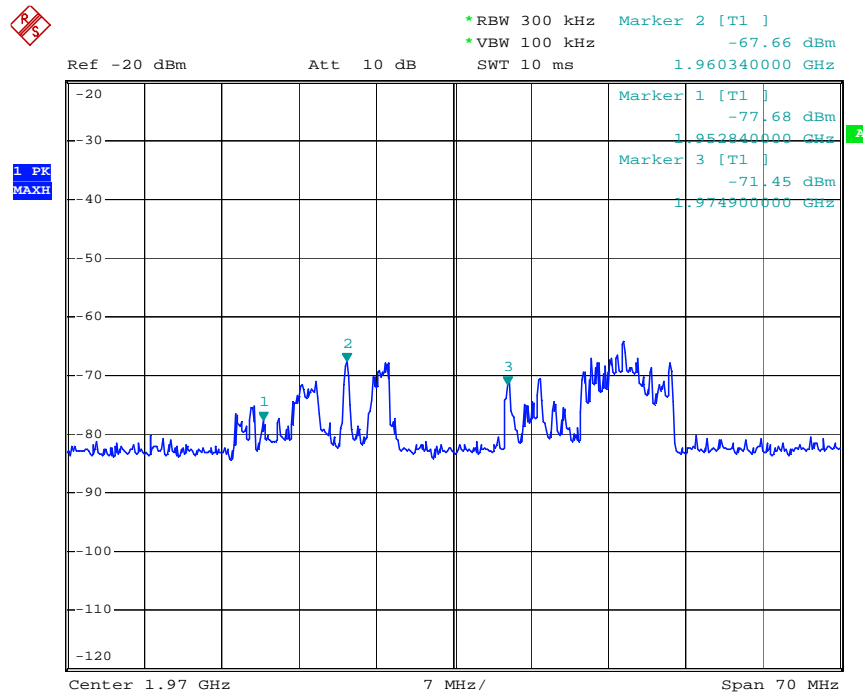
Figura 78. Posición de la antena espiral con respecto a la antena transmisora



Fuente: Autor

De esta manera se capta la siguiente señal en el analizador de espectros:

Figura 79. Señal captada por la antena polarizada verticalmente pero su cara principal no apunta a la fuente de radiación. Posición de la antena como se muestra en la Figura 78. Frecuencia central: 1.97 GHz



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

Así, comparando la Figura 73 con la Figura 79, se logra constatar la direccionalidad o directividad de esta antena, cumpliendo con uno de los objetivos de esta experiencia. Cabe destacar que se desconocen todas las fuentes de radiación presentes en el medio ambiente,

puesto que esta prueba se realizo en una zona residencial y con alta cantidad de transmisores trabajando a esta frecuencia y por esto la grafica no presenta una densidad de potencia mucho menor que la que se podría esperar en este caso. Por ende, es obvio recomendar el uso de cámaras anecoicas para trabajos de caracterización futuros y la construcción de laboratorios de calibración de antenas para definir las propiedades de las mismas.

La influencia del dieléctrico sobre el cual se construyo la antena no queda clara. Por este motivo se ubica la antena de tal manera que queda polarizada verticalmente pero su cara posterior no apunta a la fuente de radiación sino que esta vez es su cara anterior es la que realiza esta función. La Figura 80 muestra la configuración que se realizó.

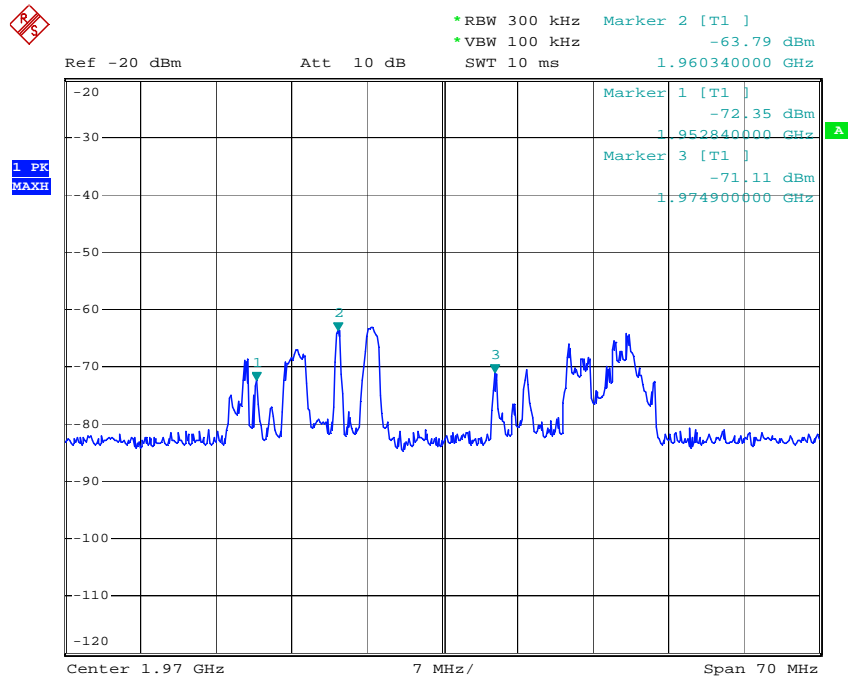
Figura 80. Posición de la Espiral con respecto a la antena transmisora. Nótese la presencia del dieléctrico en la línea de vista de las antenas



Fuente: Autor

El resultado de esta prueba se puede ver en la Figura 81.

Figura 81. Prueba realizada igual que en la Figura 72 pero con la antena rotada 180° respecto a la vertical. Frecuencia central: 1.97 GHz



Fuente: Analizador de espectros Rohde & Schwarz

Comparando la gráfica anterior con la Figura 73, podemos ver la influencia de este dieléctrico sobre el comportamiento de la antena. El material sobre el que se construyó el dispositivo receptor no es transparente a la radiación electromagnética y por ende, era de esperarse que pudiera afectar de alguna manera las características de ganancia de antena, algo que queda comprobado en la prueba realizada anteriormente.

Uno de los objetivos de la antena espiral de Arquímedes es la detección de dispositivos de comunicación dentro de la banda de los 2.4 GHz y por lo tanto se realizaron las pruebas se muestran a continuación.

Para las siguientes pruebas se usará como antena de transmisión la tarjeta de red inalámbrica de una **Laptop Toshiba Satellite**. Este sistema se encuentra usando el estándar de comunicaciones 802.11b Preamble. También como en la prueba anterior se procuró mantener precauciones como mantener invariable la distancia entre receptor y emisor, tanto para la antena logarítmica periódica como para la antena espiral de Arquímedes, personal alejado de la línea de vista de las antenas y el mismo tiempo de captura para cada señal.

Antes de iniciar esta prueba cabe tener en cuenta para los alcances del proyecto que los estándares 802.11b y 802.11g trabajan en el rango de frecuencias comprendido entre 2,4 y 2,485 GHz a una tasa de transmisión (velocidad) máxima de 11 Mbps y 36 o 54 Mbps respectivamente. Mientras que el otro estándar presente hoy en día en la transmisión de datos de manera inalámbrica es el 802.11a el cual trabaja dentro de tres bandas diferentes: entre 5,1 y 5,2 GHz, entre 5,2 y 5,3 GHz y finalmente entre 5,7 y 5,8 GHz. Es notorio que esta banda de trabajo no se encuentra dentro de los logros planteados en el plan de proyecto y por lo tanto su estudio y análisis será obviado.

A continuación se presenta una tabla donde se hace claridad acerca de la frecuencia de trabajo para cada canal según **Cisco Systems Inc.**

Tabla 21. Frecuencias de trabajo de cada canal según el estándar IEEE802.11

CANAL	FRECUENCIA DE TRABAJO [GHz]
1	2.412
2	2.417
3	2.422
4	2.427
5	2.432
6	2.437
7	2.442
8	2.447
9	2.452
10	2.457
11	2.462

Fuente: Cisco Systems Inc.

Después de la aclaración hecha anteriormente se procede a ubicar la antena logarítmica periódica, polarizándola verticalmente como se muestra en la Figura 82.

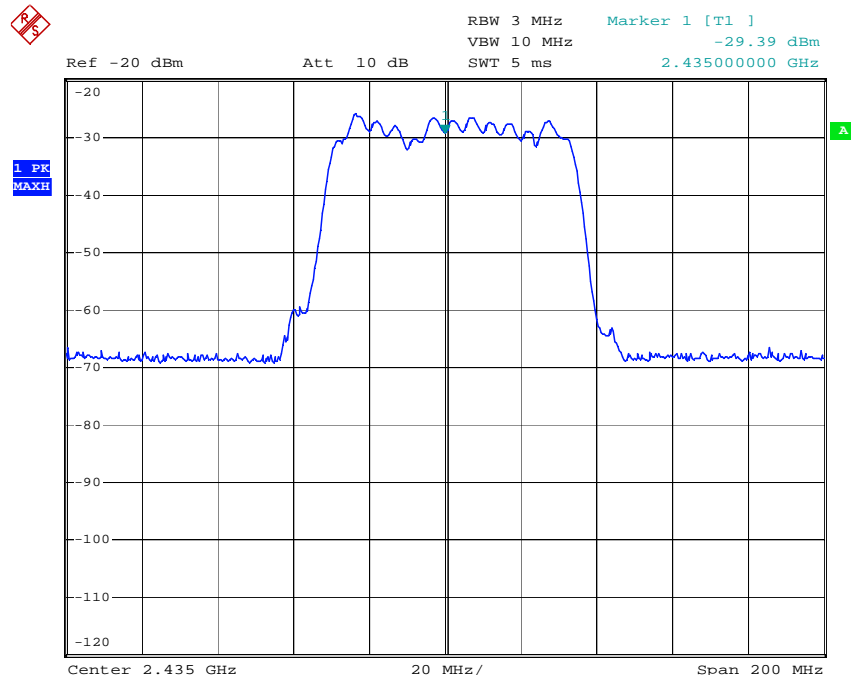
Figura 82. Ubicación de la antena logarítmica con respecto a la antena de transmisión dentro del Laptop



Fuente: Autor

Para tomar la señal proveniente de la tarjeta de red inalámbrica, se debe activar en el analizador de espectros la opción de “Max Hold”, debido a que no se puede realizar una visualización en tiempo real ya que este tipo de comunicación utiliza FHSS o Espectro Esparcido por Saltos en Frecuencia. Esto sucede en intervalos de tiempo demasiado cortos como para ser percibidos por el ojo humano. En la Figura 83 esta el resultado de la configuración anterior. Nótese el espectro característico de este tipo de señales.

Figura 83. Espectro FHSS tomado gracias a la polarización vertical de la antena logarítmica periódica. Frecuencia central: 2.435 GHz



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

Como se aprecia en la Figura 83 la frecuencia de trabajo de este dispositivo se encuentra dentro del rango descrito anteriormente y se comprueba así que el laptop esta transmitiendo en el canal 6.

Ahora se realiza la misma prueba pero esta vez se cambia la polarización de la antena logarítmica. La configuración que se usa es la que se muestra en la Figura 84.

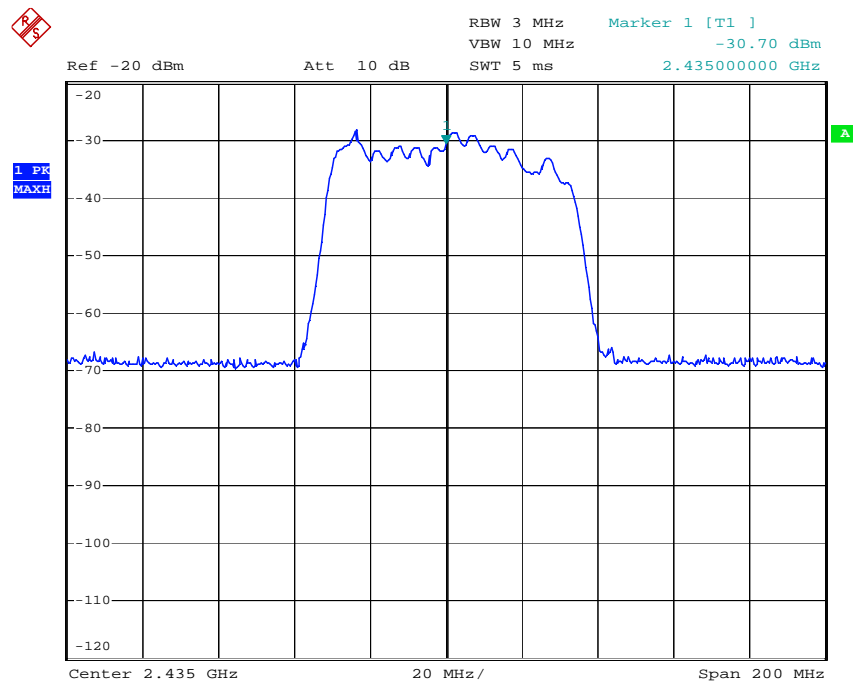
Figura 84. Ubicación de la antena logarítmica con respecto a la antena de transmisión dentro del Laptop



Fuente: Autor

Esto se hace con el fin de obtener un patrón de medición con una antena ya caracterizada de fábrica y así poder comparar los resultados aquí obtenidos con los que se tendrán posteriormente con la antena espiral. Los resultados de este arreglo se muestran en la Figura 85.

Figura 85. Espectro FHSS tomado gracias a la polarización horizontal de la antena logarítmica periódica. Frecuencia central: 2.435 GHz



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

Ya teniendo estas dos graficas se procede a realizar los respectivos montajes usando la antena espiral de Arquímedes, para después, derivar en una comparación entre los tipos de graficas que se muestran en el analizador de espectros.

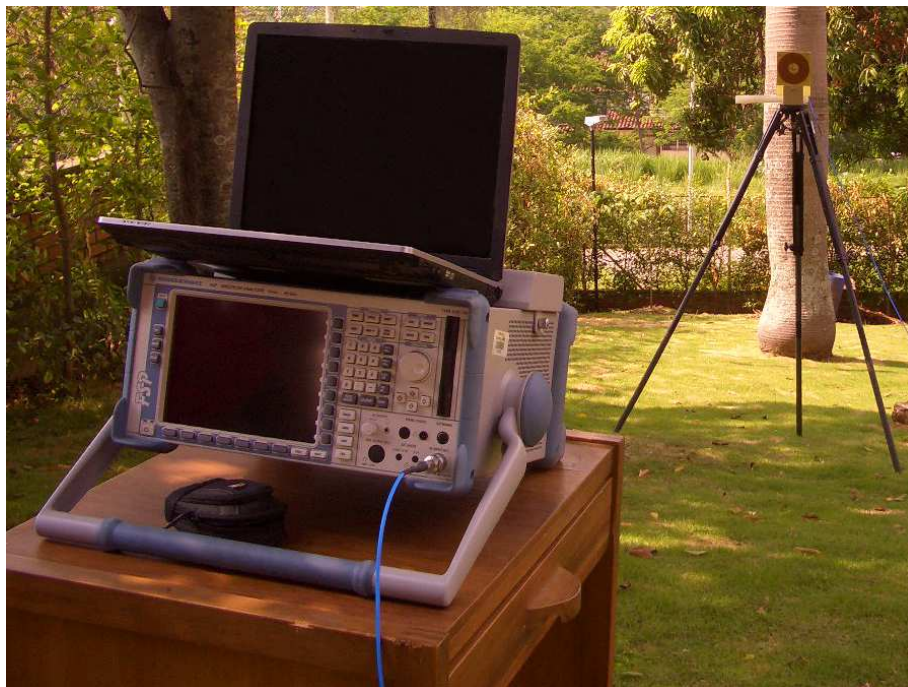
Como primera configuración se coloco la antena espiral mirando de frente a la fuente de radiación y sin que el dieléctrico interfiera en la línea de vista del juego de antenas, tal como lo muestran la Figura 86 y la Figura 87.

Figura 86. Antena espiral mirando directamente la fuente de radiación sin interferencia dieléctrica



Fuente: Autor

Figura 87. Fotografía de la antena espiral mirando directamente la fuente de radiación sin interferencia dieléctrica

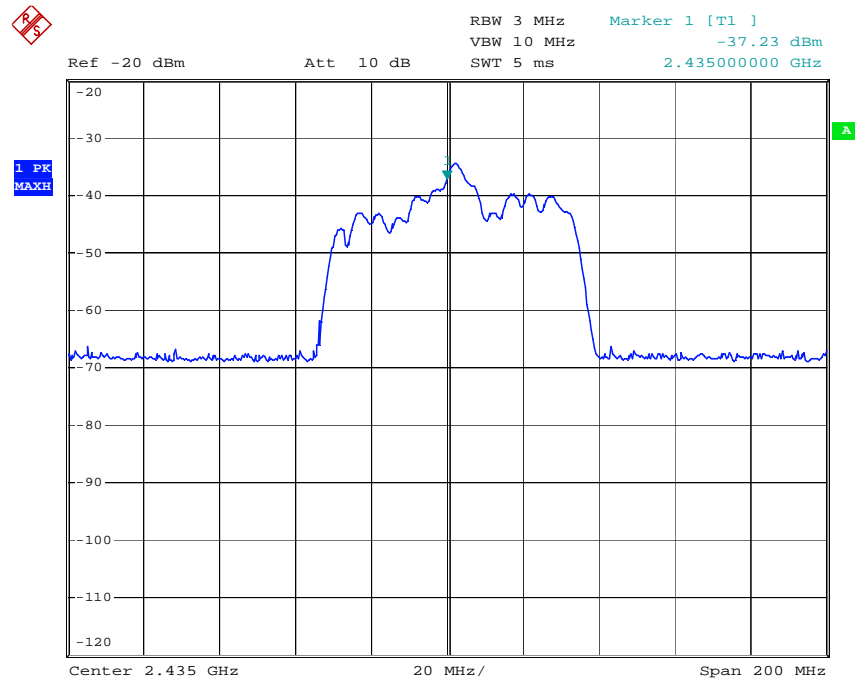


Fuente: Autor

En la Figura 87 se puede notar la antena espiral en su respectivo trípode. Además, el computador usado como fuente de emisión de radiación a 2.4GHz y el analizador de

espectros usado para captar la señal. El cable usado en la práctica presenta baja atenuación y alta tolerancia al ruido para trabajos a estas frecuencias. Por último se debe indicar que la antena transmisora en los computadores portátiles se encuentra alrededor de la pantalla del mismo y es por esto que la configuración se realiza de esta manera. De esta forma se puede obtener la siguiente gráfica de la señal enviada por la tarjeta de red.

Figura 88. Gráfica del espectro de la señal FHSS enviada por la tarjeta de red y recibida por la antena espiral de Arquímedes. Frecuencia central: 2.435 GHz



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

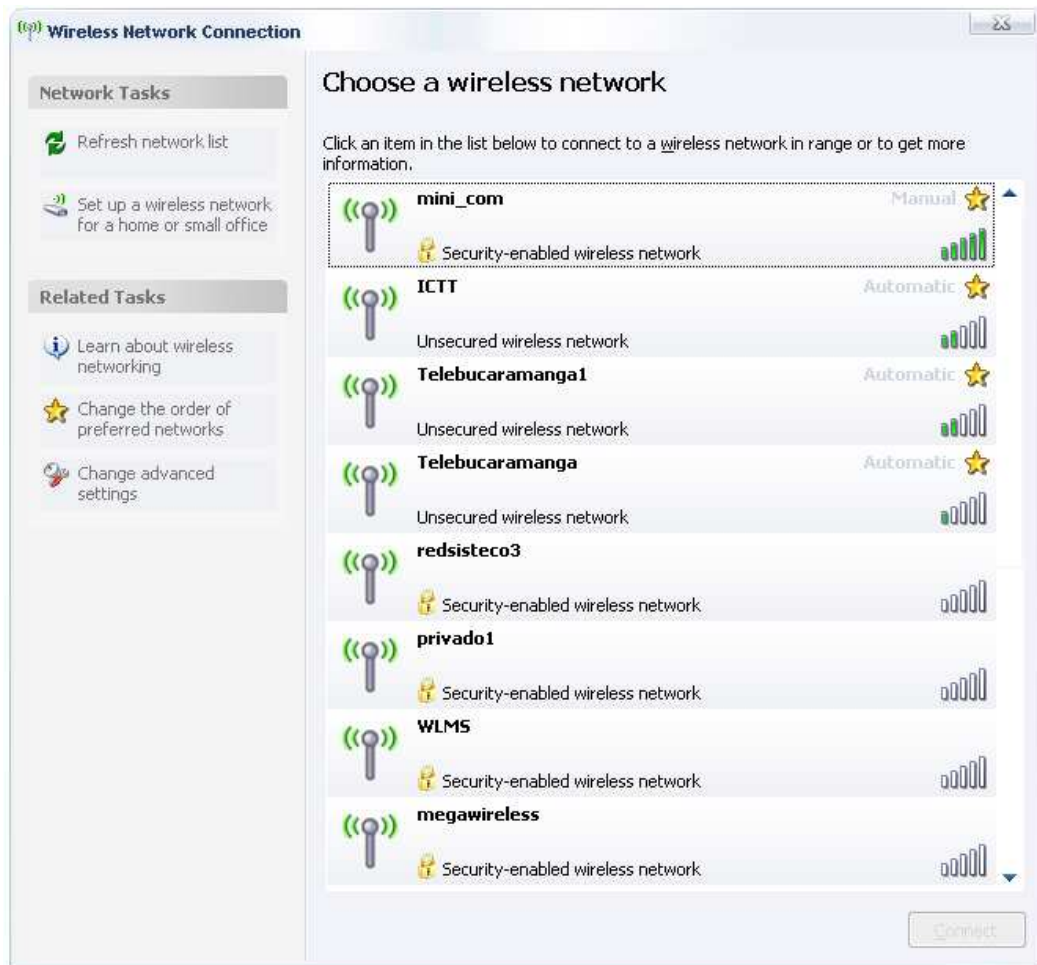
Ahora se pueden comparar la Figura 85 con la Figura 88 y apreciar la similitud y las diferencias entre la antena patrón y la diseñada por el equipo de trabajo. Se nota como el piso de ruido presente en las dos es aproximadamente el mismo pero su gran diferencia se encuentra en la ganancia que presenta la una con respecto a la otra y en las oscilaciones que existen en los picos de la señal. Se muestra una señal más clara y limpia en la Figura 85 con menor distorsión y mayores valores de potencia de la señal captada. Pero hasta el momento, se puede decir que las relaciones entre costo/propiedades y tamaño/propiedades es ventajoso el uso de las antenas banda ancha como la espiral de Arquímedes.

Sabiendo que la antena espiral es direccional puesto que esto ya quedó justificado anteriormente, que la distancia entre las fuentes de transmisión y recepción en ambos casos no ha variado y teniendo en cuenta que el tiempo de exposición a la radiación ha sido el mismo para ambas antenas, se puede concluir que el comportamiento de la antena espiral, al menos para esta banda, presenta mayor oscilación en la parte superior de la señal

capturada, que la antena patrón. Este inconveniente se es tenido en cuenta al momento de redactar las observaciones.

Igualmente tras una revisión del espectro presente en el área de trabajo usando la tarjeta de red del computador se pudo encontrar la presencia de múltiples fuentes de radiación trabajando en esta frecuencia como se muestra en la siguiente grafica capturada instantes después de esta prueba.

Figura 89. Presencia de múltiples fuentes de radiación en el área de trabajo. Imagen tomada desde el computador



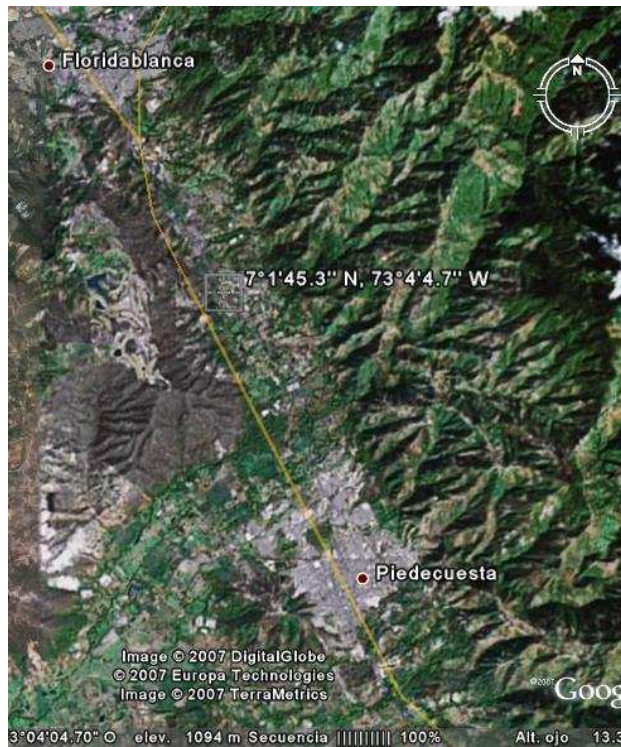
Fuente: Autor

Con la presencia de todas estas fuentes de radiación en el momento de la prueba y las demás que puedan estar presentes, que pueden estar emitiendo en otra frecuencia pero con una potencia suficiente como para saturar las antenas usadas en la prueba; se debe pensar en otras alternativas para realizar tal experiencia.

Debido a lo anterior se procede a buscar un nuevo sitio de trabajo en el cual se tenga la certeza que no existen interferencias electromagnéticas y que la señal mostrada en la pantalla del analizador de espectros es la misma señal transmitida por la tarjeta de red del computador. Para todo esto se ubica el siguiente sitio:

Coordenadas: 7°1'45.3" North, 73°4'4.7" West. Frente al restaurante Menzuly.
 Altura: 1000.9 metros sobre el nivel del mar.

Figura 90. Grafica de la ubicación de exacta del sitio donde se realiza la prueba

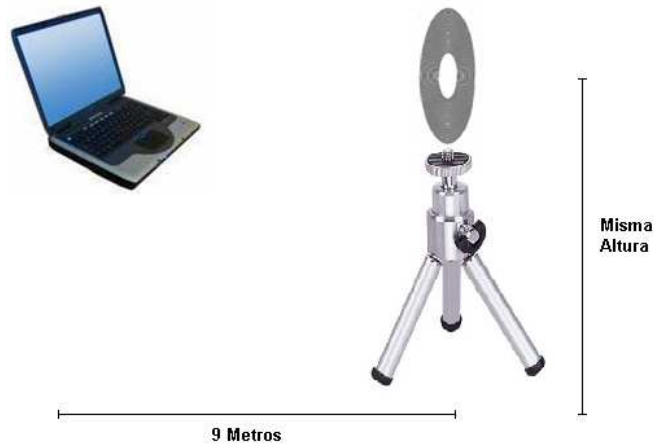


Fuente: **Google Earth**

Se toman las coordenadas exactas de el sitio de la prueba usando el equipo **GPS Garmin eTrex Vista**. Esto se hace con el fin de reproducir la prueba en futuras ocasiones y para notar la baja densidad de población en la zona y por tanto el bajo nivel de señal en la banda de 2.4GHz en esta área. El analizador de espectro usado es el **Rohde & Schwarz. FSP Spectrum Analyzer. 9Hz a 40 GHz** y 9 metros de distancia entre emisor y receptor durante todas las pruebas.

En primera instancia se ubica el juego de antenas de frente como se muestra en la Figura 91 y la Figura 92. Todo el personal presente durante las pruebas debía retirarse a una distancia prudencial durante la captura de la señal para evitar así interferir con los patrones de radiación, tanto de la antena emisora como de la antena receptora.

Figura 91. Arreglo espacial Laptop-Antena Espiral. Posición inicial de la antena emisora con respecto a la receptora



Fuente: Autor

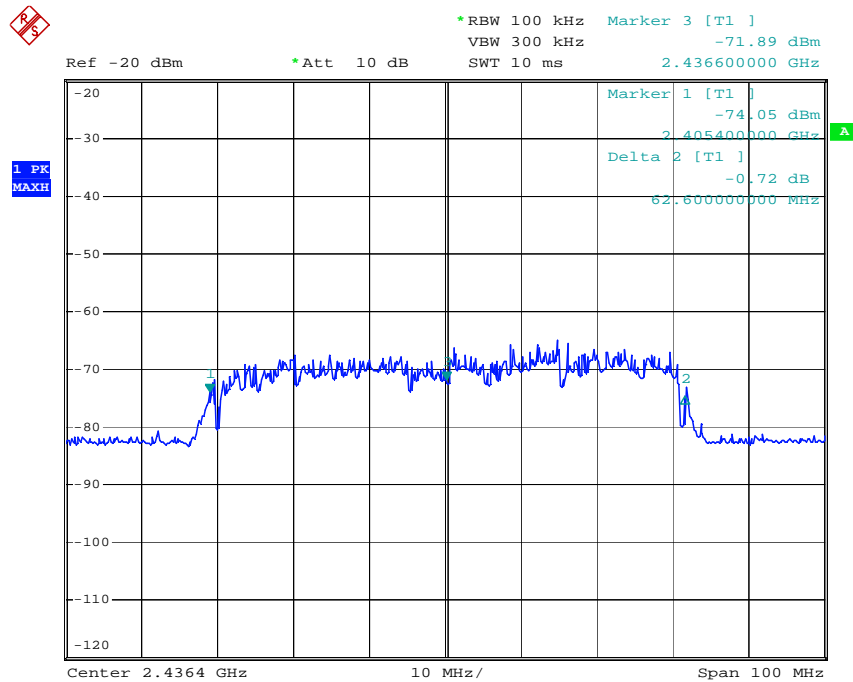
Figura 92. Fotografía del arreglo espacial Laptop-Antena Espiral. Posición inicial de la antena emisora con respecto a la receptora



Fuente: Autor

En la Figura 92 se puede apreciar el tamaño del adaptador BNC-SMA usado durante la práctica. A todas las grafica tomadas se les dio el mismo tiempo de 2 minutos para capturar la señal como se dijo anteriormente. La grafica captura es la que se muestra en la Figura 93.

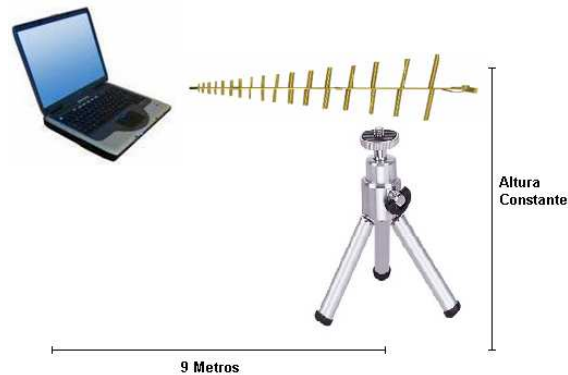
Figura 93. Señal tomada en el analizador de espectro usando la antena espiral de Arquímedes. Frecuencia central: 2.4364 GHz



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

La Figura 93 ha de ser comparada con la grafica que se toma al colocar la antena logarítmica periódica cuando se polariza horizontalmente apuntando a la fuente de radiación tal y como se aprecia en la Figura 94. La altura y la distancia permanecen constantes puesto que el trípode y el computador no han sido movidos de su sitio original.

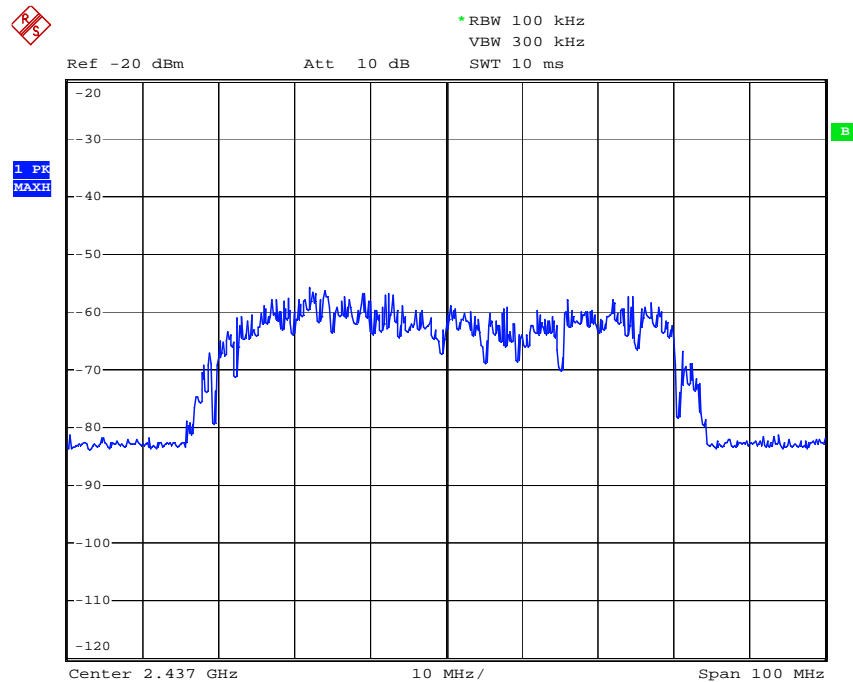
Figura 94. Posición de la antena logarítmica periódica con respecto a la antena emisora



Fuente: Autor

De esta configuración se obtiene la grafica que se muestra en la Figura 95.

Figura 95. Señal obtenida con la antena logarítmica periódica polarizada horizontalmente apuntando a la fuente de radiación. Frecuencia central: 2.437 GHz

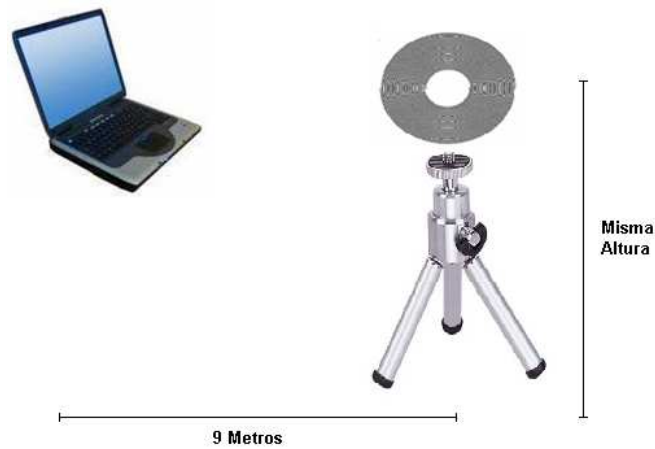


Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

Al comparar la Figura 93 con la anterior se notan las diferencias y similitudes que existen entre las dos antenas. Como se probó en las experiencias hechas para dispositivos de telefonía celular, la diferencia más grande radica en las ganancias de las antenas, teniendo la logarítmica periódica hasta 10 dB más de ganancia que la espiral diseñada por el equipo de trabajo. Sin embargo el ancho de banda captado con las dos antenas es exactamente igual y esta particularidad es trascendental puesto que el objetivo de este trabajo de grado es la detección de una radiación electromagnética presente en un espectro de frecuencias definido y esta densidad de potencia debe ser detectada en todo el ancho de banda que utilizan los dispositivos móviles usados comúnmente. Por otra parte se aprecia que se continúa trabajando en el canal 6 con una frecuencia central de 2.437 GHz como lo dicta la norma IEEE 802.11.

Ahora se procede a rotar la antena espiral para analizar sus propiedades eléctricas. Se realiza la rotación de la antena espiral en 90° con respecto a la horizontal y teniendo como punto de partida la posición mostrada en la Figura 91. Esta se dispone de perfil a la fuente de emisión como se muestra en la siguiente Figura 96 .

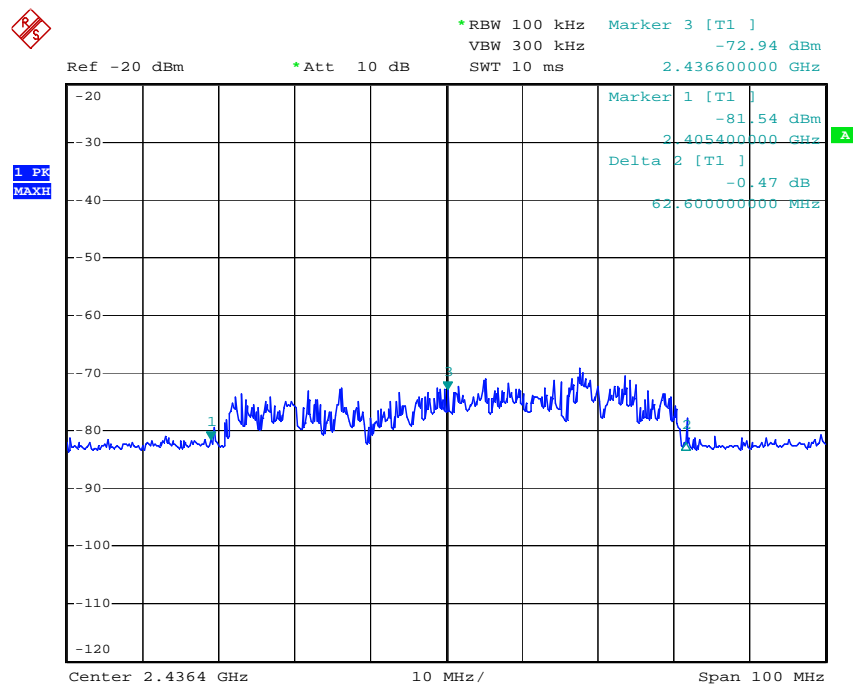
Figura 96. Antena Espiral de perfil a la fuente emisora. Rotación de 90° con respecto a la vertical



Fuente: Autor

Nuevamente se desea probar la directividad de la antena espiral. La grafica que se obtiene de esta configuración se muestra a continuación.

Figura 97. Grafica tomada al colocar la antena de filo a la antena emisora. Nótese la caída de la señal. Frecuencia central: 2.4364 GHz

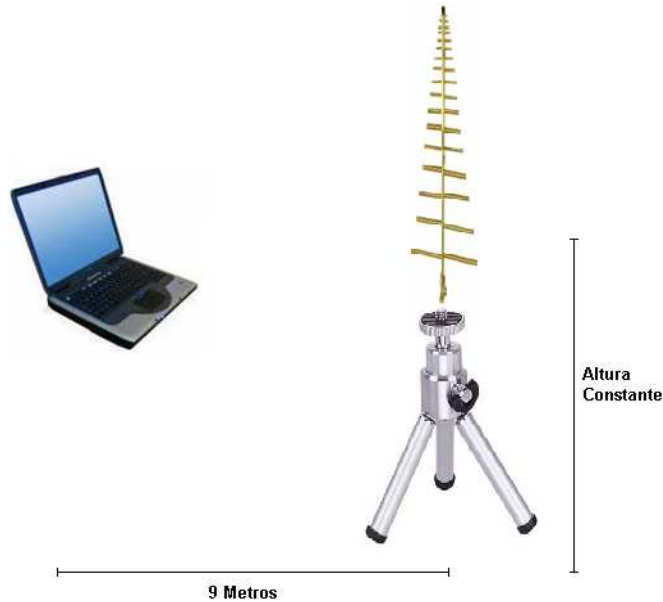


Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

Comparando la Figura 93 con la grafica anterior se estima como la potencia de la señal ha descendido en 5 dB en promedio. Este efecto puede ser atribuido al uso de varios conectores y adaptadores los cuales fueron necesarios al momento de realizar las pruebas para acoplar la antena al cable de conexión y por su tamaño y el material del cual están fabricados, pueden estar funcionando como una antena adicional y afectar las medidas hechas. Para la antena espiral diseñada finalmente se usan SMA con baño de oro que se conectan directamente tanto a la antena como a la tarjeta sensora y los cuales mejoran el comportamiento último del sistema en general.

Acto seguido se rotan las dos antenas, tanto la antena patrón como la del grupo de trabajo. Primero se presenta la grafica de la nueva configuración para la antena logarítmica.

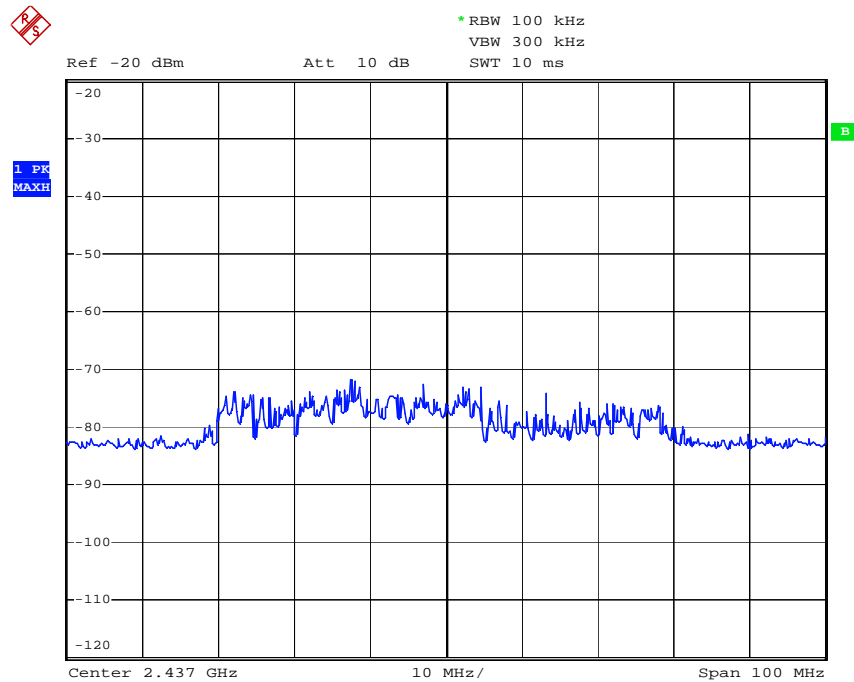
Figura 98. Nueva posición de la antena logarítmica. Rotación de 90° con respecto a la horizontal



Fuente: Autor

En esta configuración el lóbulo frontal de la antena logarítmica apunta hacia arriba y por tanto la señal capturada en esta configuración no es significativa comparada con el arreglo dispuesto en la Figura 94. La grafica capturada para este montaje se muestra a continuación.

Figura 99. Grafica de la señal capturada para la antena logarítmica apuntando hacia arriba.
Frecuencia central: 2.4364 GHz



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

Como se dijo anteriormente la señal capturada por este arreglo ha decaído considerablemente con respecto a la obtenida con la configuración de la Figura 94. Obviamente es de esperarse que ocurra lo mismo con el montaje propuesto en la Figura 100 ya que con lo hecho hasta el momento se sabe que el lóbulo frontal de la antena espiral se encuentra en el frente de la antena y que por ende su mayor ganancia se presentara cuando esta cara mira a la fuente de radiación.

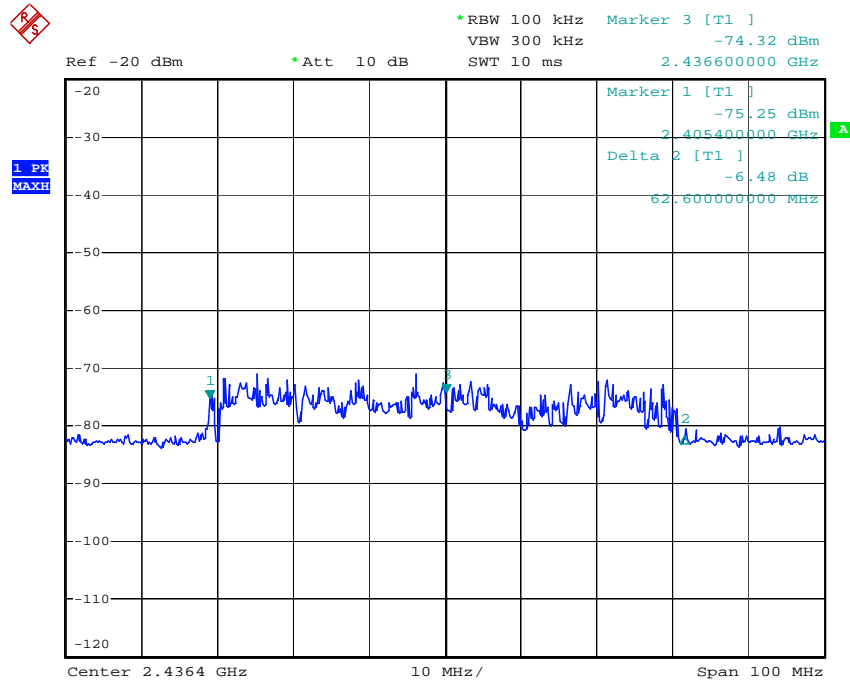
Figura 100. Arreglo espacial Laptop-Antena Espiral. Esta ultima con el lóbulo principal apuntando hacia arriba



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**.

De esta configuración se logra obtener la Figura 101.

Figura 101. Grafica de la señal capturada para la antena espiral apuntando hacia arriba.
Frecuencia central: 2.4364 GHz



Fuente: Analizador de espectros **Rohde & Schwarz**

De nuevo la caída de la señal se encuentra alrededor de 5dB. Este comportamiento se puede explicar como se hizo anteriormente a la presencia de sendos conectores para el acople de la antena espiral los cuales interfieren en el patrón de radiación de campo cercano de la antena. Como se dijo, el uso de conectores SMA disminuye en gran manera el efecto nocivo que los conectores BNC y sus respectivos adaptadores ocasionaron durante estas pruebas. Este es otro elemento que se considera dentro de las observaciones finales de este trabajo de grado.

9.2.1. Conclusiones de la prueba

Finalmente se presenta al lector una tabla que resume todo lo encontrado durante esta práctica y las conclusiones que se pueden sacar al respecto. En la Tabla 22 se muestra un resumen de la práctica y dichas conclusiones. En estas se comparan los resultados obtenidos con una y otra antena y de esta manera se pretende normalizarla espiral de Arquímedes con la antena logarítmica periódica. Las comparaciones que se realizan entre las dos antenas se hacen pensando en que las dos se encuentran en igualdad de condiciones; es decir, que ambas se encuentran con sus patrones de radiación ubicados de igual manera.

Tabla 22. Conclusiones de la práctica realizada al comparar la espiral de Arquímedes con la antena logarítmica periódica SAS-510-4

Frecuencia	Antena	Potencia Máximos [-dBm]		Posición	Diferencias
1.97 GHz	Espiral Arquímedes	71.10	71.94	Horizontal	10dB de diferencia entre la mejor y peor de las situaciones posibles para la antena espiral de Arquímedes.
	Espiral Arquímedes	62.41	60.88	Vertical frente	
1.97 GHz	Espiral Arquímedes	62.41	60.88	Vertical frente	La logarítmica periódica capta 6dB más que la espiral. Ambas en la mejor de las posiciones de captación.
	Logarítmica periódica	56.55	55.95	Horizontal frente	
1.97 GHz	Espiral Arquímedes	62.41	60.88	Vertical de frente	9dB de diferencia cuando la espiral se encuentra mirando a la fuente de radiación a cuando esta rotada 90° respecto a su vertical.
	Espiral Arquímedes	67.66	71.43	Vertical de borde	
2.435 GHz	Arquímedes	37.23		Vertical de frente	Señal FHSS: las ondas captadas son mas uniformes en la logarítmica periódica que en la espiral. Las variaciones en la logarítmica periódica son de 5 dB. En la espiral son de 10 dB. En general presentan una diferencia aproximada de 7dB en la frecuencia central.
	Logarítmica periódica	30.70		Horizontal de frente	
2.4364 GHz	Arquímedes	70.05		Vertical de frente	La logarítmica periódica posee 12dB de ventaja en comparación con la espiral de Arquímedes. Solo hay una fuente de radiación.
	Logarítmica periódica	58		Horizontal de frente	
2.437 GHz	Arquímedes	75		Horizontal hacia arriba	Antenas en la peor zona de captación de la fuente de radiación. La espiral posee una ventaja de 3dB. Solo hay una fuente de radiación.
	Logarítmica periódica	78		Vertical hacia arriba	

Fuente: Autor

Gracias a todo lo anterior, se puede concluir que el comportamiento de la antena espiral de Arquímedes fabricada por el equipo de trabajo presenta características bastante interesantes gracias a su relación costo/beneficio. Su montaje dentro de este trabajo de grado es tenido

en cuenta pero se deja a un lado debido a que no se tiene un patrón de radiación conocido puesto que no se cuentan con los equipos de laboratorio necesarios para tal fin. Asimismo se desconocen la resistencia de entrada, el ángulo de directividad y la carta de Smith, entre otros. Esto es un gran inconveniente porque no se puede asegurar el correcto funcionamiento de esta antena a través de todas las frecuencias de trabajo necesarias. Tampoco se puede asegurar un acople correcto entre la antena receptora, el cable de conexión y el sensor AD8361. La directividad de la antena ha sido comprobada mas no se puede demostrar irrefutablemente esta propiedad, ni definirla físicamente usando un ángulo de directividad o mostrando al usuario la carta de Smith.

Por todos estos motivos, se decide implementar finalmente la antena HG2404CU disponible en el laboratorio de medios de transmisión de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.

9.3. Pruebas Realizadas con el sistema LVDAM-ANT

Estas pruebas han sido realizadas para constatar las propiedades presentes en el patrón de radiación en los dos tipos de antenas disponibles. La práctica se realiza dentro de un recinto cerrado con diferentes elementos que pueden reflejar, refractar o inclusive bloquear la onda electromagnética que envía la antena de emisión a la antena que esta siendo estudiada y esto se debe tener en cuenta a la hora de analizar los datos. Fue imposible retirar los equipos del laboratorio para llevar a cabo la experiencia en campo abierto.

A fin de llevar a cabo la práctica se usan tanto hardware como software de la empresa Lab-Volt disponible en el laboratorio de ingeniería electrónica de la Universitaria de Investigación y Desarrollo UDI.

El software LVDAM-ANT 1.22 utilizado en el laboratorio, permite generar un patrón de radiación real a partir de la señal captada por la antena receptora rotando. Este software controla la rotación de la antena y por ende su ángulo con respecto a la antena emisora. De esta manera se puede saber cuanto es la ganancia con respecto al ángulo y así generar el patrón real. La Figura 102 muestra la antena corneta que es usada durante toda la práctica para emitir una señal senoidal a 1GHz.

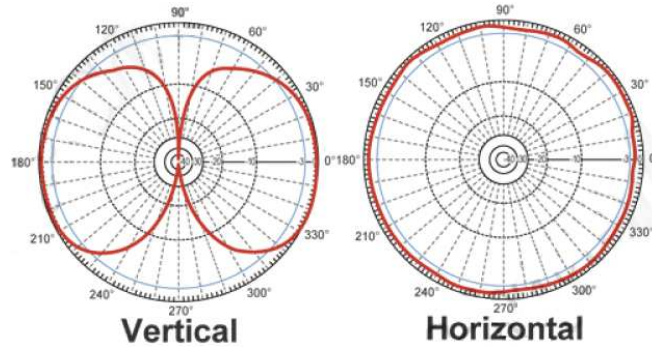
Figura 102. Antena corneta usada para transmitir la señal que debe recibir la antena receptora de prueba



Fuente: Autor

Todo lo anterior se hace para confirmar el patrón de radiación mostrado en Figura 103 y que fue dado por el fabricante de la antena HG2404CU. Además se incluye dentro esta práctica el uso de la antena espiral de Arquímedes para así poder analizar sus propiedades.

Figura 103. Patrón de ganancia de la antena banda ancha HG2404CU



Fuente: **HyperLink Technologies**

En primer lugar se polariza la antena HG2404CU como se muestra en la Figura 104. Como se dijo anteriormente, el software LVDAM-ANT 1.22 realiza un control en la rotación de la antena receptora sobre su propio eje y por toma valores de potencia recibida con respecto al ángulo de rotación.

Figura 104. Fotografía de la polarización horizontal de la antena HG2404CU usada para graficar el patrón de radiación horizontal de la misma

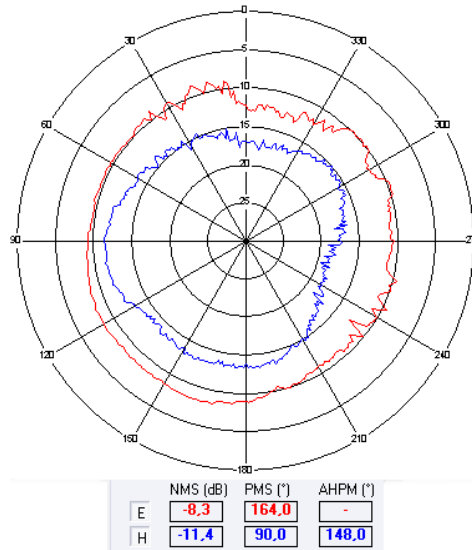


Fuente: Autor

A continuación se presenta al lector el patrón de radiación captado para la configuración mostrada. Debe tenerse en cuenta que la prueba fue realizada en un recinto cerrado con muchos objetos presentes que inevitablemente alteran los resultados de la práctica. El software LVDAM-ANT 1.22 puede capturar valores tanto de campo magnético como de campo eléctrico. Esto se hace tomando primero el campo magnético con la antena transmisora en una posición y luego el campo eléctrico con la antena transmisora rotada 90 grados con respecto su vertical. Lo anterior se debe realizar debido a la perpendicularidad del campo eléctrico con respecto al magnético. En la Figura 105 se muestra el patrón

horizontal de la antena HG2404CU. En la parte inferior de la grafica se muestran los valores máximos de potencia capturados y su respectivo ángulo.

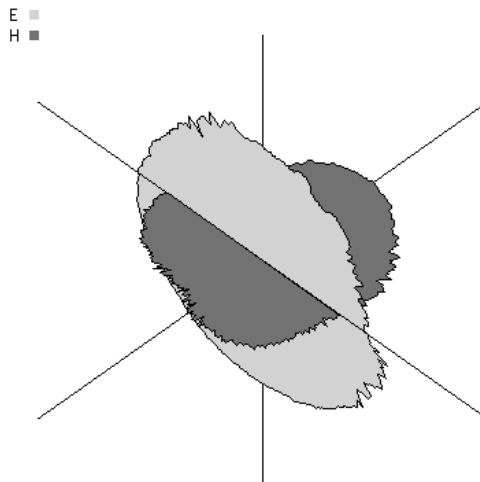
Figura 105. Patrón de radiación horizontal de la antena HG2404CU



Fuente: LVDAM-ANT

Comparando la Figura 105 con el patrón de radiación que da el fabricante (Figura 103) se puede ver que son muy parecidas en su forma. La irregularidad de esta grafica en algunos puntos se puede deber a todos los objetos que se encontraban presentes al momento de realizar la prueba y como ya se dijo, la presencia de dichos objetos fue inevitable. Además este software genera una grafica en 3D en la cual se puede apreciar la perpendicularidad entre el campo eléctrico y magnético.

Figura 106. Patrón de radiación 3D horizontal de la antena HG2404CU



Fuente: LVDAM-ANT

En la Figura 107 se muestra como se configura la antena receptora para lograr obtener su patrón de radiación horizontal. De fondo se puede observar el computador sobre el cual se capturan y almacenan los datos de la práctica.

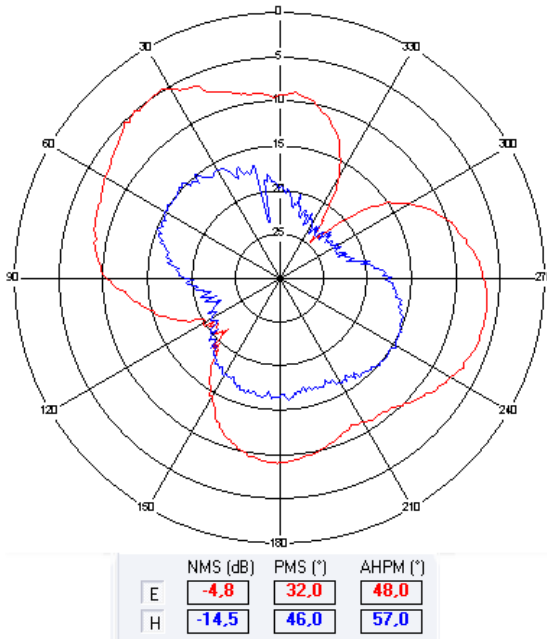
Figura 107. Fotografía de la polarización vertical de la antena HG2404CU usada para graficar el patrón de radiación vertical de la misma



Fuente: Autor

El patrón de radiación vertical que se muestra en la Figura 108 es tomado gracias a la rotación de la configuración mostrada en la Figura 107 sobre su propio eje.

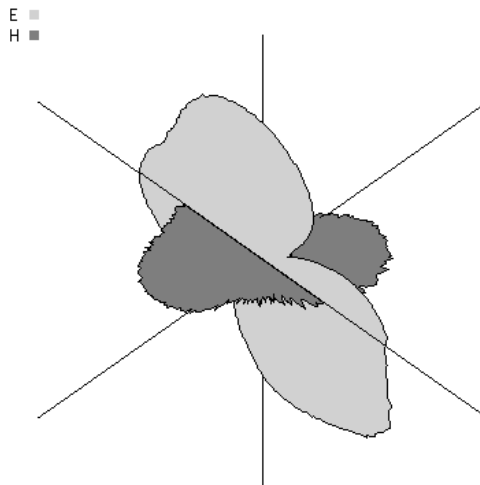
Figura 108. Patrón de radiación vertical de la antena HG2404CU



Fuente: LVDAM-ANT

Al comparar la Figura 103 con la Figura 108 se puede notar nuevamente su similitud. La diferencia en los ángulos se debe a que en el momento de tomar la Figura 108 se produjo un leve corrimiento en el motor que rota la antena. Para obtener los mismos resultados que en el patrón de radiación dado por el fabricante, se le deben restar 30° a la Figura 108. De esta manera se comprueba que en realidad el patrón de radiación de la HG2404CU es tal como lo afirma el fabricante. Nuevamente se muestra este patrón en 3D pero esta vez para el eje vertical.

Figura 109. Patrón de radiación 3D vertical de la antena HG2404CU



Fuente: LVDAM-ANT

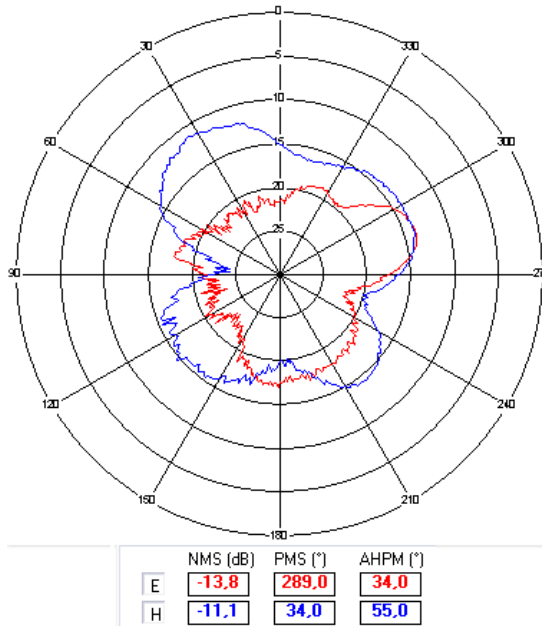
Se realiza la misma prueba, pero esta vez para la antena espiral de Arquímedes. Se desea encontrar como son su patrón de radiación horizontal y vertical en la vida real. La Figura 111 exhibe dicho patrón en el eje vertical debido al montaje mostrado en la Figura 110.

Figura 110. Fotografía de la polarización vertical de la antena espiral de Arquímedes usada para graficar el patrón de radiación vertical de la misma



Fuente: Autor

Figura 111. Patrón de radiación vertical de la antena espiral de Arquímedes



Fuente: LVDAM-ANT

De la Figura 111 se puede estimar el ángulo sobre el cual trabaja al espiral de Arquímedes. Su comportamiento es mucho mejor sobre la cara frontal de la antena y sobre su borde es bastante pobre. Los valores de radiación captados a 90° y 270° se pueden deber a las reflexiones producidas sobre las paredes de la habitación sobre la cual se realiza la prueba. Se intentaron retirar la mayor cantidad de objetos del laboratorio para evitar alterar las condiciones del experimento. Como ya se mencionó anteriormente, fue imposible realizar esta prueba en campo abierto.

Al colocar la espiral de Arquímedes perpendicular a la fuente de radiación, es de esperarse que solo reciba la radiación que rebota en el piso y el techo de la habitación sobre la cual se hace la prueba y por ende la potencia que esta antena puede capturar bajo estas condiciones es muy baja. La Figura 112 muestra dicho montaje. Nótese el dispositivo que controla la rotación de la antena sobre su propio eje y que además mide la potencia en la antena y transmite dicho valor al computador usando el puerto serial.

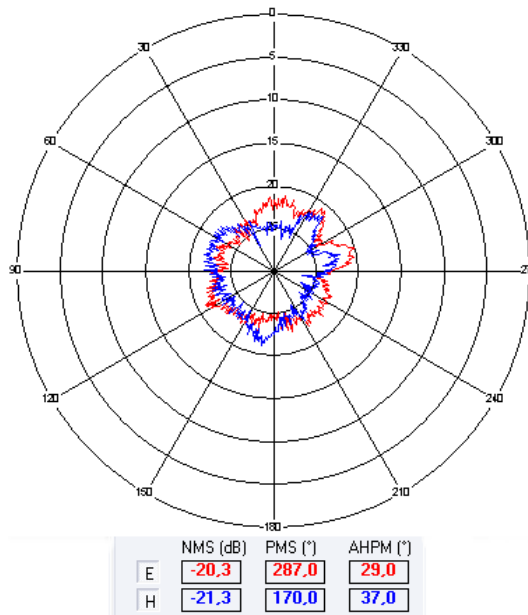
Además, la Figura 113 muestra el patrón de radiación de esta antena cuando se encuentra en la posición que se describió anteriormente.

Figura 112. Fotografía de la polarización horizontal de la antena espiral de Arquímedes usada para graficar el patrón de radiación horizontal de la misma



Fuente: Autor

Figura 113. Patrón de radiación horizontal de la antena espiral de Arquímedes



Fuente: LVDAM-ANT

De esta manera, gracias a estas pruebas, se puede comprobar que el patrón de radiación de la HG2404CU que el fabricante asegura esta antena posee, es cierto. Además la antena espiral de Arquímedes presenta un buen comportamiento en su eje vertical frontal (entre los 270° y los 90°) y que su eje horizontal es muy pobre para capturar señales a estas frecuencias. Debido a que el generador usado solo posee dos frecuencias de trabajo (1GHz y 10GHz) solo se tomaron medidas a estas frecuencias. En este libro de grado solo se muestran las pruebas hechas a 1GHz puesto que estas se encuentran dentro del rango de frecuencias en el que finalmente trabaja la red de sensores. Las pruebas hechas a 10GHz se

encuentran disponibles bajo petición expresa del interesado y siempre y cuando se respeten los derechos de autor.

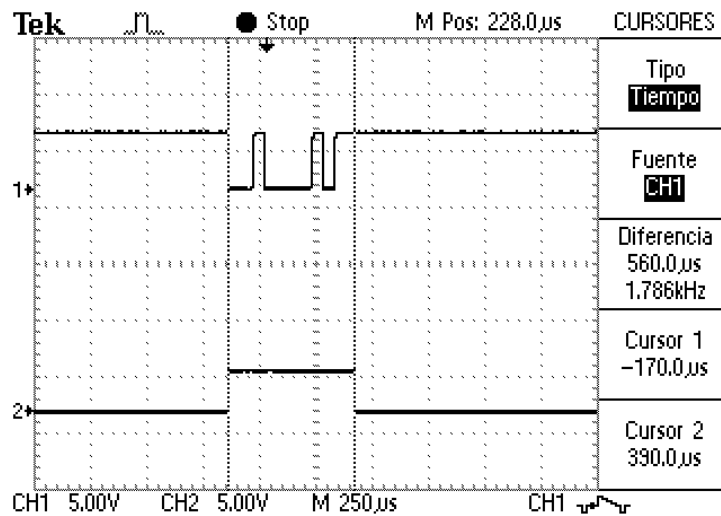
9.4. Medida de tiempos de procesamiento y transmisión

En un sistema de comunicaciones, pueden ocurrir casos en los cuales los datos se pierden, no llegan, tardan en llegar, o simplemente no son los niveles esperados. Por tales circunstancias es necesario verificar el hardware de comunicación, comprobando los niveles de voltaje, los tiempos de procesamiento del emisor y el receptor, y la sincronía para dicha comunicación. En la sala AT 201 del edificio de eléctrica antigua, se realizaron pruebas con el osciloscopio Tektronix TDS 210 para puntualizar el correcto funcionamiento entre la tarjeta sensora y la tarjeta central.

Tamaño de la ventana para acceder al medio:

Como se mencionó en capítulos anteriores, se pensaba realizar la adquisición de datos con la menor cantidad de hardware posible. Pero al realizar la interfaz grafica la cual recibe los datos, se observa que el tiempo del pulso de un DTR en LabView, perjudica la adquisición de los datos. En el capítulo DISEÑO FUNCIONAL se detallan las causas por las cuales se emplea el dispositivo LM555. En el laboratorio se logro capturar una ventana de 560 μs , como se observa en la Figura 114.

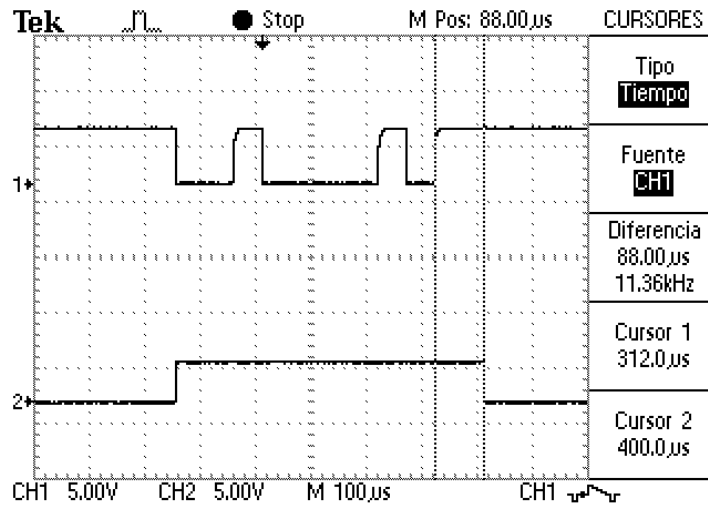
Figura 114. Letra de identificación (CH1) y ventana de transmisión (CH2)



Fuente: Tektronix TDS 210

Como se puede observar, la ventana del LM555 y la dirección del sensor inician en el mismo instante de tiempo, por esta razón la sincronización en la comunicación entre la tarjeta central y los sensores no posee ningún problema ni mucho menos retardos. También el tamaño de la ventana de control sobrepasa a la letra de identificación en 88 μs , como se observa en la Figura 115.

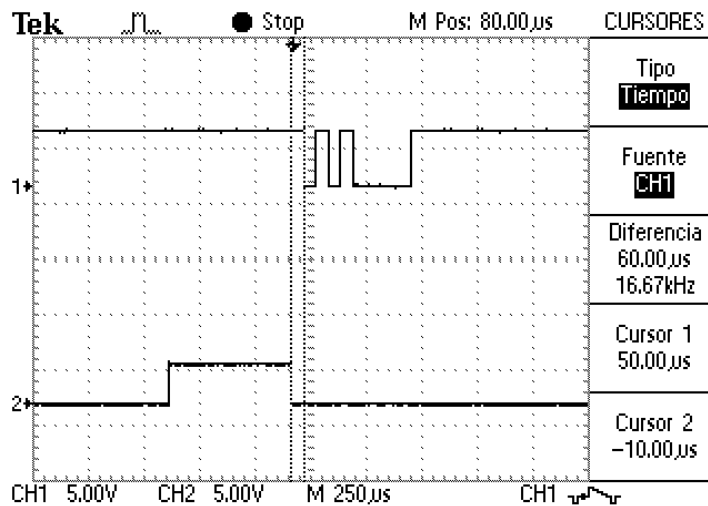
Figura 115. Diferencia entre los tiempos de la letra de identificación y la ventana de control



Fuente: Tektronix TDS 210

En la teoría se diseñó el circuito LM555 para que generara una ventana de control de 460 [μs]. Este circuito posee elementos pasivos que varían con la temperatura y que presentan niveles de tolerancia de alrededor del 10%. Por esta razón, los cálculos que se realizaron en el capítulo DISEÑO FUNCIONAL no coinciden con los de la práctica. Por posibles variaciones en la temperatura y debido a la tolerancia de estos elementos pasivos, el grupo decidió dejar un retardo en el microcontrolador de 140 [μs] para asegurar que no se presente colisión en el bus de datos. En la figura 3 se observa en el canal 1 el dato recibido en la tarjeta central, y en el canal 2 la ventana de control. Los cursores de tiempo indican que el retardo en el microcontrolador de 60 [μs].

Figura 116. Retardo de tiempo programado en el microcontrolador medido con respecto al dato que este mismo envía



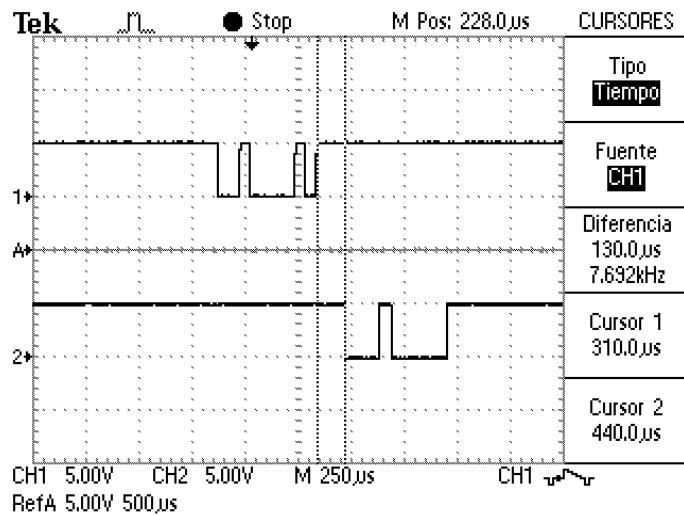
Fuente: Tektronix TDS 210

Esto indica que el tiempo que transcurre entre el momento que se termina el envío de la letra de identificación y el momento que se inicia la transmisión de los datos transcurren 148 $[\mu\text{s}]$.

Tiempo de procesamiento del microcontrolador:

En la tarjeta sensora existen dispositivos de comunicación y procesamiento de datos, por esta razón se deben tomar los tiempos de procesamiento, para que en el momento de la comunicación exista sincronización en los tiempos de ejecución y así verificar el correcto funcionamiento de la tarjeta. En la Figura 117 se pueden observar la dirección de un sensor (la letra B en CH1) y el dato que se está recibiendo (CH2).

Figura 117. Tiempo de procesamiento de la tarjeta sensora



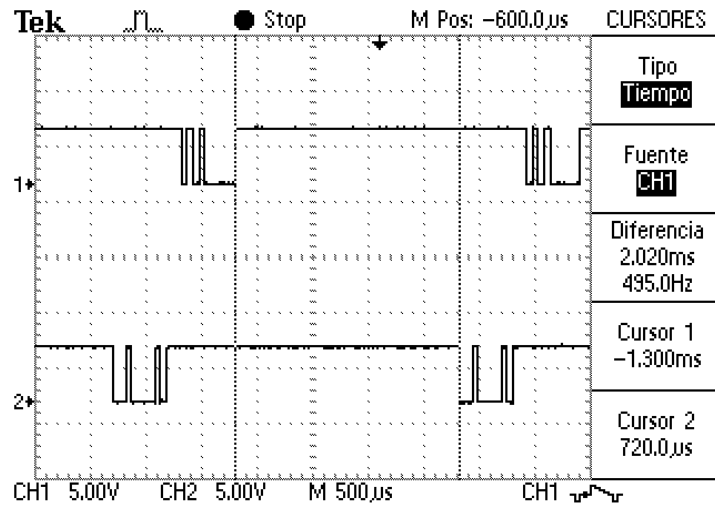
Fuente: Tektronix TDS 210

El tiempo que tarda la tarjeta sensora en recibir el último bit de la dirección y enviar el primer bit del dato se conoce como tiempo de procesamiento del microcontrolador y es de 130 $[\mu\text{s}]$ según la figura 4. De acuerdo con el fabricante del microcontrolador usado, este presenta un error en la velocidad de transmisión de 0.16% cuando esta velocidad es de 19200 [baudios/segundo] y con un reloj de 4 MHz. Debido a esto, esta velocidad de transmisión puede variar al igual que el tiempo mencionado anteriormente. Este tiempo de respuesta puede alcanzar hasta 150 $[\mu\text{s}]$.

Tiempo de procesamiento de LabView:

En varias ocasiones se presentaron inconvenientes en el número de datos que se toman debido a que el tiempo de procesamiento en LabView es variable. En la Figura 118 se aprecia en el CH1 el dato recibido en la tarjeta central y en el CH2 la dirección (letra B) del sensor que envía el dato.

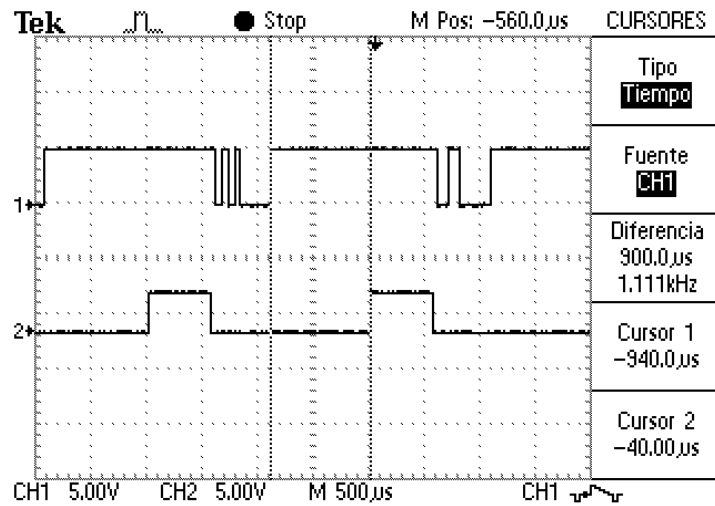
Figura 118. Tiempo de procesamiento de LabView



Fuente: Tektronix TDS 210

Los cursores demarcan el bit final del dato y el bit de inicio de la dirección del sensor. La diferencia de tiempo es de 2.02 [ms] como se ilustra en la Figura 118. Esta diferencia de tiempos se conoce como “tiempo de procesamiento de LabView”. Este valor es alto comparado con los demás tiempos, debido a la cantidad de procesos que LabView debe realizar para adquirir datos, graficar, calcular máximos, calcular valores en dBm y almacenar, entre otros. Se debe destacar que la interfaz grafica atravesó un proceso de depuración, eliminando procesos que demoraban la toma de datos, pensando siempre en la relación número de datos adquiridos vs. Presentación de los datos. Para mostrar como varia esta velocidad, se tomaron varias mediciones de las mismas señales en diferentes instantes de tiempo.

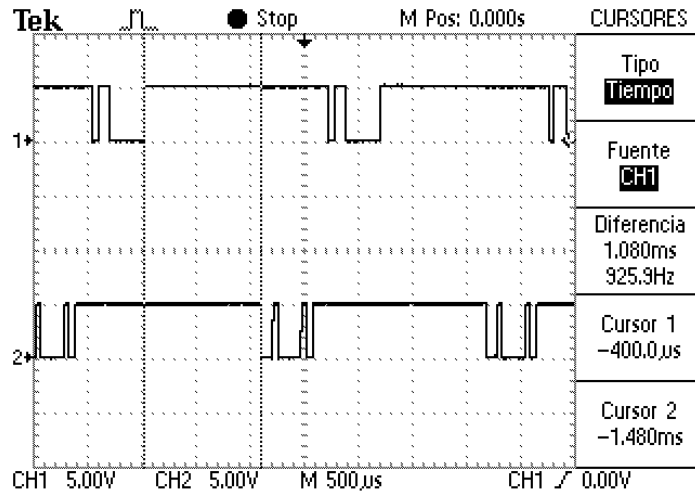
Figura 119. Tiempo de procesamiento de LabView. Muestra #2



Fuente: Tektronix TDS 210

Como muestra la Figura 119, el tiempo de procesamiento de Labview mostrado anteriormente ha aumentado. En la Figura 120 se enseña al lector otra muestra de tiempo de las mismas 2 señales. A este intervalo también se le conoce como el tiempo total de muestra. Este es el tiempo que se demora el sistema en enviar la letra de identificación y transmitir el dato solicitado. Nótese como nuevamente el tiempo de procesamiento de LabView ha variado.

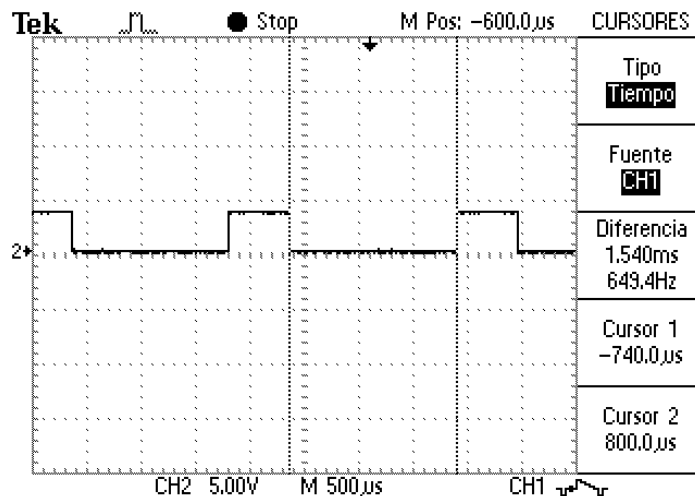
Figura 120. Tiempo de procesamiento de LabView. Muestra #3



Fuente: Tektronix TDS 210

Otra forma de verificar este tiempo es midiendo diferentes señales presentes en el sistema que tengan como fuente dicho software. La ventana de control del sistema es una de esas señales. En la Figura 121 se publican muestras de dicha señal de control.

Figura 121. Tiempo de procesamiento de LabView. Ventana de control



Fuente: Tektronix TDS 210

Como se dijo anteriormente esta señal de control es generada por la letra de identificación que a su vez es generada por Labview. En este orden de ideas, nótese como el nuevamente el valor de tiempo entre la toma de una dato y otro ha cambiado. Este comportamiento aleatorio se debe a que labview trabaja sobre Windows y este sistema operativo no es determinístico, haciendo imposible controlar tales variaciones.

9.5. Pruebas con sistema final y tarjeta central

Estas pruebas se realizaron en un entorno cerrado usando como área de censado el laboratorio 201 de el edificio de Alta Tensión de la Universidad Industrial de Santander. En esta etapa se implementaron diferentes configuraciones usando distintas fuentes de radiación. Entre estas fuentes encontramos múltiples equipos celulares de diversas compañías proveedoras del servicio, generador **Marconi Instruments 2023**, computadores con tarjeta de red inalámbrica y **Access Points**. Finalmente, cabe anotar que las graficas presentes dentro de esta sección han sido editadas para mostrar únicamente la información que se considera relevante para estas pruebas; propiedades como colores, fechas, botones que no se encuentran encendidos, entre otros, han sido eliminadas. En este orden de ideas, se procede a describir las diversas pruebas realizadas en orden de frecuencia de trabajo de menor a mayor.

9.5.1. Prueba 1 (Conexión directa entre el generador de RF y la tarjeta sensora)

Esta prueba se hace para poder corroborar el correcto funcionamiento de las tarjetas sensoras y además para poder obtener una curva de ajuste para así posibilitar la medición de potencia en dBm con un cierto margen de error. En esta sección solo se consignan las pruebas realizadas para el sensor 3 ya que los experimentos realizados con los otros sensores son exactamente iguales y los único que varían son los resultados en las curvas de ajuste los cuales se señalan al final de esta sección.

Primero se procede a conectar el sensor 3 directamente al generador de RF tal como se muestra en la Figura 122 usando únicamente adaptadores evitando así el uso de cables que puedan ser fuente de error.

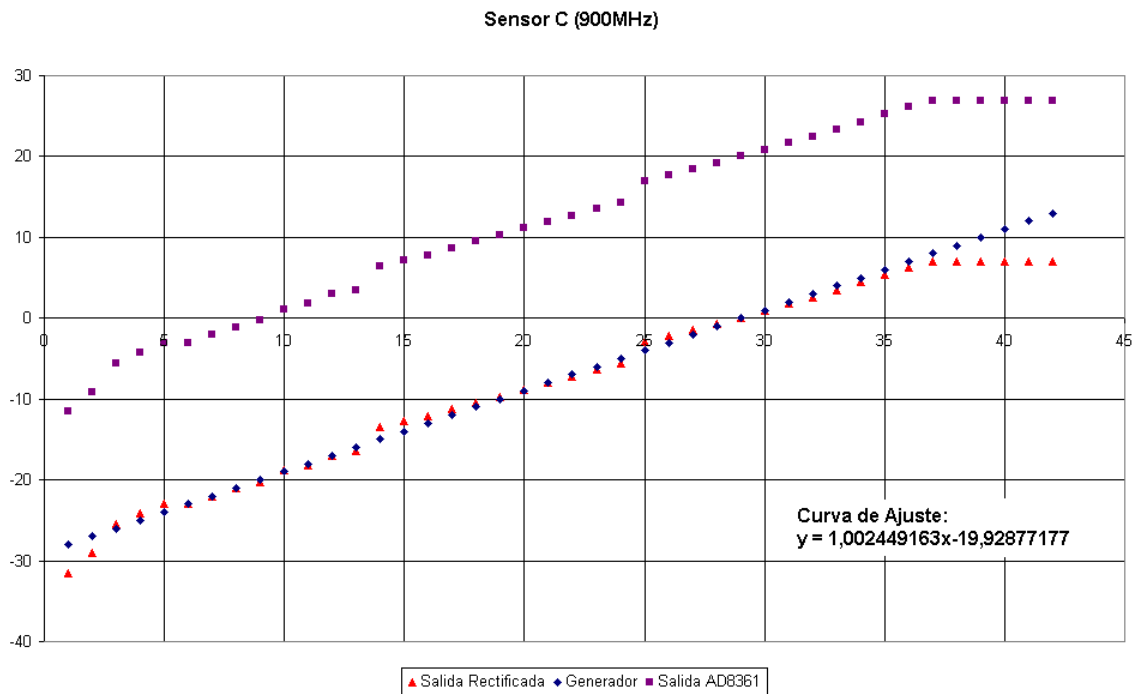
Figura 122. Fotografía de la conexión directa del sensor 3 con el generador RF



Fuente: Autor

Para esta prueba se deja la frecuencia constante (900MHz) y se varía la potencia de salida del generador RF. Gracias a la ecuación que proporciona el fabricante del AD8361 se puede convertir de voltaje RMS a potencia en dBm y así comparar la entrada y la salida usando las mismas unidades de medida. Finalmente se tabulan los datos de la entrada (potencia variable del generador) vs. la salida (potencia mostrada por el AD8361). Con estos valores se procede a hacer una regresión lineal usando el método de mínimos cuadrados para obtener así una curva de ajuste que sirva para calibrar la red de sensores y hacer posible la medición. Los datos y la respuesta de la curva de ajuste se grafican dando como resultado la Figura 123.

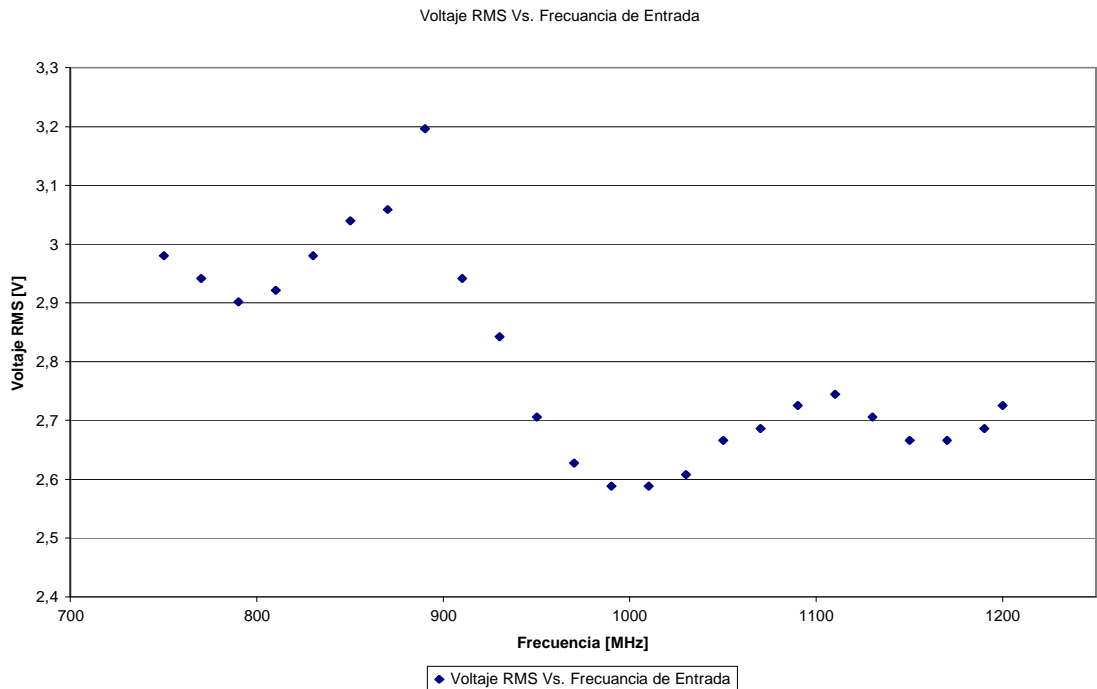
Figura 123. Grafica del valor de potencia enviado por el generador RF vs. El valor de potencia mostrado por la red de sensores. Nótese como se rectifican los datos para obtener una buena aproximación



Fuente: Autor

De esta figura se puede concluir que la regresión lineal implementada ajusta el valor de potencia que registra el sensor muy cerca del valor real. La prueba anterior se realizó para una frecuencia constante de 900 MHz, pero pruebas iguales se realizaron para otras frecuencias como 850, 950 y 1200 MHz. Para todas estas se obtuvieron diferentes curvas de ajuste, pero el inconveniente de obtener todas estas curvas es que el sistema no discrimina una señal por su frecuencia y por el contrario, para una misma potencia de entrada, el AD8361 arroja un valor de voltaje RMS diferente dependiendo únicamente de la frecuencia de dicha señal. Esto se demuestra experimentalmente gracias a la Figura 124.

Figura 124. Grafica de Voltaje RMS Vs. Frecuencia de entrada. Potencia de la señal de entrada constante e igual a 3dBm. Sensor 3



Fuente: Autor

Nótese la respuesta del AD8361 ante una potencia constante pero con una barrido en frecuencia. Esto significa que para cada frecuencia debe hacerse una curva de ajuste para poder obtener el valor de potencia correcto, pero siendo que esto resulta imposible al ser un sistema banda ancha, no se pueden tener varias curvas almacenadas en el software pues la red no identifica una frecuencia de la otra. Entonces al final se promediaron las pendientes y los valores de corte con el eje Y, para poder lograr una curva única. Nuevamente, para recalcar este punto, esto se hace debido a las propiedades de la red, puesto que al ser un sistema banda ancha, el sistema no discrimina valores de frecuencia dentro de su rango y así cualquier señal con una frecuencia entre 800 y 2500 MHz puede ser medida, entonces es necesario promediar los valores de estas curvas de ajuste para poder obtener una curva única que puede rectificar los valores en todo el espectro de frecuencias de la red.

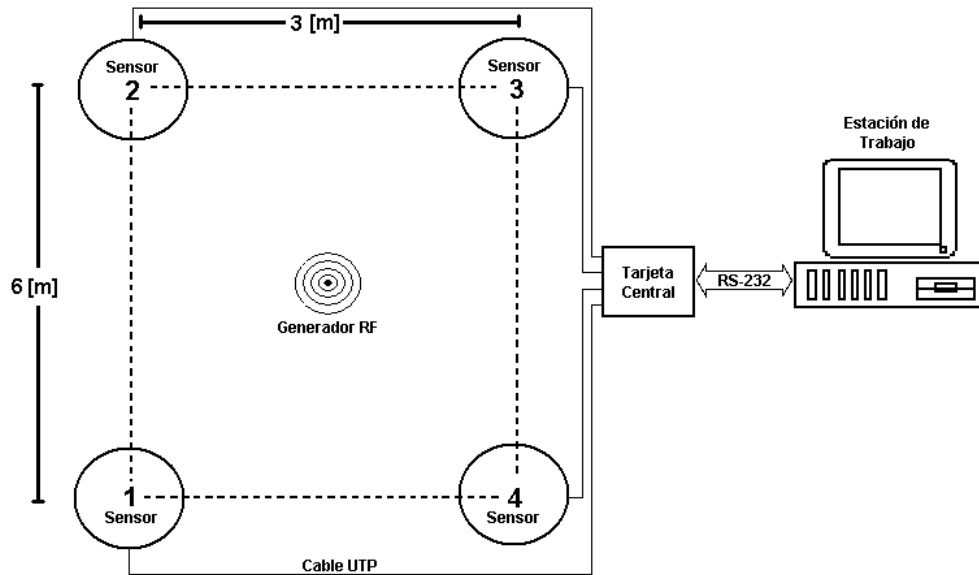
El fabricante del generador **Marconi Instruments 2023** asegura que el error del mismo es de mas o menos 0.8 dB para niveles de potencia de mas de -127dBm y rangos de temperatura entre 17 y 27 grados centígrados y todos los fabricantes de los demás elementos presentes en la red de sensores certifican la linealidad de los mismos, por esto es acertado decir que la red de sensores presenta un error muy cercano a este valor de 0.8 dB cuando la medición se realiza de acuerdo a como se hace en este caso sin la antena conectada. Esto no garantiza que la medición de potencia sea rigurosa o que los resultados tengan un error parecido al que se puede calcular cuando el sistema trabaja con la antena conectada a la entrada. Al conectar la antena banda ancha, esta cambia las características

iniciales del sistema, además de la linealidad debido a la variación en la ganancia de estos dispositivos en todo su rango de frecuencias de trabajo. La forma como esta ganancia varía no es descrita por el fabricante de la antena HG2404CU.

9.5.2. Prueba 2 (Generador de RF)

Para esta prueba se usa el generador **Marconi Instruments 2023** ubicado en la mitad del rectángulo que comprende el área de censado tal como se muestra en la Figura 125.

Figura 125. Configuración #1 de las antenas y la fuente de radiación. No está a escala

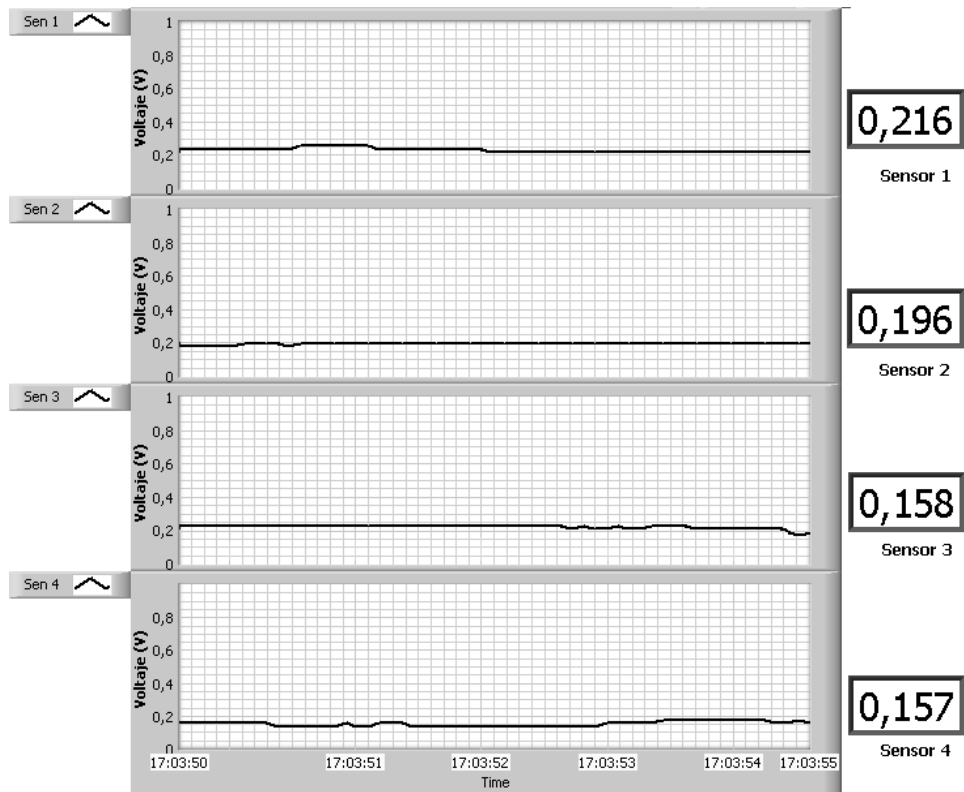


Fuente: Autor

La potencia mínima es de -127 dBm y la máxima con la que transmite este generador RF es de 13 dBm (20 [mW]). Esta potencia máxima es muy pequeña comparada por ejemplo con la de los teléfonos celulares los cuales emiten potencias máximas de 0,2 a 0,6 [W] (entre 23 y 28 dBm), siendo estos últimos más sencillos de detectar a largas distancias. A este generador se le fue acoplada una de las antenas HG2404CU disponibles, para así poder irradiar la misma cantidad de potencia en todas las direcciones con respecto a la horizontal de dicha antena. Todas a las antenas fueron ubicadas a la misma altura.

Nótese como los valores mostrados por la Figura 126 son constantes puesto que la potencia de la señal enviada por el generador es constante. Además, cabe aclarar que al comparar los valores de voltaje de los sensores se puede apreciar que su valor es muy cercano el uno del otro. Esto se debe a que la distancia entre todos los sensores es la misma con respecto a la fuente de emisión, como ya se mostró en la Figura 125.

Figura 126. Grafica capturada gracias a la configuración #1 de la señal enviada por el generador de RF. Frecuencia de 850 MHz a 13 dBm

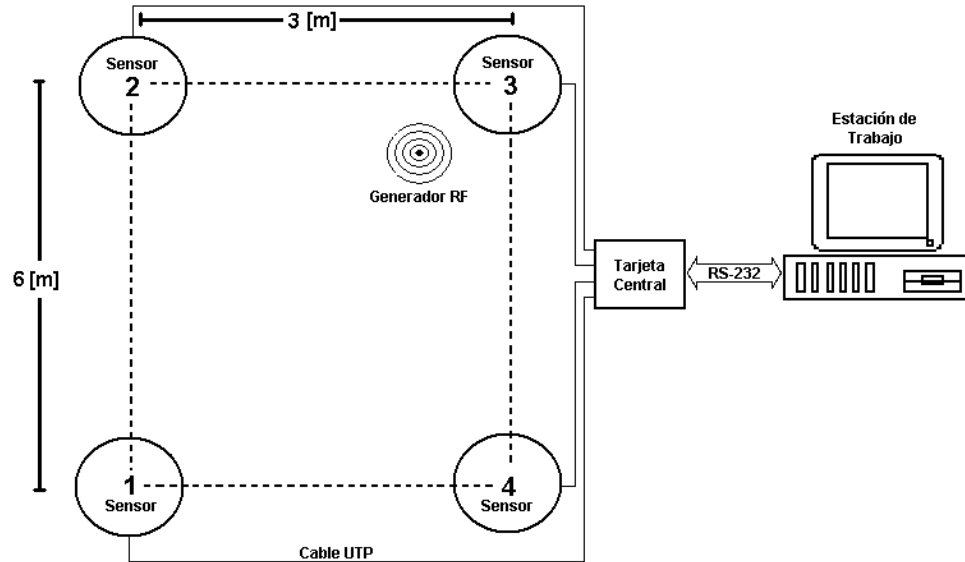


Fuente: Autor

Los valores no son exactamente iguales debido a que el entorno que rodea a cada antena no es el mismo para todas ellas, en otras palabras, la pared que refleja la radiación electromagnética cercana al sensor 1 no es la misma que afecta el patrón de radiación de la antena conectada al sensor 2 y los mismo para todas, de esta manera se puede justificar tal variación.

Después de haber colocado la fuente de radiación en la mitad del rectángulo que comprende el área de censado, se procede a ubicar dicha fuente en una de las esquinas tal como se muestra en la Figura 127 .

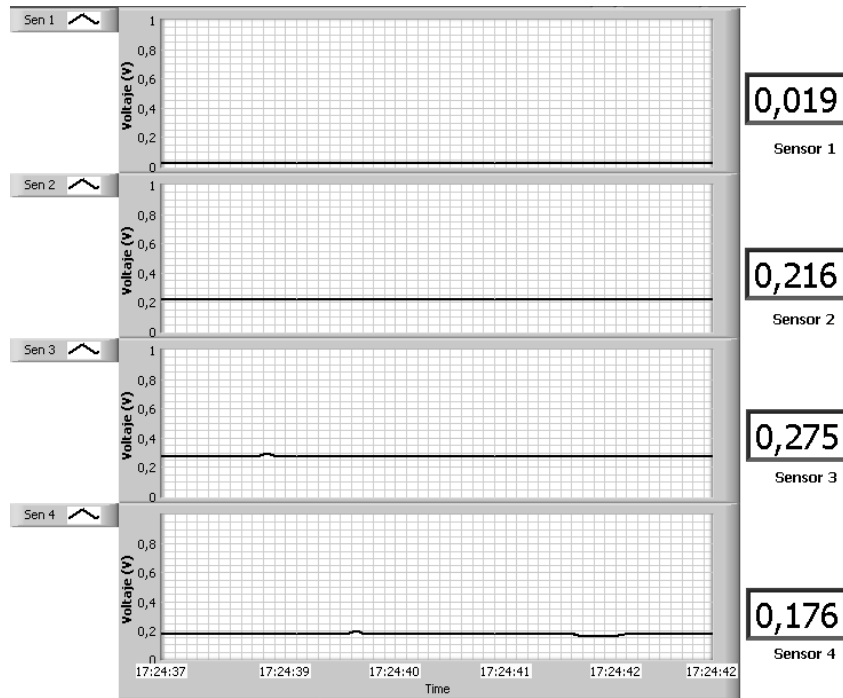
Figura 127. Configuración #2 de las antenas y la fuente de radiación. No esta a escala



Fuente: Autor

Gracias al arreglo de antenas anterior, es posible obtener la grafica mostrada en la Figura 128.

Figura 128. Grafica capturada gracias a la configuración #2 de la señal enviada por el generador de RF. Frecuencia de 850 MHz a 13 dBm



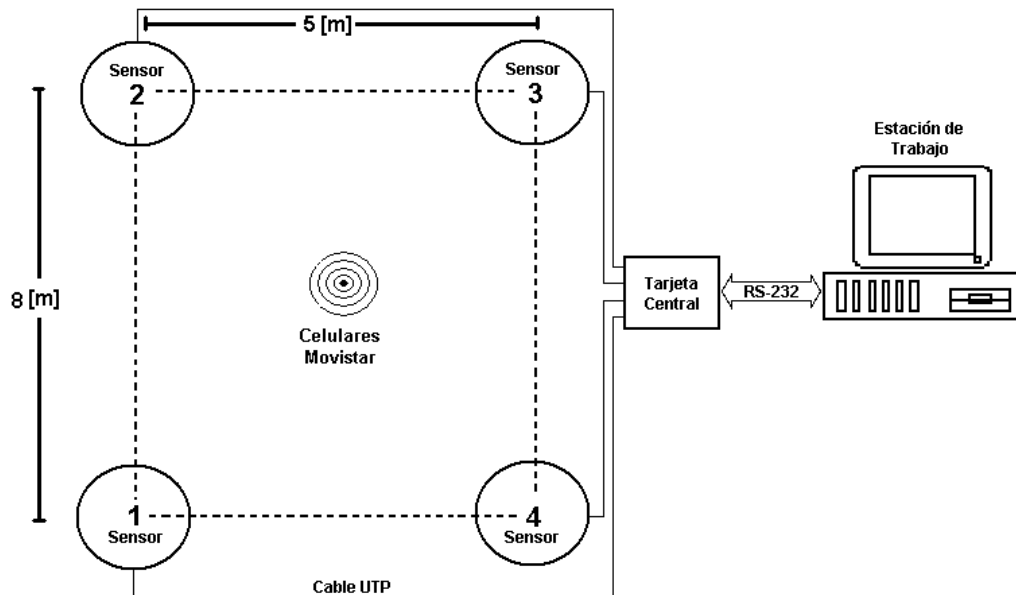
Fuente: Autor

En esta figura se observa como el sensor 3 presenta a su salida un valor de voltaje mayor que los demás sensores de la red. El valor que le sigue en magnitud es el mostrado por el sensor 2 y luego el 4, dejando por ultimo al 1. Esto es de esperarse al analizar la manera como se realizo el montaje de las antenas en la configuración #2 puesto que el valor de densidad de potencia capturado por una antena es inversamente proporcional a la distancia relativa entre la fuente de radiación y la antena de recepción.

9.5.3. Prueba 3 (Celular 850MHz)

Al ser uno de los objetivos de este proyecto de grado, lograr la detección de dispositivos de telefonía móvil, se procede a realizar pruebas con este tipo de tecnología. En primer lugar, se debe saber que los teléfonos celulares emiten potencias máximas de 0,2 a 0,6 [W] (entre 23 y 28 dBm) y operan a un rango de frecuencia de 850 MHz a los 1,9 GHz aproximadamente. Por otra parte es conveniente aclarar que la potencia con la que transmite un teléfono celular no es constante ya que esta potencia se refresca alrededor de 800 veces por segundo dependiendo de la cantidad de usuarios que se encuentren conectados a una celda en particular y los picos máximos de potencia en esta tecnología se encuentran al momento de iniciar y finalizar una llamada. Después de aclarado esto, se muestra la Figura 129 la cual presenta la configuración inicial para esta experiencia.

Figura 129. Configuración #1 de las antenas con respecto a la fuente de radiación. No esta a escala



Fuente: Autor

Para esta práctica se utilizaron 2 celulares de la empresa Movistar, uno de ellos llamando al otro. Ambas fuentes de radiación se encontraban lo más cerca posible la una de la otra tal como se muestra en la Figura 130.

Figura 130. Fotografía de la configuración #1 usando celulares Movistar en el centro del área de detección

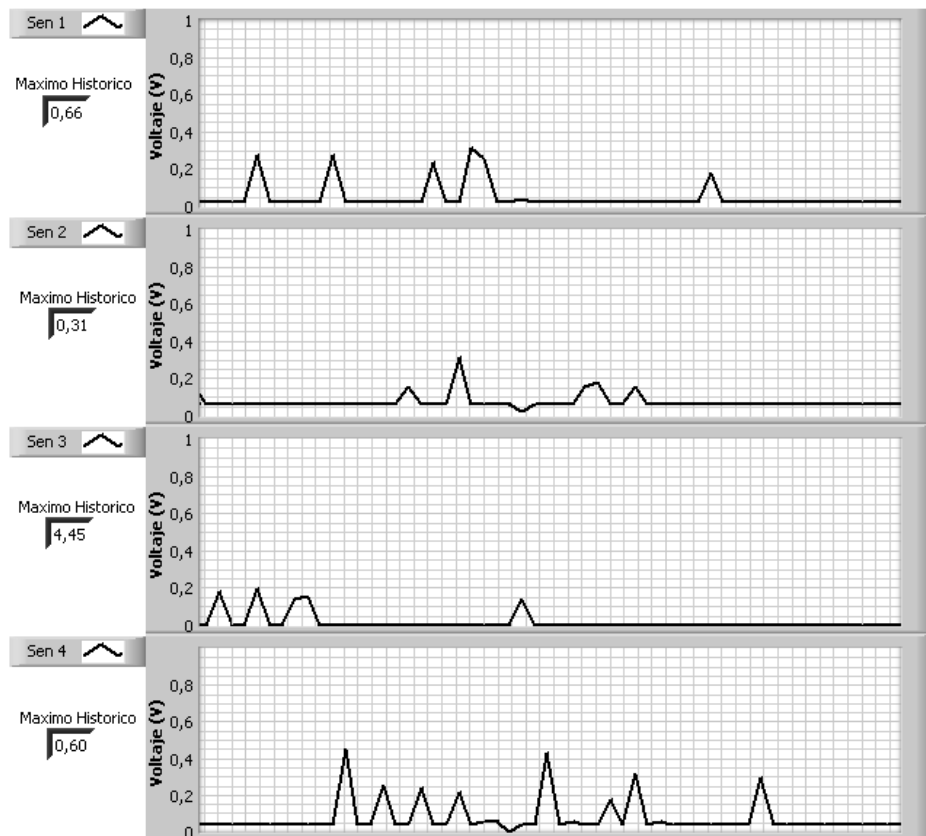


Fuente: Autor

Esto se hizo de esta manera para evitar introducir señales provenientes de fuentes ubicadas, fuera del área de censado, logrando así obtener unos valores lo mas acertados posibles. La señal capturada con el software de LabView para esta configuración se muestra en la Figura 131.

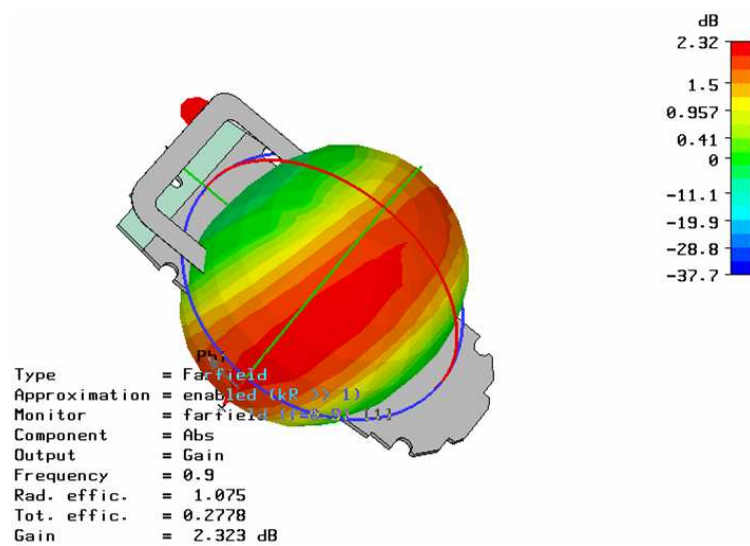
Como muestra la Figura 131 los sensores no reciben la misma cantidad de potencia durante toda la detección, presentando unos picos más grandes que otros. Además, todos los sensores dentro de la red no reciben la misma cantidad de potencia. Los sensores que se encuentran en la parte superior de la Figura 129 (sensores 2 y 3) capturan una señal con una potencia menor que los que se encuentran en la parte inferior (sensores 1 y 4). Esto se debe a que el patrón de radiación de un teléfono celular no es absolutamente omnidireccional. Esto se muestra claramente en la Figura 132.

Figura 131. Grafica de las señales capturadas por la red de sensores. Señal emitida por dos aparatos de telefonía celular de Movistar ubicados en el centro de la red



Fuente: Autor

Figura 132. Patrón de radiación de un teléfono celular a una frecuencia de 900MHz

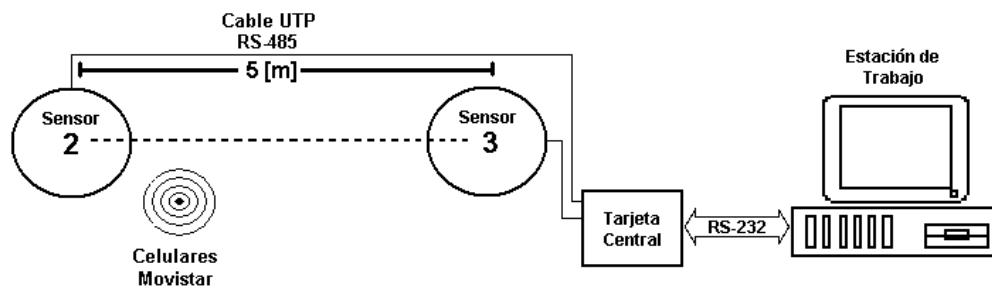


Fuente: CST Studio

De la figura anterior se puede apreciar que una ligera inclinación del teléfono celular incurrirá en un cambio en la densidad de potencia que este emite sobre un área en particular. Además este patrón de radiación varia dependiendo del fabricante y del modelo del equipo. Así se puede justificar el comportamiento de la red mostrado en la Figura 131 y por que todos los dispositivos no miden la misma cantidad de densidad de potencia aun cuando la fuente de emisión se encuentra a la misma distancia de todos los nodos.

Ahora se reubican los sensores con respecto a las fuentes de radiación y se realiza un montaje tal como se muestra en la Figura 133.

Figura 133. Configuración #2. Fuentes de Radiación a 1 [m] del sensor 2 y a 2[m] del sensor 3. No esta a escala



Fuente: Autor

De acuerdo con la figura anterior, es de esperarse que el sensor 2 detecte un valor de densidad de potencia mayor que el sensor 3. Esto se debe a que la magnitud de esta potencia es inversamente proporcional a la distancia entre la fuente y el emisor. Esta suposición es confirmada por la Figura 134.

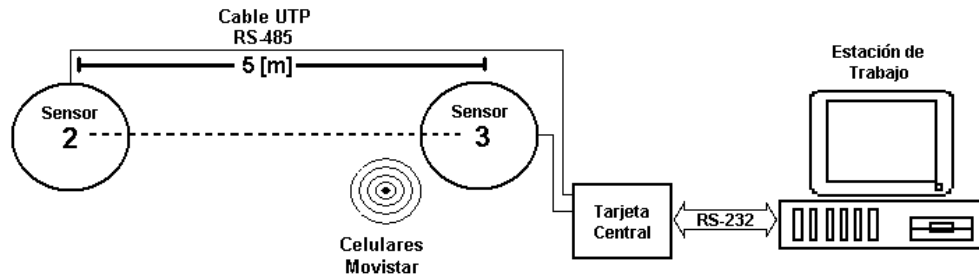
Figura 134. Grafica de las señales capturadas por la red de sensores. Señal emitida por dos aparatos de telefonía celular de Movistar ubicados más cerca del sensor 2 que del sensor 3



Fuente: Autor

Nuevamente se observa que los picos detectados no presentan las mismas amplitudes debido a la manera como se realiza la comunicación. Ahora se procede a hacer lo contrario. Se traslada la fuente de radiación a un punto más cerca del sensor 3 que el sensor 2 quedando como se muestra en la Figura 135.

Figura 135. Configuración #3. Fuentes de Radiación a 1 [m] del sensor 3 y a 2[m] del sensor 2. No esta a escala



Fuente: Autor

Es de esperarse que suceda exactamente lo contrario a lo que se muestra en la Figura 134, cuando la configuración era la opuesta a esta. La grafica de la señal capturada para este arreglo se muestra en la Figura 136.

Figura 136. Grafica de las señales capturadas por la red de sensores. Señal emitida por dos aparatos de telefonía celular de Movistar ubicados más cerca del sensor 3 que del sensor 2



Fuente: Autor

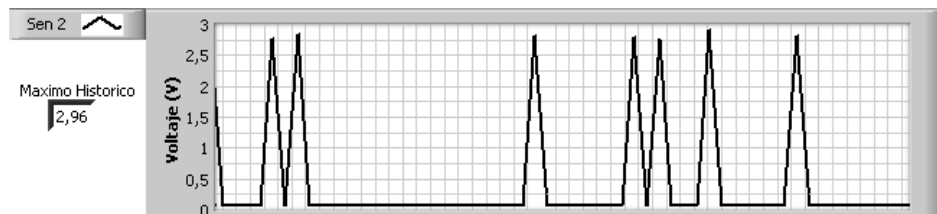
Al comparar la Figura 134 y la Figura 136 se puede observar que el la respuesta del sistema ante estas dos configuraciones es la opuesta una de la otra. En el primer caso, el sensor 2 detecto una densidad de potencia con valor máximo de 0,44 [Vrms] y en el segundo, un valor máximo de 0,29 [Vrms]. Lo mismo ocurrió con el sensor 3, el cual en el primer caso

detecto un valor máximo de 0,27 [Vrms] y en el segundo de 0,39 [Vrms], teniendo así resultados muy parecidos en los dos casos, solo que en sensores diferentes.

Ahora se procede a trabajar únicamente con el sensor 3. Esto con el fin de identificar el comportamiento de esta tarjeta sensora frente a una excitación a 850MHz. Los resultados de esta prueba, como de todas las otras, se pueden extrapolar a las demás tarjetas sensoras puesto que todas son exactamente iguales.

Para iniciar con la practica, se empieza con una distancia de 30 [cm] de la antena receptora y ubicada a la misma altura de 1,55 [m] del suelo. Con estos parámetros la señal capturada es la que se muestra en la Figura 137.

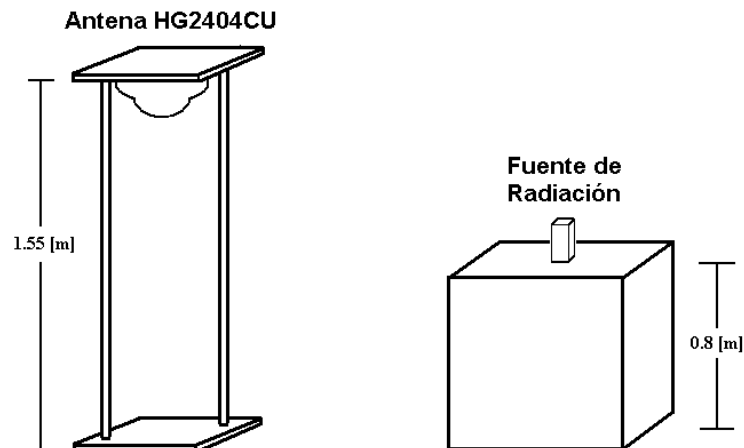
Figura 137. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 30 [cm] de la antena y en el mismo plano horizontal



Fuente: Autor

Posteriormente, se procede a realizar un montaje básico como el que se muestra en la Figura 138.

Figura 138. Montaje básico usado para analizar el funcionamiento de la tarjeta sensora 3 ante una excitación a 850MHz

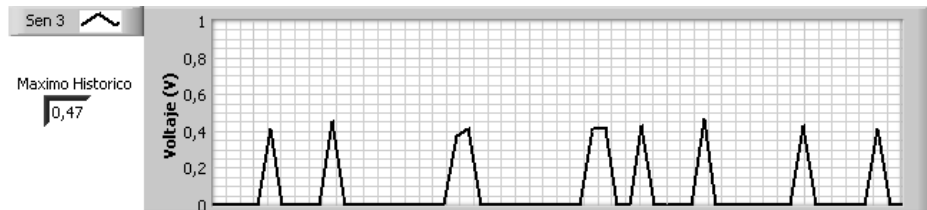


Fuente: Autor

Con esta configuración, lo que se pretende es tomar mediciones solo con una tarjeta sensora y luego alejar la fuente de radiación con respecto a la antena receptora y estudiar como el

valor de la señal capturada va variando a medida que la fuente se aleja. Se inicia con una distancia de 1 [m] entre emisor y receptor y la respuesta del sistema ante tal excitación es la que se presenta en la Figura 139.

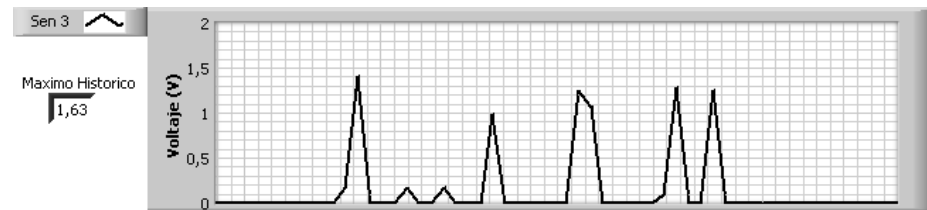
Figura 139. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 1 [m] de la antena HG2404CU



Fuente: Autor

Ahora se traslada la fuente celular alejándola de la antena receptora, quedando entre ellas una distancia igual a 2 [m]. La respuesta del sistema es la que se muestra en la Figura 140.

Figura 140. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 2 [m] de la antena HG2404CU

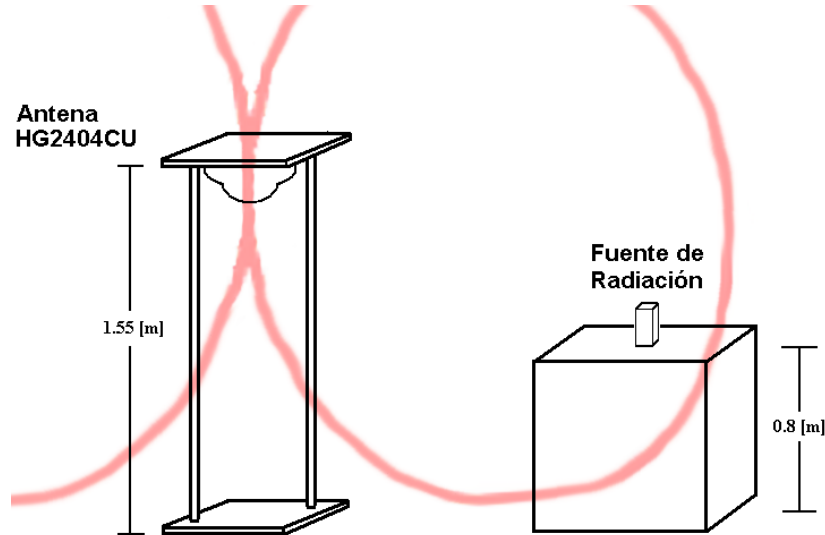


Fuente: Autor

Comparando la Figura 139 y la Figura 140 se puede notar como la densidad de potencia detectada por la red de sensores ha aumentado. Esto parecería ser una incongruencia con la teoría, puesto que se sabe que la potencia de una señal se reduce de manera inversamente proporcional con la distancia debido a la atenuación del medio de transmisión, en este caso aire. Pero la comparación de estas dos graficas lo que muestra es un acierto en la teoría debido al patrón de radiación vertical de la antena HG2404CU. La Figura 141 muestra de manera mas clara este concepto.

En la Figura 141 se muestra como el patrón de radiación vertical de la antena HG2404CU justifica que el valor de voltaje RMS leído del sensor 3 haya aumentado en vez de disminuir. Esto se debe a que con esta diferencia de alturas, en los alrededores de este punto, el ángulo que forman la fuente de radiación y la antena receptora permite que la ganancia de la HG2404CU sea mayor que otras posiciones, permitiendo así que la señal capturada tenga mayor densidad de potencia.

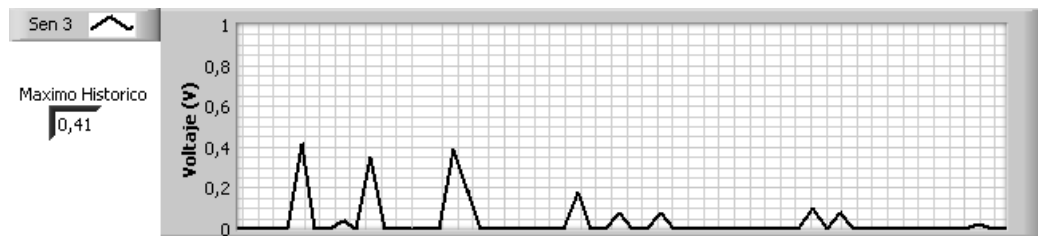
Figura 141. Montaje básico usado para analizar el funcionamiento de la tarjeta sensora 3 ante una excitación a 850MHz incluyendo el patrón de radiación vertical de la antena HG2404CU. No esta a escala



Fuente: Autor

Habiendo dejado en claro el concepto anterior, se traslada la fuente celular alejándola de la antena receptora, quedando entre ellas una distancia igual a 3 [m]. La respuesta del sistema es la que se muestra en la Figura 142.

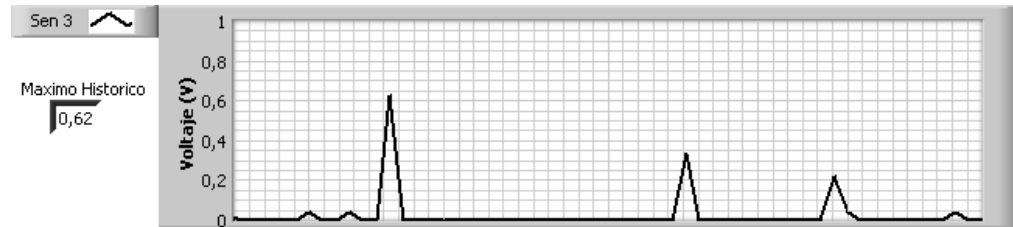
Figura 142. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 3 [m] de la antena HG2404CU



Fuente: Autor

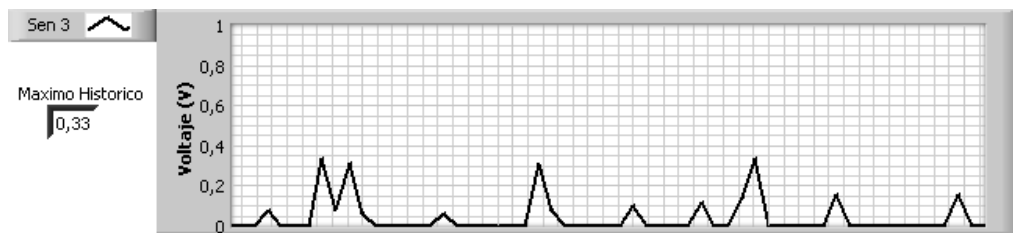
En este caso el valor de potencia de la señal capturada vuelve a disminuir comparándola con la señal capturada a 2 [m] de distancia. Esto significa que en este punto en particular el ángulo entre las antenas es tal que la ganancia de la HG2404CU ha disminuido nuevamente. Después se traslada reiteradamente la fuente de radiación de a 1 [m] a la vez obteniendo todas las graficas de la Figura 143 a la Figura 147 . Nótese como varía la potencia de la señal capturada.

Figura 143. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 4 [m] de la antena HG2404CU



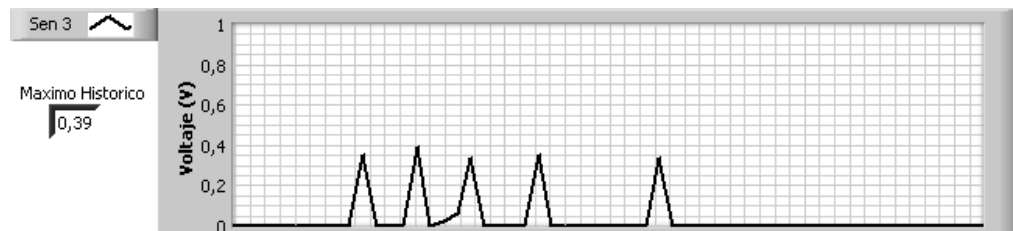
Fuente: Autor

Figura 144. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 5 [m] de la antena HG2404CU



Fuente: Autor

Figura 145. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 6 [m] de la antena HG2404CU



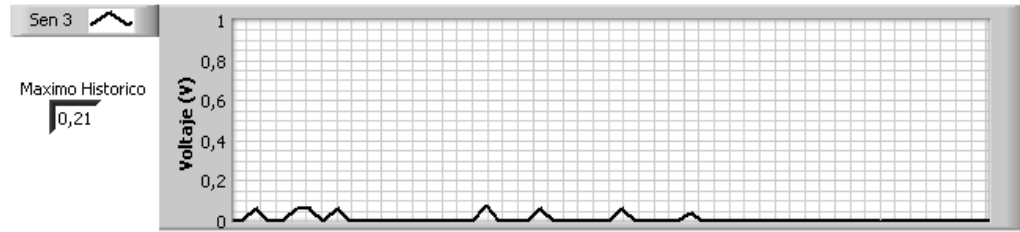
Fuente: Autor

Figura 146. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 7 [m] de la antena HG2404CU



Fuente: Autor

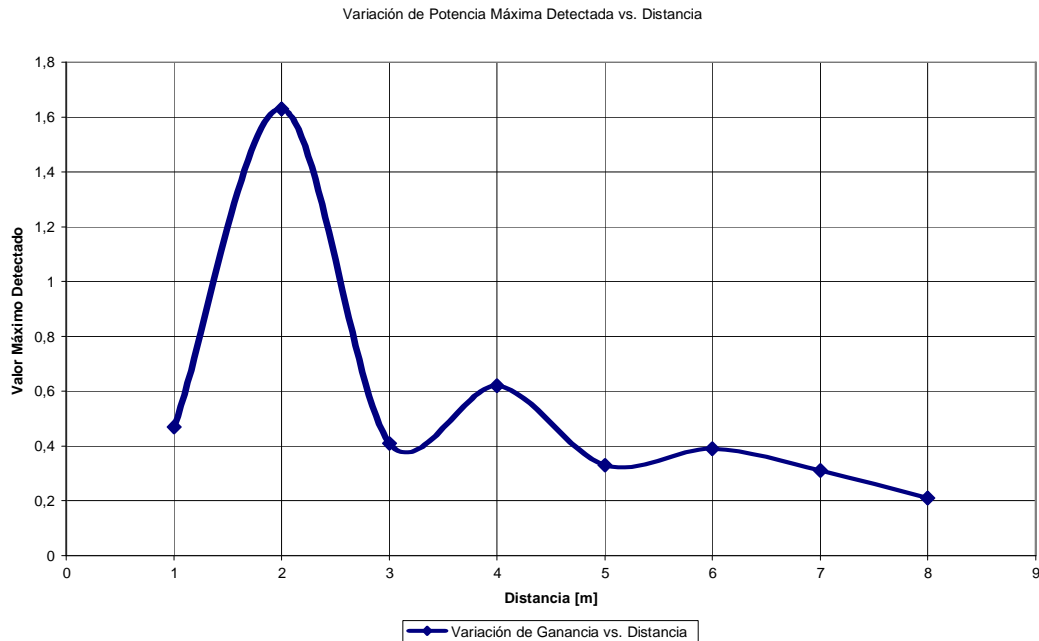
Figura 147. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz a 8 [m] de la antena HG2404CU



Fuente: Autor

Para resumir todo lo anterior se presenta al lector una grafica que muestra como varían los datos capturados bajo todos los parámetros planteado anteriormente. En el eje X se encuentran los valores de la distancia que separan a la antena receptora de la transmisora. La grafica se muestra en la Figura 148.

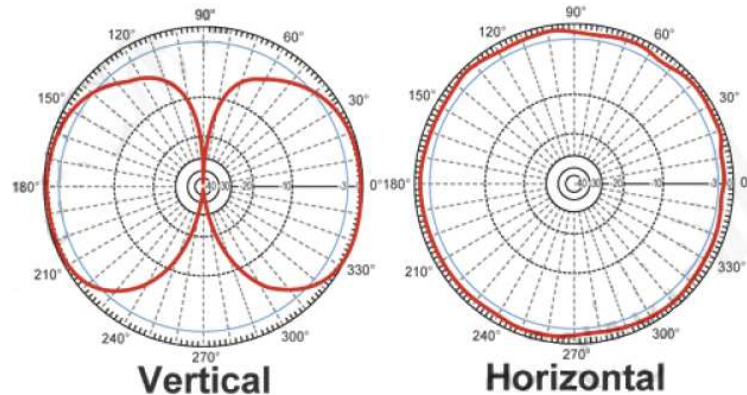
Figura 148. Grafica de la variación de potencia máxima detectada vs. Distancia. 850 MHz



Fuente: Autor

Esta grafica muestra de manera evidente la influencia del patrón de radiación vertical de la antena banda ancha dentro de la red de sensores. Se ve como afecta la manera como se detectan las fuentes emisoras de radiación y obviamente su influencia es aun mayor al momento de medir una señal en particular. Este comportamiento es inevitable puesto que es inherente a esta antena específicamente como se muestra en la Figura 149.

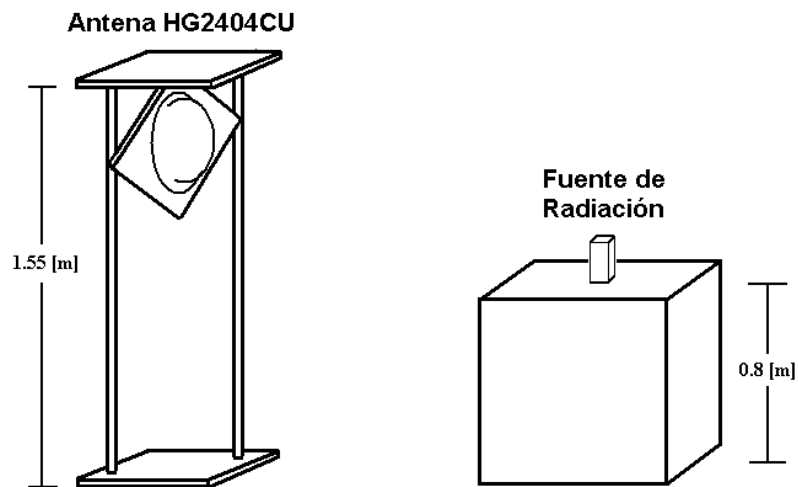
Figura 149. Patrón de Radiación de la antena banda ancha HG2404CU



Fuente: **HyperLink Technologies**

El grupo de trabajo pensó en posibles alternativas de solución a esto y la mas simple fue la de cambiar el patrón de radiación vertical por el patrón de radiación horizontal rotando la antena. Esto se realizo tal como se muestra en la Figura 150.

Figura 150. Montaje básico número 2. Cambia el patrón de radiación vertical por el de radiación horizontal. No esta a escala

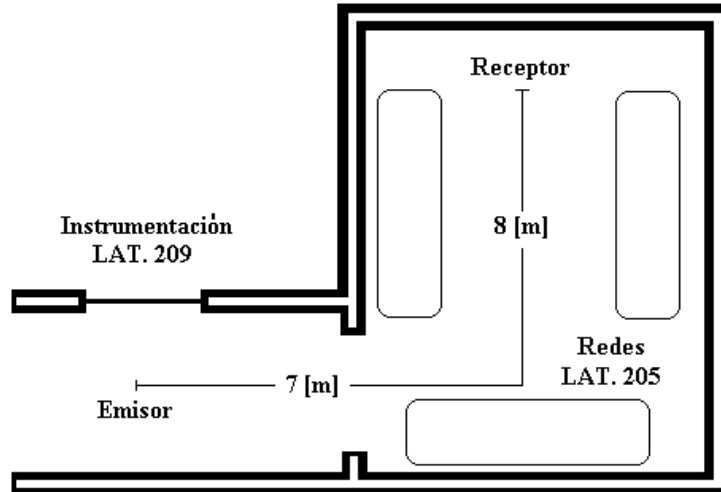


Fuente: Autor

Esta configuración esta disponible en todas las bases construidas por el equipo de trabajo. El estudio de este arreglo se deja propuesto para la siguiente fase de este proyecto, ya que en este libro solo se usa la antena banda ancha tal como lo recomienda el fabricante en su manual de instalación.

Para finalizar las pruebas realizadas a esta frecuencia se propuso dejar la tarjeta sensora 3 en su puesto y mover la fuente de radiación hasta un punto fuera de la habitación tal como se muestra en la Figura 151.

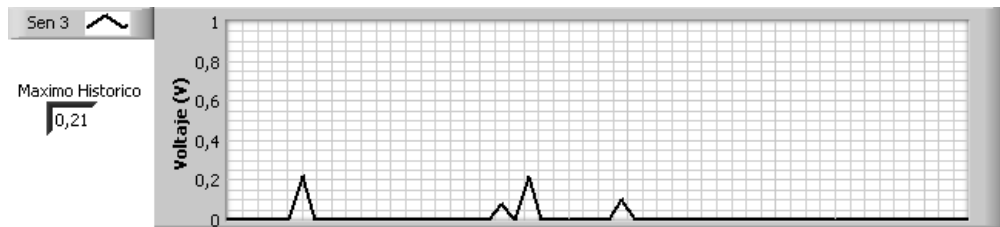
Figura 151. Plano sobre el cual se realiza la prueba fuera de la habitación. Nótese no solo la distancia que separa a la antena transmisora de la receptora sino la cantidad de objetos que interfieren con la detección



Fuente: Autor

Para esta configuración final se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 152.

Figura 152. Grafica capturada al ubicar un celular de 850MHz fuera de la habitación en la que se encontraba la antena HG2404CU



Fuente: Autor

Esto ultimo comprueba la sensibilidad de la red de sensores y muestra que a esta frecuencia es posible detectar fuentes de radiación aun a estas distancias y con múltiples objetos bloqueando la línea de vista entre las dos antenas.

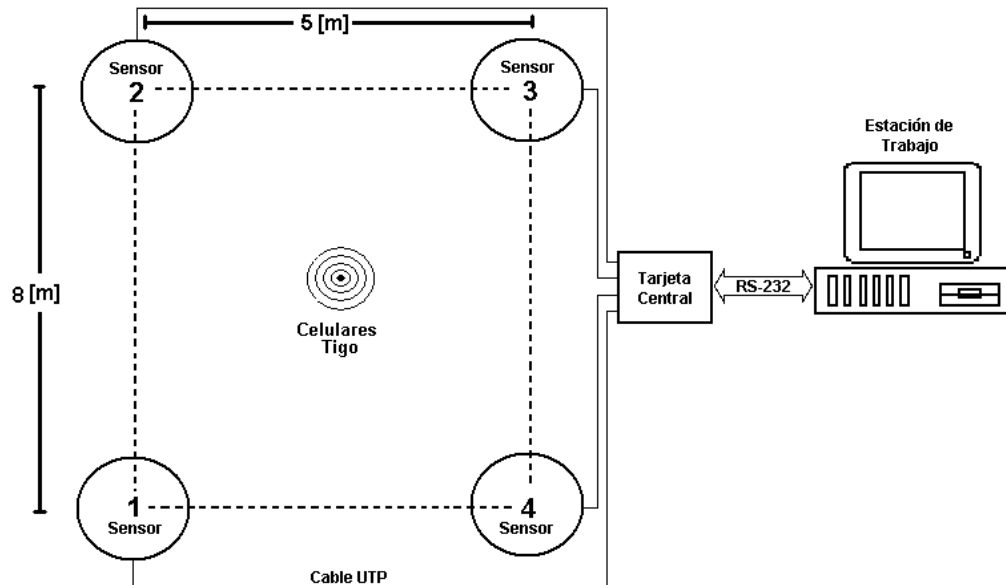
9.5.4. Prueba 4 (Celular 1900MHz)

Para esta prueba se usaron celulares de la empresa Tigo. Estos trabajan a 1.9GHz y la potencia con la que transmiten la señal es la misma que se menciono anteriormente, entre 0,2 y 0,6 [W]. Todos los resultados obtenidos en las pruebas a esta frecuencia de trabajo son muy similares a los presentados para la frecuencia de 850MHz y por ende las conclusiones obtenidas en la Prueba 3 se pueden extrapolar a la Prueba 4. Teniendo en

cuenta esto, en este libro solo se consignan los resultados que arroja la Prueba 4 que sean relevantes para entender el funcionamiento de la red de sensores.

Primero se usa la configuración que se presenta en la Figura 153 y que es el mismo arreglo usando en la Prueba 3. Las posiciones de las dos fuentes celulares usadas en la Prueba 4 son iguales a las posiciones de los teléfonos usados en la Prueba 3.

Figura 153. Configuración #1 de las antenas con respecto a la fuente de radiación

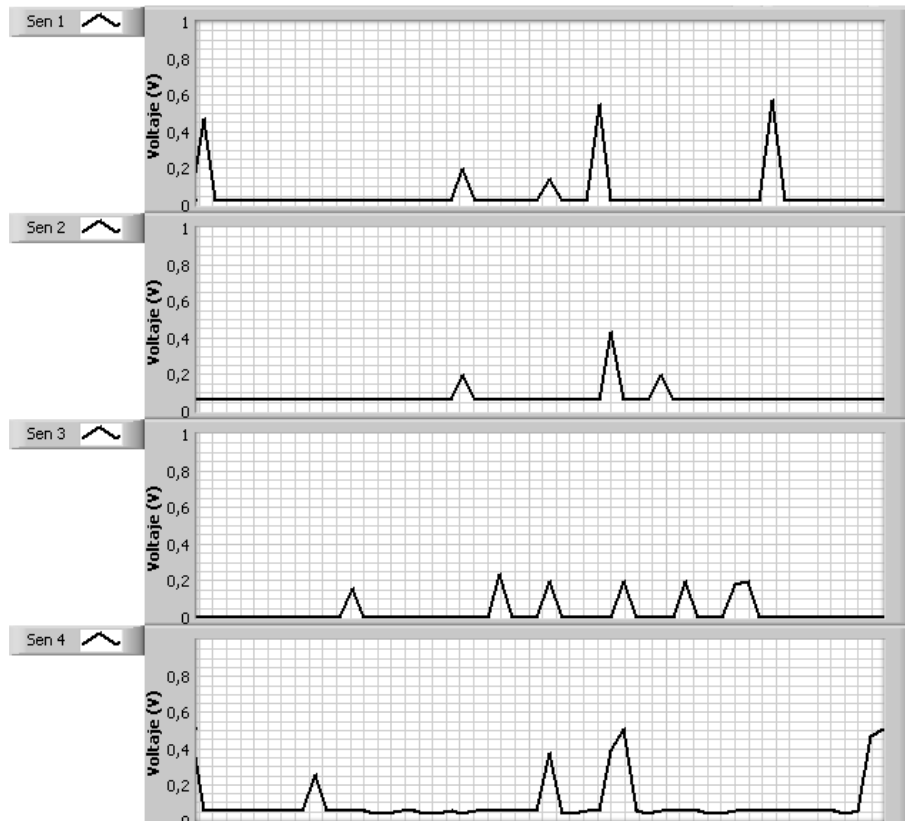


Fuente: Autor

De esta manera se logra obtener la grafica que se aprecia en la Figura 154 y que corrobora una vez más que las antenas de los celulares en realidad poseen un ángulo de inclinación en el cual la densidad de potencia es máxima en un área en particular.

En una comparación rápida entre la y la Figura 154 y la Figura 131 se puede notar que los picos máximos alcanzados por la primera son mayores en una magnitud de alrededor de los 0,2 [V] como máximo. Esto se puede deber a múltiples razones, una de ellas podría ser que los celulares usados para la Prueba 4 (1.9GHz) transmiten su señal con una potencia mayor que los celulares usados en la Prueba 3 (850MHz). Otra teoría que podría explicar este comportamiento es que las condiciones de la prueba cambiaron totalmente debido a cambios en la temperatura ambiente, nuevas fuentes de radiación desconocidas, nuevas ubicaciones de objetos presentes en el área de censado, entre otras. Una tercera posibilidad es que la red de sensores sea más sensible a las frecuencias altas.

Figura 154. Grafica de las señales capturadas por la red de sensores. Señal emitida por dos aparatos de telefonía celular de Tigo ubicados en el centro de la red



Fuente: Autor

La posibilidad que la red de sensores sea más sensible a las frecuencias altas es la más aceptada por el grupo de trabajo, ya que en la hoja de datos del sensor AD8361, el fabricante propone diferentes valores de resistencias de entrada para trabajar a diferentes frecuencias. Estos valores son mostrados en la Tabla 23 .

Tabla 23. Valores recomendados de resistencias para acople de entrada a diferentes frecuencias

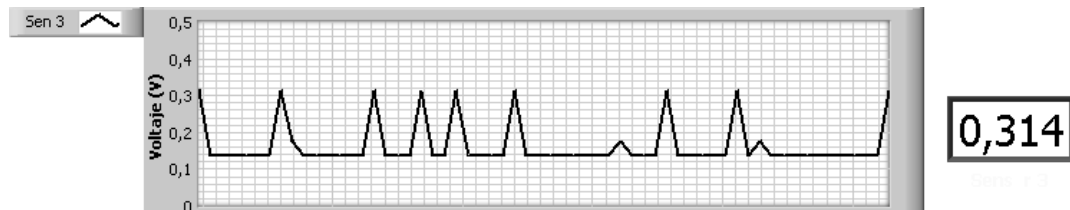
Frecuencia [MHz]	Componente de acople
100	63.4 [Ω] en paralelo
800	75 [Ω] en paralelo
900	75 [Ω] en paralelo
1800	150 [Ω] en paralelo
1900	150 [Ω] en paralelo
2500	150 [Ω] en paralelo

Fuente: Analog Devices, Inc.

En los objetivos de este proyecto de grado se desea detectar fuentes de radiación entre los 800MHz y los 2,4GHz. Por debajo de 1GHz se encuentran trabajando algunos equipos de la empresa Movistar y de Comcel. Por encima de esta frecuencia trabajan todos los equipos de Tigo, algunos de Comcel, Movistar y todos los equipos de comunicación con Bluetooth y Wi-Fi. Por esta razón, se decidió usar como elemento de acople a la entrada del sensor AD8361 una resistencia de 150 [Ω] y así cubrir el mayor número de opciones posibles. Debido a esto, es de esperarse que la red de sensores presente un mejor comportamiento a frecuencias por encima de los 1800 [MHz].

Para finalizar esta prueba, se proceden a activar dos fuentes de radiación al mismo tiempo. Las fuentes usadas son un generador de RF a una frecuencia de 1.2 GHz con una potencia de 13dBm y un celular a 1900 MHz. La señal capturada para esta configuración es la que se muestra en la Figura 155.

Figura 155. Grafica de la señal capturada por el sensor 3. Señal emitida por dos aparatos generadores de radiación



Fuente: Autor

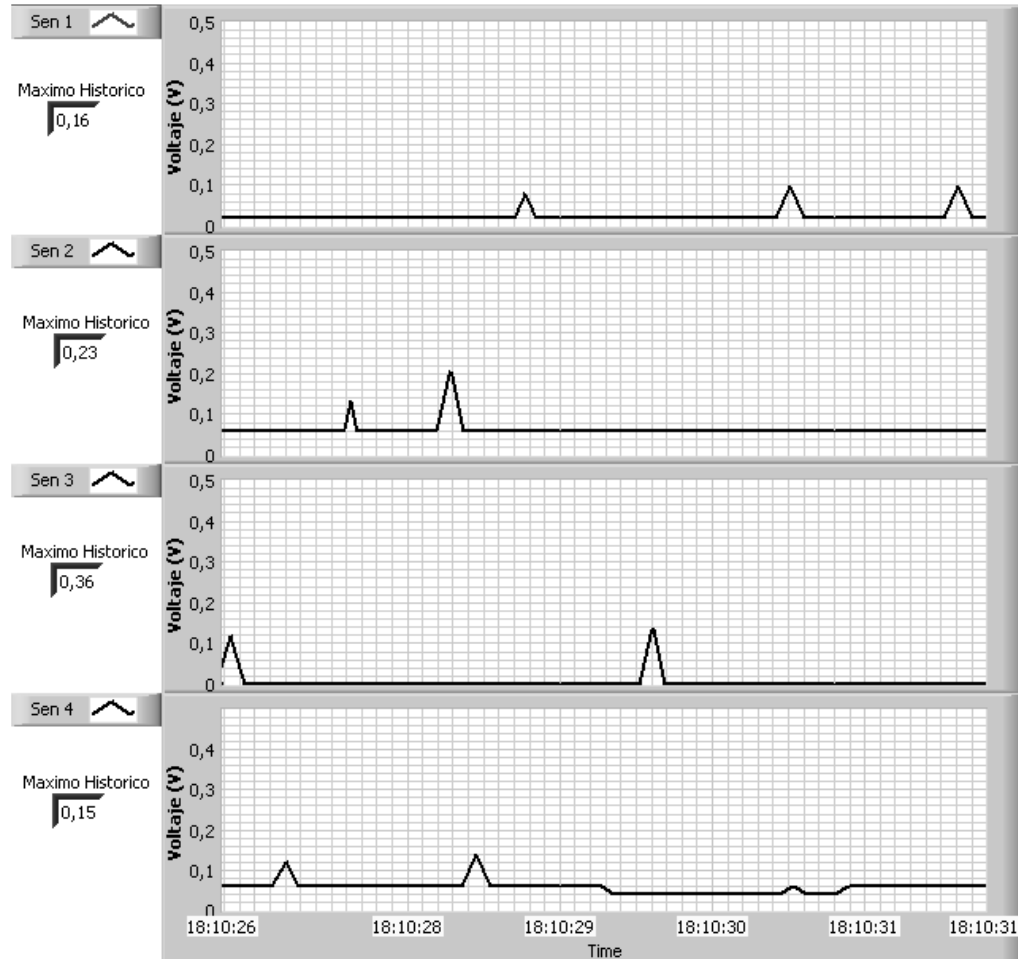
Nótese de la figura anterior, la presencia de un piso en alrededor de 0,1 [V] y los picos característicos de una señal celular. Se puede concluir que bajo estas condiciones, las dos señales se suman.

9.5.5. Prueba 5 (Wi-Fi)

En la Figura 156 se muestran las señales capturadas por la red cuando se está realizando una descarga inalámbrica de un equipo **Access Point**.

Para este caso en particular, las dimensiones del rectángulo que forman el área de censo debieron ser reducidas (1 metro máximo) puesto que la potencia con la que transmiten estos equipos es muy baja comparada con otros sistemas de comunicación inalámbrica, por ejemplo los equipos celulares.

Figura 156. Grafica de las señales capturadas por la red de sensores. Señal emitida por un **Access Point** ubicado en el centro de la red.



Fuente: Autor

9.6. Conclusiones

Finalmente se integran todas las conclusiones encontradas durante estas pruebas en la Tabla 24. Esto con el fin de proporcionarle al lector un acceso rápido a las principales características de la red de sensores.

Tabla 24. Conclusiones finales de las pruebas realizadas

		Prueba	Conclusiones
Pruebas Antenas	1	Simulación en CST Studio	Se hallaron patrones de radiación que determinan la direccionalidad de la antena, encontrándose dos lóbulos, uno en su cara anterior y otro en la posterior, pero su comportamiento se deteriora y desestabilizaba a medida que la frecuencia aumenta; es decir, los lóbulos se desplazan asimétricamente y el cono cada vez se hace mas pequeño y deforme, perdiendo por completo la direccionalidad. Debido a los tiempos de simulación (horas y días), y corta disponibilidad de la licencia para este software (CST STUDIO), fue imposible realizar variaciones en el diseño, para analizar los posibles efectos que se podrían encontrar sobre esta (variaciones en numero de vueltas, espaciamiento entre espiras y el ancho de la espira).
	2	Caracterización con el analizador de espectros Rohde & Schwarz y la SAS-510-4.	Con el analizador de espectros y la antena logarítmica periódica SAS-510-4 se logro afirmar que la antena espiral de Arquímedes tiene direccionalidad. Pero con respecto a la SAS-510-4 tiene ganancia menor y no es constante a medida que varía la frecuencia. Esto es debido a que la impedancia de entrada de la antena varía con la frecuencia o que los conectores e incluso el mismo cobre de la baquelita, interfieren con la señal captada.
	3	Caracterización LVDAM-ANT	Se verificó el patrón de radiación de las antenas HG2404CU y espiral de Arquímedes con el software LVDAM-ANT 1.22. El patrón de radiación de la HG2404CU es muy cercano con respecto al que provee el fabricante. Para la antena espiral de Arquímedes, se observo que es directiva por sus caras anterior y posterior, pero su patrón de radiación no presenta una simetría tan precisa como la que muestra la HG2404CU. Además esta última no capta señales cuanto se encuentra ubicada de filo con respecto a la fuente de radiación.
Pruebas Sistema	4	Pruebas Finales	Durante las pruebas, la interfaz grafica en LabView se fue depurando debido a que los tiempos de procesamiento internos que realiza este software en Windows XP, perjudicaban en gran medida la adquisición de los datos obtenidos por la red. Al final se logro obtener un promedio de 260 datos por segundo cuando los 4 sensores están operando. Así se ha logrado representar los datos capturados de diferentes maneras: en un diagrama cartesiano, en diagramas de tanques y conversión a potencia (dBm). Todo esto teniendo en cuenta la relación Captura de datos Vs. Representación de los datos. Pot ultimo estos datos son almacenados en un archivo de Excel para posteriores usos.
	5		
	6		

Fuente: Autor

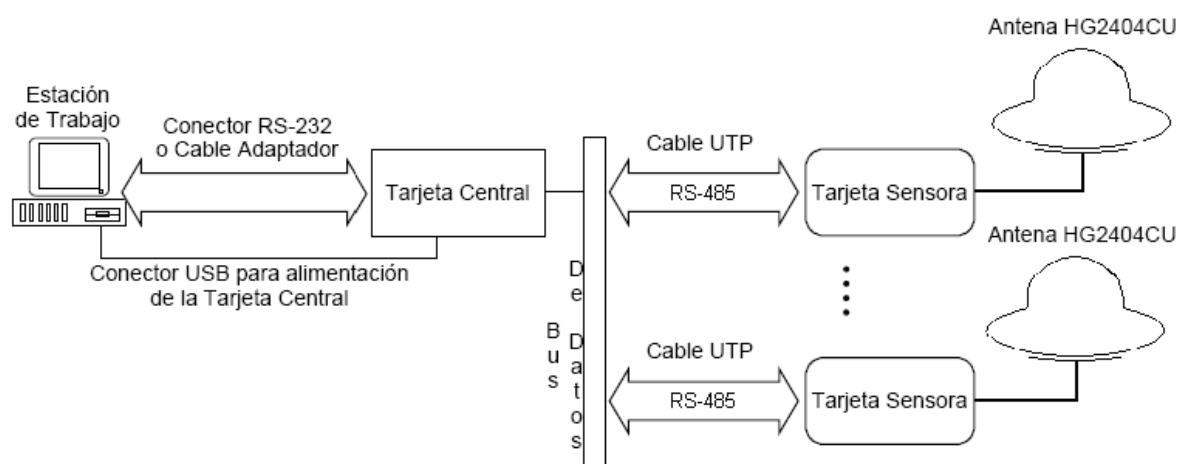
10. MANUAL DEL USUARIO

En el siguiente manual de usuario se dan las pautas acerca de cómo conectar la red sensores y así garantizar su correcto funcionamiento.

10.1. Conexión de Hardware

En la Figura 157 se muestra de manera general todos los elementos presentes dentro de la red de sensores.

Figura 157. Diagrama general para la conexión del hardware.



Fuente: Autor

1. El operario debe conectar el cable RS-232 o en su defecto, conectar otro cable disponible para tal fin, por ejemplo, un cable conversor de USB a RS-232. Luego el operario debe conectar el cable USB que permite la alimentación de la tarjeta central. Estos dos procedimientos se pueden realizar con la estación de trabajo encendida o apagada.
2. Colocar correctamente las 3 baterías CR-2430 en cada tarjeta sensora. Encender el dispositivo y verificar que la indicación de batería baja no se encuentre encendida. Una vez comprobado esto se debe apagar la tarjeta sensora posicionando nuevamente el interruptor a su estado inicial.
3. Colocar y ajustar la antena banda ancha en su respectiva base o lugar sobre el cual se desea realizar la prueba. Existen 4 bases diferentes para esto, cada una con 2 configuraciones posibles (Todas las antenas se deben ubicar de la misma manera en su respectiva base). También se pueden ubicar tales antenas en el “cielo raso” de la habitación (Véase el manual de instalación de la antena banda ancha HG2404CU).
4. Conectar las tarjetas sensoras a su respectiva antena banda ancha. Esto se hace gracias al adaptador de SMA a Tipo N provisto para tal fin. Se debe tener especial

cuidado con el tipo de adaptador que se usa teniendo en cuenta que el conector integrado a la tarjeta sensora es del tipo SMA normal y no SMA Reverso.

5. Conectar cada uno de las tarjetas sensoras a la tarjeta central por medio de cable de red UTP (El puerto al cual se conecta cada sensor a la tarjeta central no influye en el comportamiento final del sistema y esto es indiferente). Este cable UTP puede manejar cualquiera de los dos estándares EIA/TIA 568-A y EIA/TIA 568-B (Cable directo o cruzado). Inmediatamente después se procede a encender las tarjetas sensoras.
6. Correr el programa ejecutable y configurar el nombre del puerto en cual esta conectado el cable serial a la estación de trabajo (ejemplo: COM1).
7. Iniciar la captura de datos empleando el software.

En la tabla que se presenta a continuación se muestran las características técnicas del equipo diseñado.

Tabla 25. Características técnicas del equipo final.

Característica	Valor
Alimentación	9 [V]
Conexión	Alambrica (UTP)
Conectores	RJ-45, SMA, USB y DB-9
Potencia máxima detectada	Entre 8 dBm y 9,9 dBm dependiendo de la frecuencia
Potencia mínima detectada	-21 dBm
Velocidad de transmisión (Teórica)	19200 [baudios/segundo]
Velocidad de transmisión (Real Promedio)	4100 [baudios/segundo]
Datos capturados (Promedio)	260 [Datos/segundo]

Fuente: Autor

10.2. Precauciones

- Para un correcto funcionamiento del software y evitar errores en el proceso de lectura, siempre se debe mantener encendidas las tarjetas sensoras.
- No se puede garantizar un correcto funcionamiento del sistema si el led indicador de batería baja se encuentra encendido.
- Este equipo no es a prueba de agua, no resiste altas temperaturas o fuego, debe ser operado por personal autorizado, no posee protección para sobrecargas de voltaje, no posee ningún tipo de protección antichoque y debe ser tratado con todo el cuidado del caso.
- Para editar o modificar el software se debe contar con conocimientos avanzados en esta materia. Para copiar o modificar el código fuente de este programa se deben respetar los derechos de autor.

Nota: Si se desea reemplazar algún elemento dentro del sistema por mal funcionamiento del sistema, remítase a las recomendaciones y a todos los criterios de selección que se tiene en cuenta dentro de este libro.

11. RECOMENDACIONES

Estas recomendaciones y advertencias deben ser tenidas en cuenta por el operador del equipo y se deben tener presentes en todo momento.

Se recomienda al usuario leer todo el **MANUAL DEL USUARIO** y la hoja de datos de cada uno de los implementos usados para la ejecución de este proyecto, esto con el fin de evitar algún daño o error en la manipulación de las partes.

Para emplear esta herramienta para el análisis de la densidad de potencia en un área específica, el usuario debe tener conocimientos previos sobre el tema.

Si se debe o se desea cambiar alguno de los componentes del hardware, como la tarjeta central, el sensor o cualquier otro elemento dentro del sistema, deben considerarse los criterios de selección de los cuales se habla en este libro.

El software para la visualización de los datos capturados obtiene la fecha y hora desde el computador sobre el cual se corre dicho programa. Esta fecha y hora son almacenadas como datos relevantes para posteriores estudios. El computador sobre el cual se trabaja debe tener estos dos parámetros correctamente configurados.

Por otra parte no están de más las siguientes aclaraciones:

- Este equipo no es a prueba de agua.
- Este equipo no resiste altas temperaturas o fuego.
- Este equipo solo debe ser operado por personal autorizado.
- Este equipo no posee protección para sobrecargas de voltaje.
- Este equipo no posee ningún tipo de protección antichoques y debe ser tratado con todo el cuidado del caso.

12. OBSERVACIONES

1. La antena espiral de Arquímedes fabricada por el equipo de trabajo no tiene un patrón de radiación conocido puesto que no se cuentan con los equipos de laboratorio necesarios para tal fin. Asimismo, también se desconocen la resistencia de entrada, el ángulo de directividad y la carta de Smith, entre otros. El grupo de trabajo intento por primera vez en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, diseñar y fabricar una antena banda ancha espiral de Arquímedes y gracias a esto, se mostró que es posible hacerlo logrando interesantes resultados. También se presento la imperativa necesidad de adquirir equipos de laboratorio como cámaras anecoicas, analizadores de espectro que alcancen los 5GHz, generadores de radio frecuencia que puedan generar señales con diferentes tipos de modulación hasta los 5GHz, cables de conexión, adaptadores y antenas patrón, entre otras cosas. Todo esto para facilitar la construcción de este tipo de tecnologías.
2. El uso del software de simulación CST Studio (**Computer Simulation Technology**) dentro de este proyecto fue de gran ayuda para apreciar las posibles ventajas y desventajas del uso de la antena espiral de Arquímedes. Para los patrones de radiación mostrados en el capítulo “PRUEBAS REALIZADAS”, sección “Pruebas Simuladas”, se debio correr la simulacion por mas de 24 horas, debido a la geometria de la antena, el grado de precision deseado y a que los calculos necesarios para calcular estos diagramas son bastante exhaustivos. Luego, al momento de solicitar la generacion de la grafica del patron de radiacion, el computador debe realizar toda una nueva serie de caculos, los cuales pueden tardar algo mas de 30 minutos. Todo lo anterior hace que la simulacion de este tipo de antenas en CST Studio se torne bastante tediosa, ademas de demorar la etapa de diseño puesto que para corregir elementos o parametros en el plano de la antena se debe tener en cuenta que esto puede demorar almenos 48 horas.
3. En las pruebas realizadas en el Ministerio de Comunicaciones de Colombia se usaron conectores BNC, SMA inversos, SMA, tipo N y diferentes tipos de adaptadores para conectar las antenas a los equipos de medición y viceversa. Su uso fue inevitablemente necesario. Estos dispositivos influyen claramente en las conclusiones que se puedan sacar pues podrían atenuar la señal o introducir ruido a la misma.
4. En el diseño de la tarjeta sensora se disminuye al máximo posible su tamaño de acuerdo con la tecnología disponible. Esto aumenta el grado de portabilidad de la red pero más importante aun, reduce las perdidas en el cobre para la etapa de alta frecuencia en la tarjeta sensora. En el diseño de la tarjeta central no se tienen en cuenta estas condiciones de tamaño y consumo de potencia puesto que no es necesario aumentar su portabilidad debido a su cercanía con la estación de trabajo y la potencia necesaria para su correcto funcionamiento proviene de la fuente del computador.
5. Una mala conexión entre la tarjeta central y las diferentes tarjetas sensoras, que pueda degenerar el envío de datos o su perdida total, será detectada por LabViewTM. Una

indicación de error será mostrada al operario y la ejecución del programa será abortada. La corrupción o pérdida de al menos uno de los bits de un dato será tomado como un inconveniente grave en la comunicación y esta será terminada para posibilitar su revisión, además de evitar que se adquieran datos erróneos o corruptos.

6. El operario de la red de sensores debe estar consiente del número de sensores que conecto a la tarjeta central y de su respectiva letra de identificación. Si el operario oprime el botón que identifica a un sensor en particular y este no se encuentra conectado a la tarjeta central, el software mostrara un error en pantalla y la ejecución del programa será abortada. Esto es inherente a la lógica del programa implementado, puesto que por cada letra de identificación enviada, el programa espera un dato desde ese sensor en particular y si esta letra es enviada pero el dato nunca es recibido a través del puerto serial, LabViewTM tomara esto como un error en la comunicación y el error será mostrado.
7. En la medición que realiza la red de sensores se usaron curvas de ajuste las cuales se calcularon usando una regresión lineal tomando como señal de entrada la generada por el equipo de laboratorio Generador RF **Marconi Instruments 2023**. A la salida del sistema se midieron los voltajes RMS correspondientes a cada valor a la entrada. El fabricante del sensor AD8361 provee una ecuación que permite convertir estos valores de voltaje RMS a dBm. Con esta ecuación y la línea de ajuste calculada por la regresión lineal, se puede obtener un valor de potencia en dBm muy cercano al real. El error presentado en la medición se le puede atribuir al generador de RF usado, puesto que el fabricante de dicho generador asegura que este presenta un error de mas o menos 0.8 dB hasta 1.2GHz para niveles de potencia de mas de -127dBm y rangos de temperatura entre 17 y 27 grados centígrados. Todos los fabricantes de los demás elementos presentes en la red de sensores certifican la linealidad de los mismos. Es necesario aclarar que esta curva de ajuste se realizo para cada uno de los sensores y que se uso el máximo rango de frecuencias disponible (entre 800MHz y 1.2GHz), por este ultimo motivo, el equipo de trabajo no puede afirmar nada acerca de el comportamiento en el error de dicha medición para frecuencias mayores a 1.2GHz. Esta medida de potencia no es objetivo de este trabajo de grado y solo se realizo como un avance para la etapa de mediciones en la siguiente fase de este proyecto. El grupo desarrollador de este proyecto propone como practica de laboratorio en la materia “Medios de Transmisión” el cálculo de una línea de ajuste mucho más refinada y precisa que la usada en este trabajo de grado. Se podría pensar en otros métodos de regresión lineal de mayor orden y precisión que el de mínimos cuadrados empleado para el ajuste de las curvas en esta etapa del proyecto.
8. La medición de potencia ejecutada por el programa se realiza gracias a una línea de ajuste que se calculo con el generador de RF conectado directamente al sistema sensor. Esto no garantiza que la medición de potencia sea rigurosa o que los resultados tengan un error parecido al que se puede calcular cuando el sistema trabaja con la antena conectada a la entrada. Al conectar la antena banda ancha, esta cambia las características iniciales del sistema, además de la linealidad debido a la variación en la

ganancia de estos dispositivos en todo su rango de frecuencias de trabajo. La forma como esta ganancia varia no es descrita por el fabricante de la antena HG2404CU. El grupo desarrollador de este proyecto propone como practica de laboratorio en la materia “Medios de Transmisión” el cálculo de una línea de ajuste que tenga en cuenta dicho problema y permita obtener un valor de potencia aproximado cuando el sistema opera con la antena conectada. Esta medida de potencia no es objetivo de este trabajo proyecto de grado y solo se realizo como un avance para la etapa de mediciones en la siguiente fase de este proyecto.

9. El diseño de la tarjeta sensora fue pensado para poder brindar al usuario el mayor grado de portabilidad posible, por esta razón se emplearon conectores para baterías, pero se puede pensar como otra alternativa la implementación de tecnología PoE (**Power Over Ethernet**) la cual que permite la alimentación eléctrica de dispositivos de red a través de un cable UTP / STP en una red Ethernet. Esto evitaría el uso de baterías pero a su vez presentaría un inconveniente por distancia ya que Ethernet no maneja distancias mayores a 100 m.
10. Todas la graficas presentadas dentro de este libro han sido diseñadas y/o editadas usando el software de diseño grafico Adobe® Photoshop® CS3.
11. Existe abundante material fotográfico tomado durante todas las pruebas realizadas. Allí se documentan las configuraciones, parámetros, conexiones y lugares donde se realizaron las pruebas. Este material se encuentra a disposición de el interesado bajo expresa petición del mismo, esto siempre y cuando se respeten todos los derechos de autor.
12. El grupo de trabajo considera que la siguientes etapas lógicas de este proyecto, deben comprender los siguientes aspectos:
 - Diseñar una antena espiral de Arquímedes de tal manera que su funcionamiento quede descrito totalmente. Para tal fin, se deben presentar la carta de Smith, los diagramas o patrones de radiación simulado y experimental, el ancho de banda teórico y experimental, la ganancia, impedancia de entrada, directividad entre otros parámetros que pudieran ser necesarios.
 - Utilizar otros circuitos integrados de la empresa **Analog Devices, Inc.** que puedan extender en gran medida el ancho de banda del sistema. En este proyecto de grado el ancho de banda final queda limitado por el del sensor AD8361 que alcanza los 2.5GHz. Al ser posible trabajar con una antena como la HG2404CU, cuya frecuencia de trabajo va desde los 800MHz hasta los 3GHz, es interesante pensar el las posibilidades de expansión de la red, no solo en área de censado sino también en frecuencias detectables por la red. El grupo de trabajo recomienda por ejemplo el uso del AD8364 cuya

frecuencia de trabajo máximo es de 2.7GHz, o del AD8362 que alcanza los 3.8GHz.

- Diseñar la red de sensores para que trabaje de manera inalámbrica. Para esto se cuenta con dos tecnologías diferentes: BlueTooth y Zig-Bee. El uso de la tecnología Zig-Bee se encuentra disponible en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones y es recomendable por dos razones básicas: Zig-Bee presenta un menor consumo de potencia que su competidor BlueTooth y el número de nodos disponible en la primera es mucho mayor debido al uso de direcciones IP, permitiendo una amplia expansión de la red de sensores. Esta tecnología de comunicación inalámbrica es basada en WPAN (**Wireless Personal Area Network**) y su integración a este proyecto sería perfecta debido a que esta diseñada para aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Véase referencia bibliográfica [10].

13. CONCLUSIONES

- Tomando como base el sensor AD8361, utilizado en la Fase 1, se diseño y construyó una red de sensores que cuenta con 4 tarjetas, las cuales se pueden distribuir en un área determinada y posibilitan la detección de radiación electromagnética en la banda de frecuencias entre los 800MHz y los 2.5GHz. La información se centralizo con el fin de ser procesada y empleada en futuros análisis. Las diferencias entre la Fase 1 y la Fase 2 son claras y se muestran a continuación:

PROPIEDAD	FASE 1	FASE 2
Número de sensores	1	4 con facilidad de expansión
Técnica de impresión PCB	Cloruro ferrico	Fotograbado
Tecnología usada	DIP y MSOP	MSOP, SSOP, DIP, SMD, SOIC, μ MAX y SO
Antena	Whip	Banda ancha (Espiral de Arquímedes y HG2404CU)
Simulación de la antena	No aplica	CST Studio (Espiral de Arquímedes)
Posible cambio en la antena	Imposible	Posible gracias a conectores SMA
Voltaje regulado	No aplica	Si aplica (MAX667)
Detección e indicación de batería baja	No aplica	Si aplica (MAX667 y MAX9030)
Rango de detección	900 MHz	800 MHz a 2.5 GHz
Voltaje DC máximo de detección	3 [V]	5 [V]
Indicadores visuales	Densidad de potencia baja, media y alta	Indicador de encendido, batería baja y transmisión
Distancia de transmisión	No aplica	1200 metros
Comunicación con PC	No aplica	Si aplica (RS-232)
Visualización de datos	No aplica	Interfaz grafica
Medición de densidad de potencia	No aplica	Si aplica
Almacenamiento de datos	No aplica	Archivo en Excel
Area de cubrimiento	1 solo punto de detección	4 Puntos de detección con facilidad de expansión
Concentrador de información	No aplica	Si aplica (Tarjeta central)
Triangulación	No aplica	Posible triangulación de fuentes de emisión
Tamaño tarjetas sensoras	6[cm]x6,5[cm]	9,5[cm]x5[cm]
Alimentación	3 [V]	9 [V]

- Se diseñó un programa en LabView™ para visualizar la señal obtenida a partir de la serie de tarjetas sensoras. En la programación de este software siempre se tuvo en cuenta la relación presentación de los datos vs. número de datos capturados por segundo. Esto con el fin de encontrar un balance entre estos dos, ya que al aumentar las propiedades del uno, se disminuían las del otro. En un principio, la interfaz gráfica diseñada presentaba un entorno con gran cantidad de propiedades extras (Promedio, triangulación, rango de visualización, entre otros) y durante las pruebas realizadas, estas características se fueron depurando, llegando al final a obtener 260 datos por segundo en promedio y dejando solo las cualidades necesarias para obtener un entorno gráfico amigable.
- Se inició el trabajo diseñando una antena espiral de Arquímedes pero esta debido ser dejada de lado, debido a la falta de recursos y equipos para caracterizar su comportamiento. Aun cuando se contaba con una idea aproximada de su comportamiento a diferentes frecuencias, gracias a las simulaciones en CST Studio y las pruebas hechas a las frecuencias disponibles; esta antena fue reemplazada por la HG2404CU la cual fue la que finalmente se usó. Esta antena se encuentra parametrizada y brinda la certeza de saber sus características.
- La red de sensores mide efectivamente las variaciones en la densidad de potencia del medio en la banda de interés (entre 800MHz y 2.5GHz), aunque no presenta un comportamiento uniforme con respecto a la frecuencia ya que el valor de voltaje a la salida del sensor varía de acuerdo con la frecuencia de la señal de entrada aun cuando esta señal posea un valor de potencia constante.
- Se realizaron múltiples pruebas en variados entornos (tanto en campo abierto como en recintos cerrados) que demuestran el correcto funcionamiento de las diversas etapas que comprenden la red, así como del sistema de detección como un todo. Además, estas pruebas fueron aplicadas usando diferentes equipos de emisión de radiación todos trabajando dentro de las frecuencias de interés.
- Se indagó entre diferentes estándares de comunicación entre las tarjetas sensoras y la tarjeta central (I²C, CAN, SPI, RS-485) escogiendo finalmente esta última. Esto se hizo de esta manera debido a su economía, facilidad de implementación, inmunidad al ruido, alcance y posibilidad de expansión. Con este tipo de tecnología se logra alcanzar teóricamente una distancia máxima de alrededor de los 1200 metros.
- La comunicación entre la estación de trabajo y la red de sensores se basa en una topología Profibus. Se usa una topología de red de bus lineal empleando transmisión **Half Duplex** Asíncrona con un acceso al bus de manera Maestro/Esclavo (1 maestro y 4 esclavos), con direccionamiento de 8 bits. Debido a lo anterior, los sensores no pueden transmitir todos al mismo tiempo, y solo el que posea la autorización para acceder al medio podrá hacerlo.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1]. Horst Eger, Klaus Uwe Hagen, Peter Vogel y Helmut Voit.
La influencia de la cercanía de una antena de telefonía móvil sobre la incidencia del cáncer.
Revista: Umwelt.Medizin.Gesellschaft, 17
4/2004

[2]. Dr. Ferdinand Ruzicka.
Auswirkungen Von Gsm-Mobilfunkbasisstationen Auf Die Lebenszeit Einer Bevölkerung.
Revista: Umwelt.Medizin.Gesellschaft, 20
2/2007

[3]. Titulo: Equipo Para Detección De Radiación Electromagnética No Ionizante
Presentado Por: Gustavo Adolfo Reyes Torres

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico mecánicas
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Bucaramanga
2006

[4]. Milligan, Thomas A.
Modern Antenna Design
Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

[5]. Design of a Spiral-Mode Micro strip Antenna and Matching Circuitry for Ultra-Wide-Band Receivers
N. Paulino, H. Rebelo, F. Pires, I. Ventim Neves, J. Goes and A. Steiger-Garção
Faculdade de Ciências e Tecnologia 2825 – 114 Caparica – PORTUGAL

[6]. H. A. Wheeler,
Simple relations derived from a phased-array antenna made of an infinite current sheet,
IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-13, no. 4, July 1965, pp. 506–514.

[7]. A.H. Systems WebSite:
<http://www.ahsystems.com/catalog/SAS-510-4.php>

[8]. Eagle - Layout - Software
CadSoft Computer, Inc.
Version 4.11
<http://www.cadsoftusa.com>

[9]. <http://www.doctrionics.co.uk/555.htm>

[10]. Título: Caracterización de dispositivos de redes de sensores inalámbricos en ambientes Indoor y Outdoor.

Presentado por: Diego Armando Maldonado Delgado

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2007

[11]. Hoja de datos de AD8361

[12]. Hoja de datos de MAX667

[13]. Hoja de datos de MAX9030

[14]. Hoja de datos de INA322

[15]. Hoja de datos de PIC16F88

[16]. Hoja de datos de MAX485

[17]. Hoja de datos de LM555

[18]. Hoja de datos de MAX232

[19]. Hoja de datos de la antena banda ancha HG2404CU

15. ANEXOS

15.1. ANEXO A. Tablas con todos los elementos dentro del sistema

En este Anexo se encuentran todos los elementos utilizados dentro de la red de sensores. Para cada uno de los elementos se da su encapsulado (si aplica), el nombre del fabricante (para los elementos que no son genéricos) y la cantidad de ellos usados en la elaboración de la red. Su uso se encuentra justificado dentro del libro de grado y su respectivo funcionamiento se describe en el mismo.

Elementos usados en la fabricación de las tarjetas sensoras

En las tablas presentadas a continuación se detallan los elementos usados para la construcción de 1 tarjeta sensora. Nótese que la red implementada cuenta con 4 de estas tarjetas.

Tabla 26. Elementos resistivos usados en la construcción de una tarjeta sensora.

Valor	Encapsulado	Fabricante	Cantidad	Descripción
50 [Ω] $\pm 1\%$	0603	Vishay/Dale	1	Detector de batería baja
150 [Ω] $\pm 1\%$	0805	Xicon	1	Sensor AD8361
1 [k Ω] $\pm 1\%$	0603	Xicon	2	Regulador de voltaje, Microcontrolador
10 [k Ω] $\pm 1\%$	0603	Xicon	2	Regulador de voltaje, Detector de batería baja
200 [k Ω] $\pm 1\%$	0603	Xicon	1	Detector de batería baja
1 [M Ω] $\pm 1\%$	0603	Vishay/Dale	3	Detector de batería baja
1.5 [M Ω] $\pm 1\%$	0603	Vishay/Dale	1	Regulador de voltaje
2.2 [M Ω] $\pm 1\%$	0603	KOA Speer	1	Detector de batería baja
5.1 [M Ω] $\pm 5\%$	0402	Vishay/Dale	1	Regulador de voltaje

Fuente: Autor

Tabla 27. Elementos capacitivos usados en la construcción de una tarjeta sensora.

Valor	Encapsulado	Fabricante	Cantidad	Descripción
2.2 [μ F]	0603	Kemet	1	Detector de batería baja
100 [pF]	SMD Cerámico	Kemet	2	Sensor AD8361
0.01 [μ F]	0603	Vishay/Vitramon	2	Sensor AD8361, Microcontrolador
10 [μ F]	SMD Tantalio 6032-28	AVX	1	Regulador de voltaje

Fuente: Autor

Tabla 28. Dispositivos usados en la construcción de una tarjeta sensora.

Dispositivo	Encapsulado	Fabricante	Cantidad
Antena Banda Ancha HG2404CU		HyperLink Technologies, Inc.	1
Conector SMA Macho (50Ω)		Amphenol RF	1
Sensor AD8361	MSOP	Analog Devices, Inc.	1
Regulador de Voltaje MAX667CSA	SO	Maxim Integrated Products	1
Detector de Batería Baja MAX9030	SC-70-6	Maxim Integrated Products	1
Microcontrolador PIC16F88-I/SS	SSOP	Microchip Technology Inc.	1
Transmisor-Receptor MAX485	μMAX	Maxim Integrated Products	1
Transistor PNP de Pequeña Señal	SOT-23	Fairchild Semiconductor	1
Diodo de Pequeña Señal	SOT-23	Fairchild Semiconductor	1
Diodos LED	0603	Fairchild Semiconductor	3
Switch Superficial	SMD	ALPS Electric, Inc.	1
Conector RJ-45 Hembra			1
Porta-Baterías	24 [mm]	Keystone Electronics	1
Baterías 3[V]	CR-2430	Sony Corporation	3

Fuente: Autor

Elementos usados en la fabricación de la tarjeta central

En las tablas presentadas a continuación se detallan los elementos usados para la construcción de la tarjeta central. Nótese que la red implementada cuenta con solo una de estas tarjetas. Los fabricantes de las resistencias y capacitores no se encuentran disponibles puesto que estos son elementos genéricos y esta información no la provee el vendedor de los mismos. De igual manera, estos elementos pasivos no presentan encapsulado de montaje superficial y por tanto este valor es reemplazado por la potencia máxima que pueden disipar.

Tabla 29. Elementos resistivos usados en la construcción de la tarjeta central.

Valor	Potencia	Cantidad	Descripción
1 [kΩ] ±10%	¼ [W]	2	Temporizador LM555, Indicación de encendido
10 [kΩ] ±10%	¼ [W]	2	Temporizador LM555
200 [kΩ] ±10%	¼ [W]	1	Temporizador LM555

Fuente: Autor

Tabla 30. Elementos capacitivos usados en la construcción de la tarjeta central.

Valor	Cantidad	Descripción
10 [nF]	3	Temporizador LM555
100 [pF]	1	Temporizador LM555
47 [μF]	1	Temporizador LM555
1 [μF]	5	Convertor TTL-RS232 MAX232

Fuente: Autor

Tabla 31. Dispositivos usados en la construcción de la tarjeta central.

Dispositivo	Encapsulado	Fabricante	Cantidad
Convertor TTL-RS232 MAX232	DIP-16	Maxim Integrated Products	1
Temporizador LM555	DIP-8	National Instruments Corporation	1
Transmisor-Receptor MAX485	DIP-8	Maxim Integrated Products	1
Diodos LED	4 [mm]		2
Conector DB-9 Hembra			1
Conector RJ-45 Hembra			4
Conector USB Tipo B Hembra			1

Fuente: Autor

15.2. ANEXO B. Código fuente para la programación del PIC16F88

```
;RADIX HEX
LIST P=PIC16F88
#include <p16f88.inc>
errorlevel -302 ; suppress message 302 from list file
__CONFIG __CONFIG1, _CP_OFF & _CCP1_RB0 & _DEBUG_OFF & _WRT_PROTECT_OFF & _CPD_OFF &
_LVP_OFF &
_BODEN_OFF & _MCLR_OFF & _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _INTRC_IO
__CONFIG __CONFIG2, _IESO_OFF & _FCMEN_OFF
#define PDe10 H'20'
#define ON_SYS H'21'
#define INTERMEDIO H'22'
#define PDe11 H'23'
#define d1 H'24'
#define d2 H'25'
#define d3 H'26'
#define d4 H'27'
ORG H'00' ; Program starts at 0x000
GOTO MAIN
ORG H'04'
GOTO MAIN
ORG H'10'
MAIN MOVLW B'01101110' ;SELECT 4MHZ, OVERCLOCKING!!
BANKSEL OSCCON
MOVWF OSCCON
; BANKSEL OSCTUNE
; MOVLW B'00110100'
; MOVWF OSCTUNE
BANKSEL TRISA
movlw B'11111001'
movwf TRISA
movlw b'11011111' ;RB5(TX)=output, others output
movwf TRISB
;BANKSEL PORTA
;BSF PORTA,1
;BCF PORTA,2
;INFI GOTO INFI
; -----
; SET BAUD RATE TO COMMUNICATE WITH PC
; -----
; Boot Baud Rate = 57600, No Parity, 1 Stop Bit
BANKSEL SPBRG
movlw D'12' ; D'03'=57600 bps, D'12' =19200, D'25' = 9600
movwf SPBRG
movlw b'00100100' ; brgh = high (2)
movwf TXSTA ; enable Async Transmission, set brgh
; *****VERIFICADO, SI FUNCIONA TX*****
BANKSEL RCSTA
movlw b'10000000' ; enable Async Reception
movwf RCSTA
MOVLW 'B' ; letra indentificacion sensor
MOVWF ON_SYS
BCF PIR1,RCIF
; -----
; SET A/D CONVERTER SYS ; conversion de 8 bits por taramix
; -----
BANKSEL ANSEL
MOVLW B'00000001'
MOVWF ANSEL
BANKSEL ADCON1
MOVLW B'00000000'; esta justificado a la izq
MOVWF ADCON1
BANKSEL ADCON0
MOVLW B'01000001'
MOVWF ADCON0
loop ;CALL receive
;XORWF ON_SYS,W
;BTFS STATUS,Z
;GOTO loop
CLRF PORTA
```