

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA



PLATAFORMA AUTOMATIZADA DE MEDICIÓN DE PATRONES DE RADIACIÓN DE ANTENAS. PARTE I

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO POR
Denis Alfredo Altuve Santamaría.
Luis Kelman Belloso Huevo.

PARA OPTAR AL GRADO DE:
Ingeniero en Telecomunicaciones.
Ingeniero en Automatización.

ASESOR:
Ing. Calixto Rodríguez Vásquez.

Agosto de 2009
Soyapango, El Salvador, Centroamérica.

UNIVERSIDAD DON BOSCO



FACULTAD DE INGENIERÍA

AUTORIDADES:

Ing. Federico Huguet Rivera.
RECTOR

Pbro. Víctor Bermúdez, sdb.
VICERRECTOR ACADÉMICO

Lic. Mario Rafael Olmos.
SECRETARIO GENERAL

Ing. Ernesto Godofredo Girón.
DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DON BOSCO



TRIBUNAL EXAMINADOR

Ing. Calixto Rodríguez Vásquez.
ASESOR DE TESIS

Ing. Oscar Wenceslao Rivas Zaldaña.
JURADO LECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTOS.

La vida de por si es una bendición que a diario nos acompaña de parte de nuestro creador, por lo que agradezco enormemente a Dios Todopoderoso el don que nos ha concedido, así como la paciencia, sabiduría y discernimiento que nos ha regalado en cada segundo de nuestras carreras para ver este momento realizado.

A mi madre quien se levantado con el alba diario para mostrarme con su amor, paciencia, trabajo y consejo incondicional, que el esmero y dedicación hacen posible los sueños de aquel que los persigue con la fé en Dios y el sudor de su frente.

A mi padre quien me heredo el carácter y la responsabilidad que han hecho posible el orgullo que ahora veo frente a mis ojos.

A mi hermano y familia que siempre me han mostrado su solidaridad, a los que llevo siempre conmigo como el ejemplo de lo que me gustaría vivir en un futuro. Y a todos mis demás familiares quienes me tendieron sus manos cuando más les necesite, porque esta recompensa es fruto de las bendiciones por los que cada uno de ellos intercedió.

Muchas gracias a todos ustedes: profesores, amigos, compañeros y conocidos de quienes en más de una ocasión recibí una mano de ayuda, una palabra de consuelo, una bendición, una luz para mi camino, un oído para descargar mis penas y un segundo de su tiempo para compartir muy gratos momentos.

Este trabajo que es de mi compañero Denis y mío, se lo debo a mi madre, quien no es solamente un ejemplo sino un ideal de persona, este triunfo es también de ella.

Luis Kelman Belloso Huezo.

CONTENIDO

1. Introducción.....	7
2. Descripción General del Proyecto.....	8
3. Objetivos.....	10
3.1. Objetivo general.....	10
3.2. Objetivos específicos.....	10
4. Alcances.....	11
5. Limitaciones.....	12
6. Desarrollo del Sistema Medidor del Patrón de Radiación Parte I.....	13
6.1. Regulación de voltajes de alimentación.....	13
6.2. Sintonizador.....	17
6.2.1. Sintonizador de TV comercial.....	18
6.2.2. Segundo desplazamiento en frecuencia.....	24
6.3. Adquisidor de intensidad de señal y Demodulador.....	25
6.3.1. Adquisidor de intensidad de señal.....	25
6.3.2. Demodulador.....	27
6.4. Etapa de control.....	34
6.4.1. Circuito de re-inicialización (Reset).....	36
6.4.2. Circuito oscilador:.....	38
6.4.3. Manejo de escritura de datos y control de Pantalla de Cristal Líquido.....	39
6.4.4. Manejo de escritura y lectura de datos de teclado matricial.....	45
6.4.5. Variación del voltaje de atenuación.....	47
6.4.6. Comunicación serie por RS232.....	49
6.4.7. Comunicación SPI con sintonizador.....	52
7. Validación de resultados.....	58
7.1. Pruebas demostrativas con el módulo receptor.....	58

7.1.1. Validación de la capacidad de sintonizar una frecuencia determinada prefijando en el teclado del receptor la frecuencia del transmisor que se esté utilizando.	58
7.1.2. Validación de la capacidad de medir la variación de la potencia ubicando la antena en diferentes grados de ubicación con respecto a la misma ubicación del transmisor.	66
7.1.3. Validación del muestreo de intensidad de señal relativa en forma de porcentaje en una computadora de escritorio, por medio de la aplicación de comunicaciones hyperterminal de la misma.	74
7.1.4. Validación del funcionamiento del teclado de la aplicación.	78
8. Conclusiones.	80
9. Anexos.	82
9.1. Anexo 1: Código implementado en el microcontrolador.	82
9.2. Anexo 2: Palabras de comando de comunicación vía RS-232.	98
10. Referencias.	100

1. Introducción.

El presente documento está dedicado al diseño, construcción y manual de usuario de la Plataforma Automatizada de Medición de Patrones de Radiación de Antenas, Parte I.

El sexto capítulo explica las diferentes etapas del proyecto (Sintonizador, Etapa de control, Demodulador, Digitalización, procesamiento y transmisión de datos), la elaboración de circuitos impresos, su alimentación y conexionado de las diferentes etapas.

El séptimo capítulo detalla la utilización de la plataforma por medio de un teclado que está ubicado en la misma; el cual permite variar la frecuencia de sintonización y la atenuación de la señal recibida.

El noveno capítulo muestra los comandos de administración del proyecto vía remota; mediante comunicación serial RS232.

Los anexos muestran el código fuente de la etapa de control de la aplicación desarrollada.

2. Descripción General del Proyecto.

El nombre del proyecto es: Plataforma Automatizada de Medición de Patrones de Radiación de Antenas, Parte I. El cual ha sido diseñado para la captación de ondas electromagnéticas en un rango de frecuencias con el objetivo de utilizarlo como módulo didáctico de enseñanza en el diseño y construcción de antenas, de las cuáles se registra la intensidad de la señal relativa para luego obtener su respectivo patrón de Radiación.

En la presente Tesis se detalla el funcionamiento de la adquisición de datos de intensidad relativa en forma de porcentaje de una determinada señal tomando como referencia la antena que se conecte a la aplicación, la plataforma proporcionará un punto de medición equivalente al nivel de potencia recibido y además será transmitido por un puerto serial. Esta medición puede ser utilizada para elaborar el patrón de radiación de la antena u otros fines.

El sistema permite sintonizar una señal con modulación FM¹ comprendida en el rango de los 39.06 a los 999.96 MHz, la cual se fija por medio de un teclado matricial, además se puede obtener la intensidad de señal relativa de la señal sintonizada, a su vez ambos valores pueden visualizarse en una pantalla de cristal liquido. El sistema también puede demodular señales FM.

El receptor tiene la capacidad de acoplarse a antenas de 50 Ohms diseñadas para el rango de frecuencias de operación de la plataforma.

El proyecto se divide en las siguientes etapas:

- Sintonizador.

Se utiliza un sintonizador de TV comercial, el cuál es administrado por la etapa de control por medio de protocolo SPI². Esta etapa sintoniza la frecuencia que se le establece digitalmente.

¹ FM: Frecuencia Modulada.

² SPI: es un bus de comunicaciones serie. Su nombre viene de *Serial Peripheral Interface Bus* (Bus Serial de Interfaz de Periféricos).

- Etapa de control.

Consta de un microcontrolador que es utilizado para el manejo, envío y escritura de mensajes en la pantalla de cristal líquido y en envío de datos por medio de protocolo RS232, la escritura y cálculos de direcciones correspondientes a las frecuencias para el sintonizador y lectura de datos del teclado matricial, con las que se fija la frecuencia de sintonización.

- Adquisidor de nivel de señal RF y demodulador de Audio.

Esta etapa utiliza tecnología RSSI³ para la medición del nivel de señal. El demodulador permite obtener la información de audio de la señal portadora del transmisor que se está utilizando, siempre que se encuentre dentro del ancho de banda para el cual haya sido diseñado el módulo receptor.

³ Acrónimo de received signal strength indication que es una medida de la potencia presente en una señal de radio recibida. Utilizada comúnmente en la medición de señales en redes inalámbricas para la transmisión de datos de red como WIFI.

3. Objetivos.

3.1.Objetivo general.

Diseñar y construir un módulo didáctico para la recepción de una señal comprendida entre los 39.06 a 999.96 MHz y la medición de la potencia relativa de la misma, de acuerdo a la antena de prueba con las que se ejecuten las mediciones.

3.2.Objetivos específicos.

- Proveer al usuario de una interfaz que permita la visualización del valor de frecuencia y potencia relativa de la señal en forma de porcentaje que se desee monitorear en un LCD⁴.
- Sintonizar una frecuencia digitada por el usuario de la aplicación dentro de un rango de frecuencias de 39.06 a 999.96 MHz con una resolución de 0.1 MHz.
- Brindar un punto de medición de voltaje equivalente al nivel de la potencia relativa de la señal en estudio, en borners internos del proyecto.
- Transmitir los datos de potencia a un dispositivo por medio de protocolo RS-232.
- Modificar la atenuación de la potencia recibida por la antena.

⁴ LCD: Acrónimo de Liquid Crystal Display que en español se traduce como Pantalla de Cristal Liquido.

4. Alcances.

- Se diseñó y construyó un módulo receptor que opera en el rango de Frecuencias: de 39.06 – 999.96 MHz.
- La atenuación de la potencia recibida puede ser fijada en una de 16 escalas elegibles por el usuario de la aplicación.
- La escritura de la frecuencia por medio del teclado numérico o desde la interfaz tiene una resolución de 0.1 MHz.
- La modificación del valor de frecuencia con las teclas ascendente / descendente o desde la interfaz tiene una resolución de 0.06 MHz.
- La frecuencia puede ingresarse de forma numérica o por desplazamientos ascendentes / descendentes.
- Cuando el módulo se encuentra en funcionamiento se dispone de un indicador de frecuencia y potencia relativa en forma de porcentaje de la señal sintonizada en hardware y software (Hyperterminal).
- El diseño del módulo receptor dispondrá de bornes internos donde podrá ser medida la potencia relativa en base a voltaje.
- Se desarrolló una interfaz que tiene comunicación con un dispositivo por medio de puerto serie para la transmisión de datos de Mediciones de Potencia relativa en forma de porcentaje.
- El tipo de señal que se podrá demodular será FM.

5. Limitaciones.

- La interfaz desarrollada para la comunicación de datos con el hardware del módulo receptor es por medio de comunicación serial en protocolo RS232 con configuración de 9600 bps⁵, sin paridad, 8 bits de datos en trama, un bit de parada y sin control de flujo de datos.
- La calidad de la señal FM demodulada dependerá de las características de la antena en utilización, así como de la orientación y ubicación de la misma.
- La atenuación de la potencia recibida solo podrá ser fijada en desplazamientos ascendentes / descendentes por medio de teclas.
- La potencia obtenida por medio del módulo receptor es relativa del valor absoluto de la antena utilizada.
- La demodulación FM es de tipo monoaural.
- La impedancia de la antena en prueba debe ser de 50 Ohms.

⁵ bps: son las siglas de Bits Por Segundo.

6. Desarrollo del Sistema Medidor del Patrón de Radiación Parte I

El diseño de la Plataforma Automatizada de Medición de Patrones de Radiación de Antenas, Parte I, se ha efectuado en el desarrollo de tres tarjetas de circuito impreso las cuáles se detallan por medio de secciones individuales para delimitar el funcionamiento de las diferentes etapas del proyecto.

6.1. Regulación de voltajes de alimentación.

La fuente de alimentación utilizada para brindar la energía a todo el sistema es de tipo conmutada extraída de un equipo VHS⁶. La fuente se muestra en la figura 1.



Figura 1: Fuente de alimentación del módulo receptor.

Es importante denotar que los dispositivos con los cuáles se ha dado solución a la plataforma tienen especificaciones de utilización dadas por sus fabricantes, por lo que esta tarjeta nos permite ajustar los niveles de voltaje de los módulos de adquisición de datos digitales, de sintonización y adquisición de intensidad de señal porcentual. El diagrama esquemático de esta tarjeta se puede apreciar en la figura 2.

Los voltajes obtenidos en el conector Source VHS son los que proporcionará la fuente de alimentación conmutada los cuáles se describen en la tabla 1.

⁶ Siglas de Video Home System, es un sistema de grabación y reproducción analógica de audio y video

Pinado	Voltaje de entrada
SOURCE-1	+ 39 V
SOURCE-2	+ 12 V
SOURCE-3	+ 5 V
SOURCE-4	GND
SOURCE-5	- 20 V
SOURCE-6	NC

Tabla 1: Voltajes de alimentación para tarjeta de regulación de alimentación.

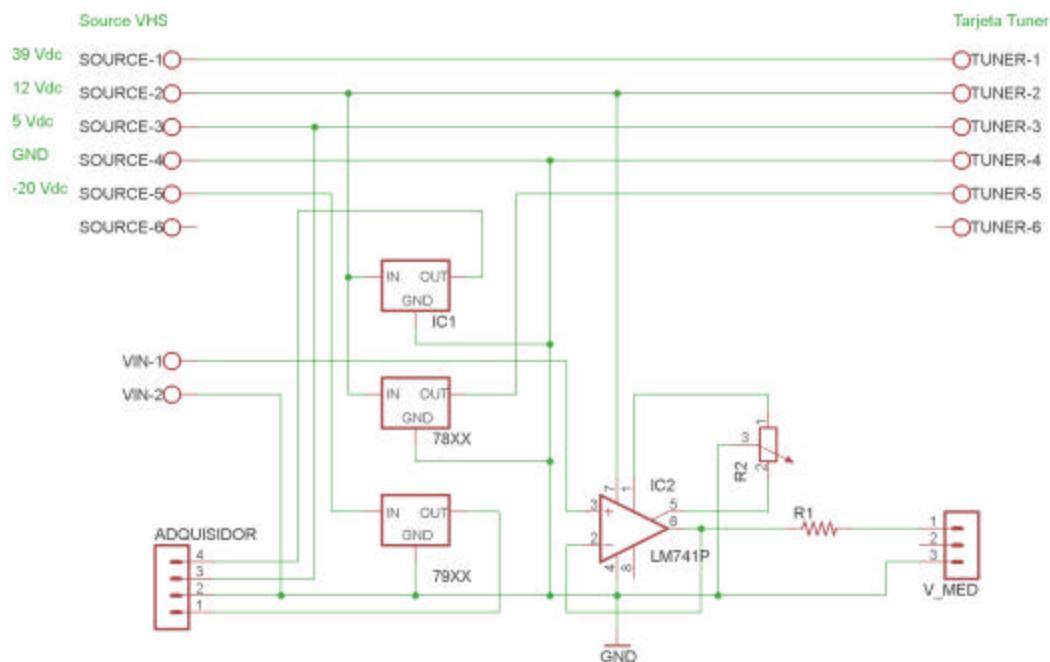


Figura 2: Diagrama esquemático de tarjeta de regulación de alimentación.

Como puede observarse en la figura 2 los voltajes distribuidos hacia la tarjeta de sintonización y adquisición de intensidad de señal son los que se muestran en la tabla 2.

Pinado	Voltaje de salida
Tuner-1	+ 39 V
Tuner-2	+ 12 V
Tuner-3	+ 5 V
Tuner-4	GND
Tuner-5	+ 6 V
Tuner-6	NC

Tabla 2: Voltajes de alimentación tarjeta Sintonizador.

Los voltajes distribuidos hacia la tarjeta de adquisición de datos son los detallados en la tabla 3.

Pinado	Voltaje de salida
1	- 12 V
2	GND
3	+ 5 V
4	+ 10 V

Tabla 3: Voltajes de alimentación tarjeta de adquisición de datos.

Existen además dos conectores que se ocupan para la etapa de protección contra cortocircuito (en caso de suceder) de la intensidad de señal relativa de salida en forma de voltaje, uno para la entrada de esta etapa (Conector VIN) y el último para su salida (Conector V_MED). Los cuáles están conectados de acuerdo a la especificación de las tablas 4 y 5 respectivamente.

Conector	Pinado	Descripción
VIN	1	Voltaje de entrada
	2	GND

Tabla 4: Descripción de interconexiones de conector VIN.

Conector	Pinado	Descripción
V_MED	1	Voltaje de salida
	2	NC
	3	GND

Tabla 5: Descripción de interconexiones de conector V_MED.

La ubicación de los componentes referidos a la tarjeta de regulación de voltajes de alimentación se muestra en la figura 3. Los PCB⁷ se muestran en las figuras 4, 5 y 6.

La descripción de componentes se muestra en la tabla 6:

Elemento	Descripción
R1	Resistencia de 10k?
78XX	Regulador de voltaje positivo 7806
IC1	Regulador de voltaje positivo 7810
79XX	Regulador de voltaje negativo 7912
R2	Potenciómetro de 10k?
IC2	Amplificador operacional LM741

Tabla 6: Descripción de componentes de tarjeta de regulación de voltajes de alimentación.

⁷ Siglas de Printed Circuit Board que se traduce como tarjeta de circuito impreso.

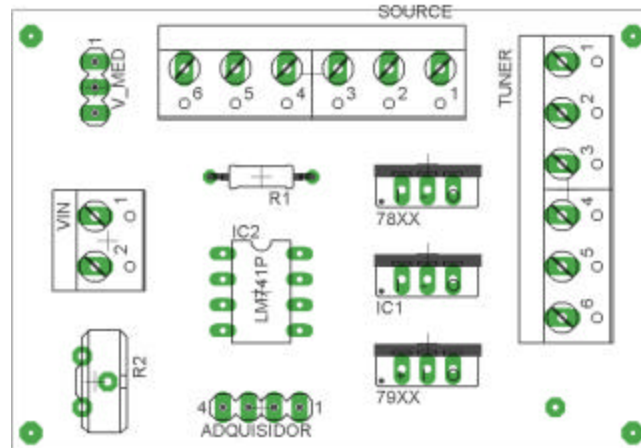


Figura 3: Ubicación de componentes en PCB de regulación de voltajes de alimentación.

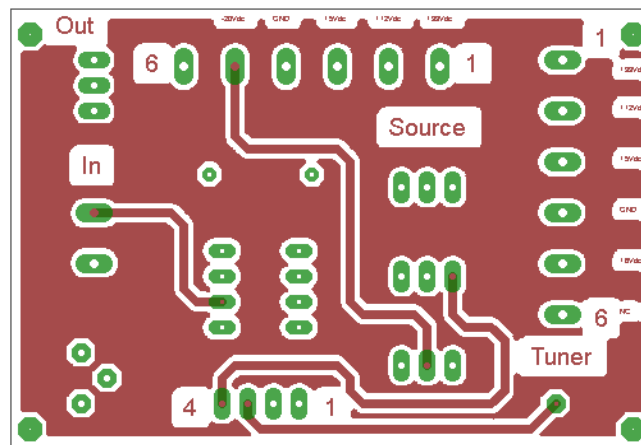


Figura 4: Vista superior de PCB de regulación de voltajes de alimentación.

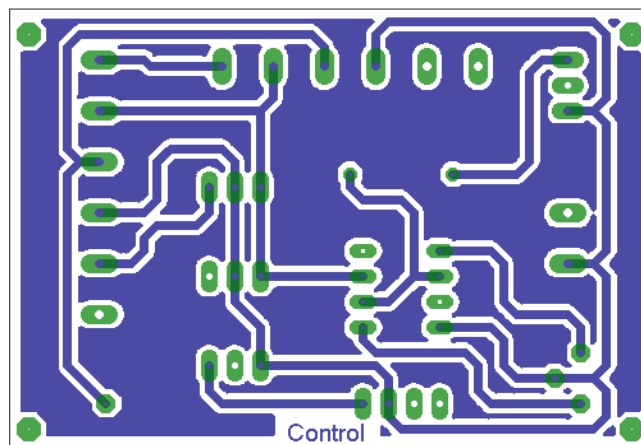


Figura 5: Vista inferior de PCB de regulación de voltajes de alimentación.

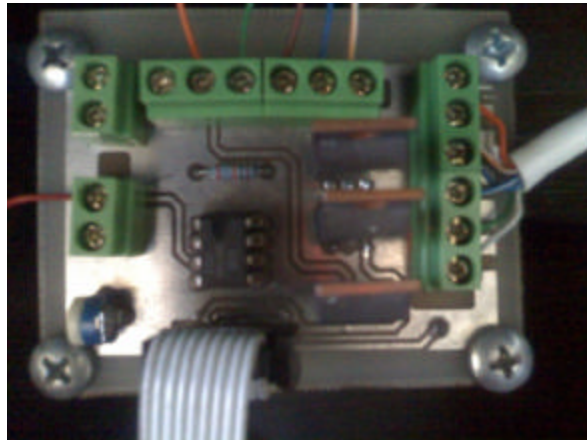
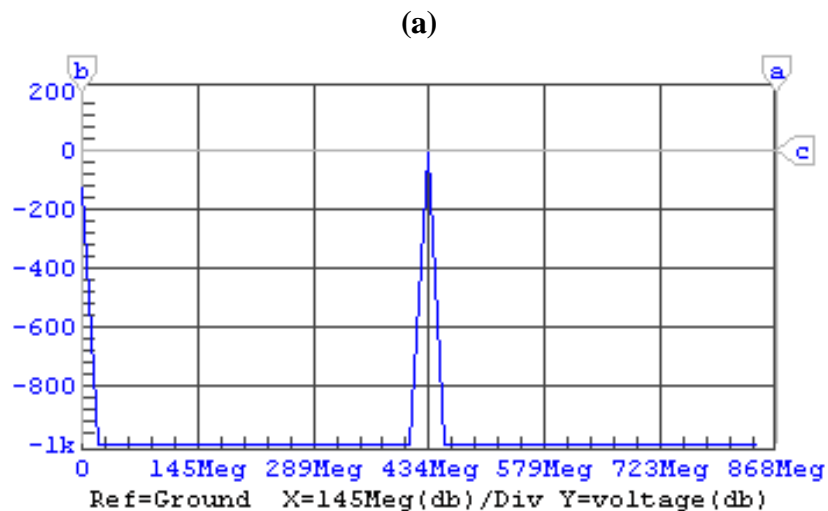


Figura 6: Forma física de PCB de regulación de voltajes de alimentación ya terminado.

6.2. Sintonizador.

Este módulo tiene la función de sintonizar una señal en el rango de 39.06 a 999.96 MHz desplazando dicha señal a una FI de 50.45 MHz, dicha FI⁸ está determinada por el sintonizador utilizado. Esta señal es sometida a un nuevo proceso de mezclado mediante un oscilador interno del circuito integrado SA615 con el objetivo de desplazar la señal a 455 kHz, ya que este mezclador contiene un oscilador de 50 MHz, dicho proceso se muestra en sus diferentes etapas en la figura 7.



⁸ FI: Frecuencia intermedia.

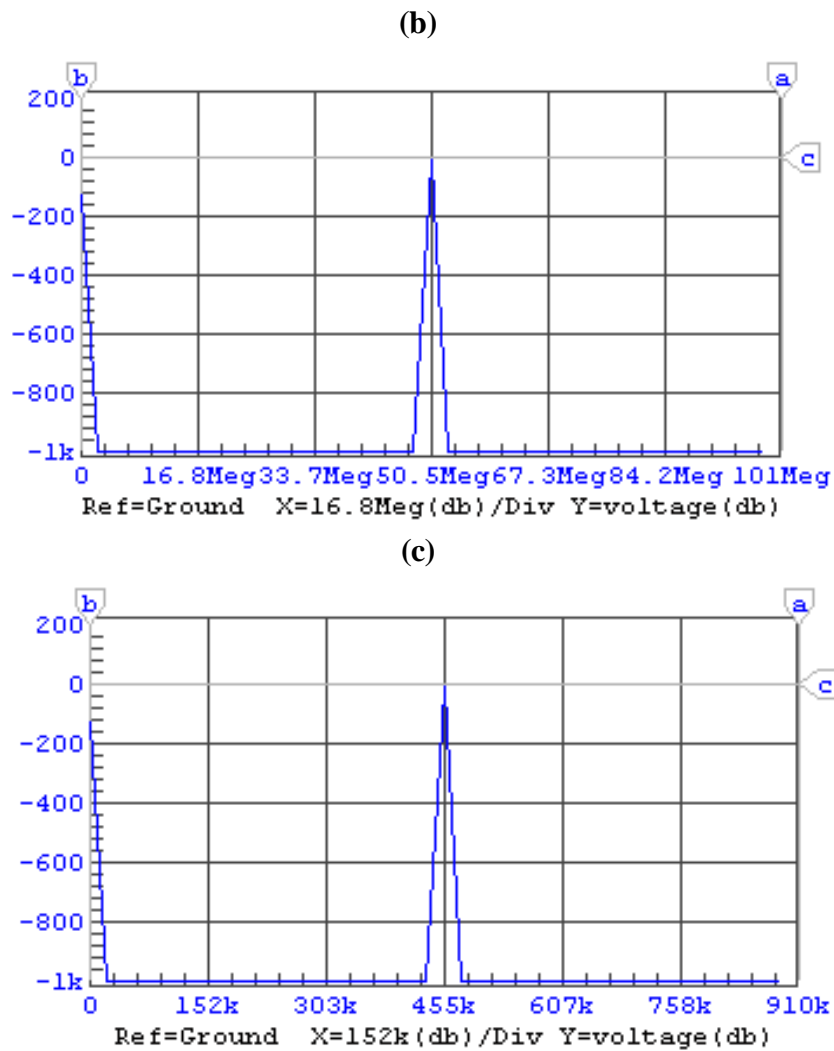


Figura 7: Espectros de las diferentes etapas del proceso de sintonización. (a) Señal de ejemplo a sintonizar en 434 MHz, (b) Desplazamiento en frecuencia de la señal a 50.45 MHz realizado por el mezclador interno del sintonizador denominado para el proyecto FI1, (c) Segundo desplazamiento en frecuencia por medio del mezclador interno del SA615 a 455 kHz denominado FI2.

6.2.1. Sintonizador de TV comercial.

Para el diseño de la etapa del sintonizador se decidió utilizar un sintonizador de TV comercial (VTSH6UZ78) porque brinda las condiciones necesarias para sintonizar una señal por medio de un control digital descrito en la sección 6.4.7.

La figura 8 muestra el diagrama en bloques simplificado de un sintonizador. La señal de RF⁹ entra a un filtro de diferentes bandas antes de pasarlo a los mezcladores. Hay dos mezcladores, uno para la banda UHF¹⁰ y otro para la banda VHF¹¹. El oscilador de VHF se divide en dos bandas BL y BH. La banda puede ser seleccionada con los pines de selección de bandas: BL, BU, BH. La frecuencia de los osciladores se controla por un voltaje llamado VT¹². La salida de los mezcladores es la señal FI. La frecuencia de la FI se diferencia de estándares europeos de la norma estadounidense, los sintonizadores Europeos tiene una FI de 38.9 MHz y el americano es 45.75 MHz, para el diseño de la plataforma realizada esta frecuencia intermedia es de 50.45 MHz, la cual denominaremos como FI1 de nuestra plataforma.

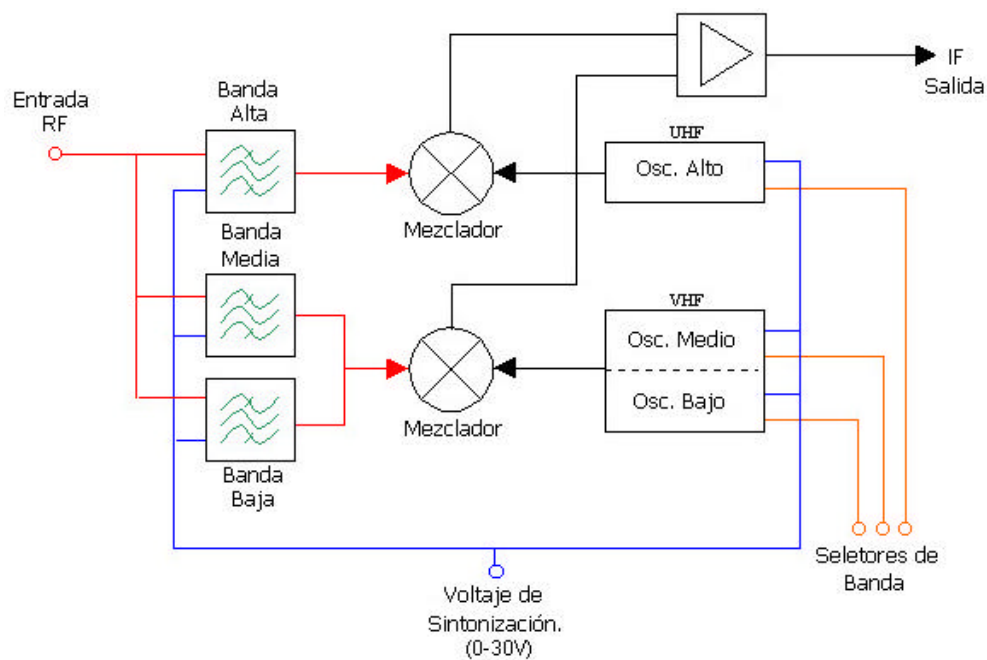


Figura 8: Diagrama en bloques del sintonizador.

La entrada externa de AGC¹³ controla la ganancia de la señal, esta entrada permitirá a la aplicación atenuar la señal sintonizada según sean las condiciones de captación que tenga el

⁹ Acrónimo de Radio Frecuencia.

¹⁰ Siglas de Ultra High Frequency o en su traducción Ultra Alta Frecuencia.

¹¹ Acrónimo de Very High Frequency que traducido del inglés significa Muy alta Frecuencia.

¹² Voltaje de sintonización de su acrónimo del inglés Voltage Tuning.

¹³ Siglas de Automatic Gain Control o Control de Ganancia Automático.

usuario, esta entrada será acondicionada por la tarjeta de control descrita en la sección 6.4.5. Este efecto de la señal AGC abarca muchos componentes en el sintonizador de modo que no se ha dibujado en el diagrama de bloques para no complicar el mismo. La entrada interna de la AFC¹⁴ ajusta la frecuencia del oscilador. Esta entrada es una retroalimentación del circuito de Video-IF para obtener un ajuste más fácil, parte que también ha sido excluida.

El sintonizador de TV comercial contiene internamente dos circuitos integrados, el primero de ellos es el encargado del mezclado y de la selección de bandas en el diagrama de bloques de la parte izquierda de la figura 9, el segundo integrado es la interfaz de control digital que maneja las bandas y el VT del sintonizador; este integrado (MC44817D) tiene entradas digitales de comunicación bajo protocolo SPI de tramas de 34 bits para configuración inicial o de 19 bits para cambios de frecuencia de sintonización del mismo, las cuáles se detallan en las figuras 12 y 13 respectivamente.

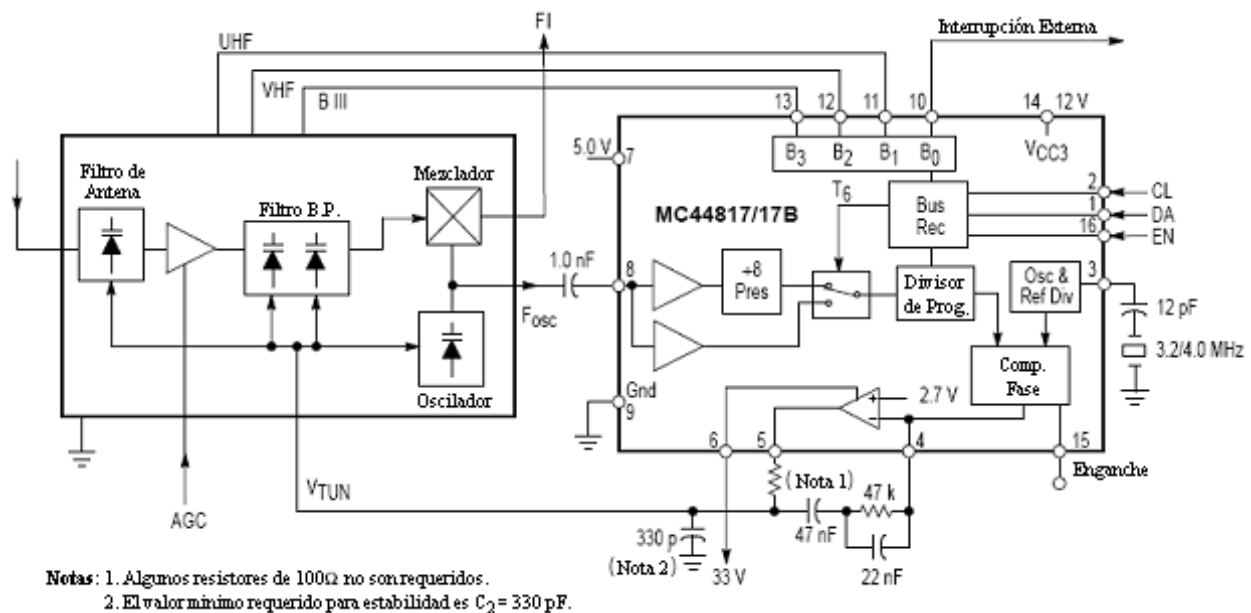


Figura 9: Circuito típico de aplicación en sintonización del integrado MC44817D¹⁵.

Para la descripción del conexionado del sintonizador se ha incluido el pinado del mismo en la figura 10 y su forma física en la figura 11.

¹⁴ Acrónimo de Control automático de Frecuencia.

¹⁵ Imagen tomada de página 7 de hoja técnica de IC MC44817D.

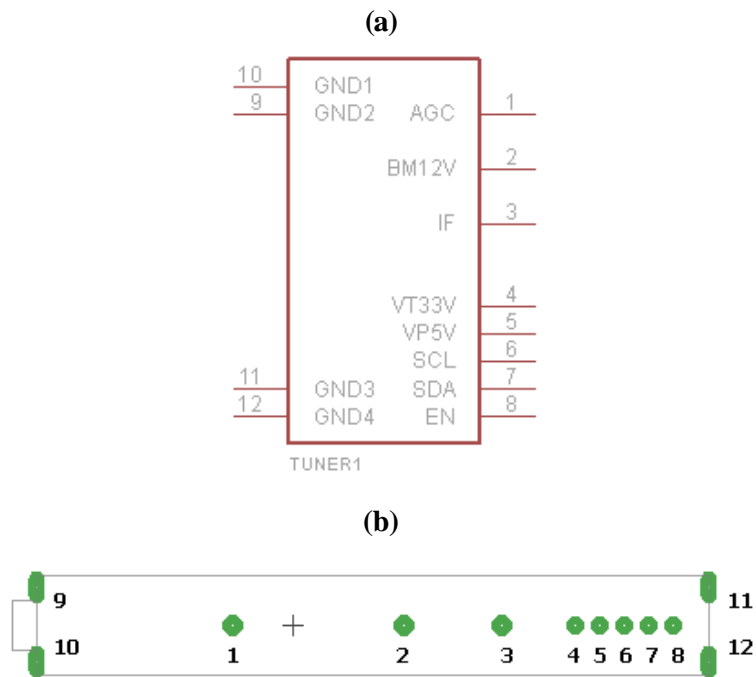


Figura 10: Pinado de l sintonizador comercial VTSH6UZ78.

(a) Símbolo esquemático. (b) Configuración de pines.

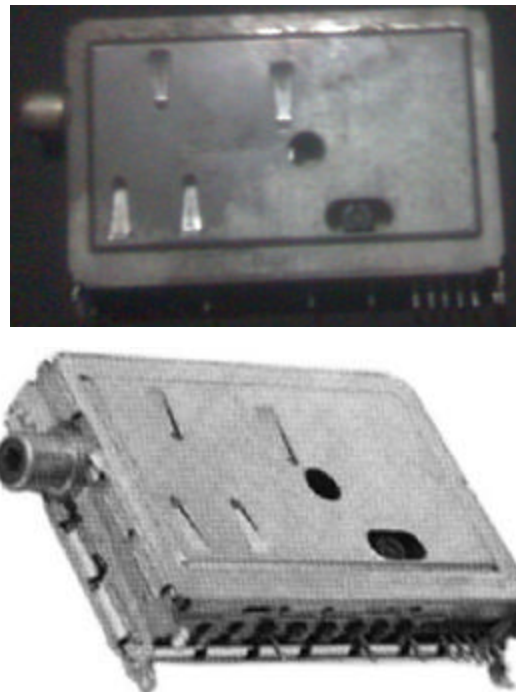


Figura 11: Forma física del sintonizador de TV comercial VTSH6UZ78.

Los pines 4 al 8 del sintonizador tienen comunicación interna directa con el integrado MC44817D, el cual utiliza dos tipos de tramas para comunicación, la primera de ellas es la de seteo de frecuencias, bandas y configuración inicial la cual se identifica en la figura 12 y solo se utiliza para configurar el sintonizador una vez al encender la aplicación y la segunda es de establecimiento de bandas y frecuencias que será la utilizada en el movimiento de frecuencias deseadas, identificada en la figura 13.

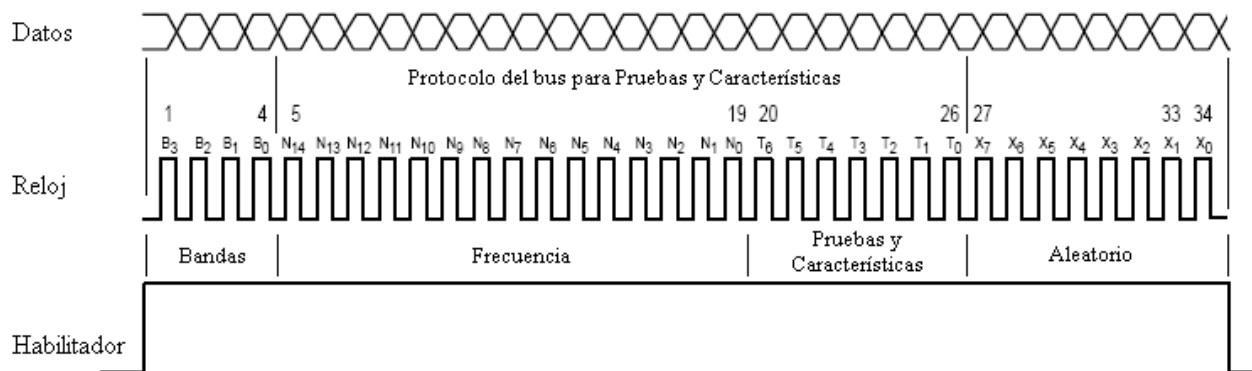


Figura 12: Trama de configuración inicial¹⁶ del integrado MC44817D.

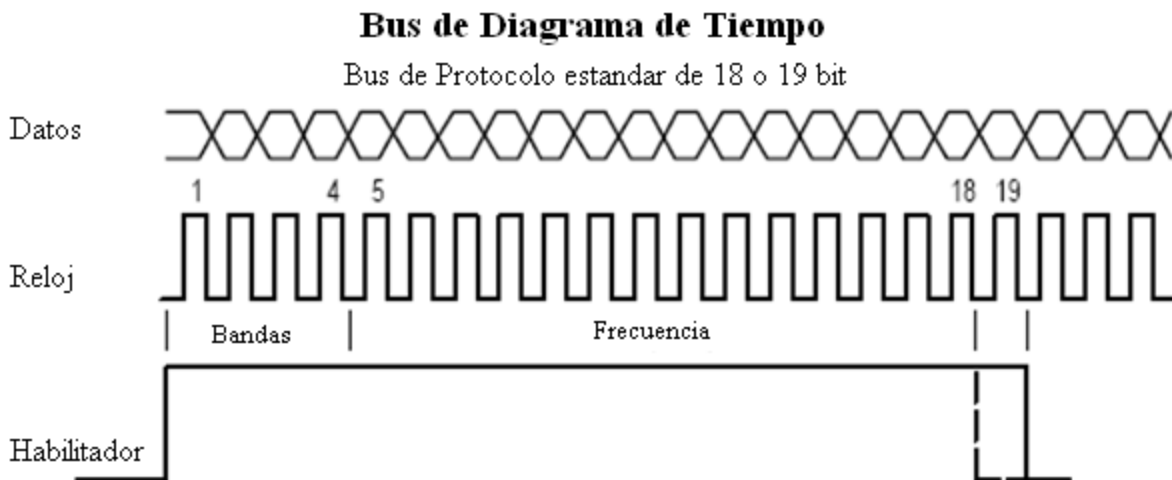


Figura 13: Trama de comunicación de establecimiento de frecuencias del integrado MC44817D.

La identificación de los bits de las tramas se detalla en la tabla 7.

¹⁶ Imágenes de figuras 12 y 13 han sido tomadas de página 6 de hoja técnica de IC MC44817D.

Datos	Código	Descripción
B3-B0	0001	Selección de banda BL (80 – 150 MHz)
	0010	Selección de banda BH (150 – 600 MHz)
	0011	Selección de banda BU (600 – 1300 MHz)
N14-N0	- - - - -	Pre-escala de frecuencias, código para seteo de frecuencia
T6-T0	0000000	Configuración
X7-X0	00000000	Valores aleatorios, indiferentes.

Tabla 7: Identificación de bits de tramas de 19 y 34 bits para integrado MC44817D.

Cabe mencionar que solo se describe la configuración utilizada para nuestra aplicación, en los datos T6-T0.

Para la sintonización de una señal en una frecuencia determinada se realiza la siguiente especificación de bits, se utilizará como ejemplo de sintonización la frecuencia 434.0 MHz porque se dispone en los laboratorios de la universidad de un transmisor a dicha frecuencia, el cuál será utilizado para la validación de resultados del proyecto, a la fecha de realización del presente documento.

Como la frecuencia a sintonizar está comprendida en la banda BH tal como se indico en la tabla 7 en la sección de datos B3=0, B2=0, B1=1 y B0=0. El oscilador local del sintonizador deberá de colocarse a 434 MHz más FII que en nuestro diseño es 50.45 MHz, dando como resultado 484.45 MHz. Para encontrar el código a transmitir se tomará en cuenta el paso mínimo de frecuencia dado por el cambio de bit proporcionado por el fabricante de 62.4 kHz, por tanto el código a escribir sobre el MC44817D se obtendrá al dividir los 484.45 MHz entre 62.4 kHz que da como resultado 7764 pasos y cuyo valor hexadecimal equivalente es 1E54, que es el dato a enviar después de la banda seleccionada en los dígitos N. Por lo tanto la trama a enviar en un solo paquete de 19 bits sería: 0010001111001010100 tal como lo indica la figura 14.

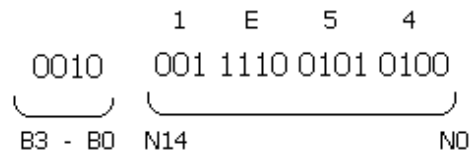


Figura 14: Representación de bits a enviar en seteo de frecuencias o trama de 19 bits.

6.2.2. Segundo desplazamiento en frecuencia.

Esta etapa solo consta de un segundo mezclador que se encuentra al interior del integrado SA615, cuya entrada es FI1 la cual es proporcionada por el sintonizador VTSH6UZ78. Dicho mezclador interno se encarga de desplazar la señal del sintonizador a 455 kHz o FI2 para el proyecto, debido a que el oscilador externo conectado al integrado es de 50 MHz, tal como se aprecia en las figuras 15 y 16.

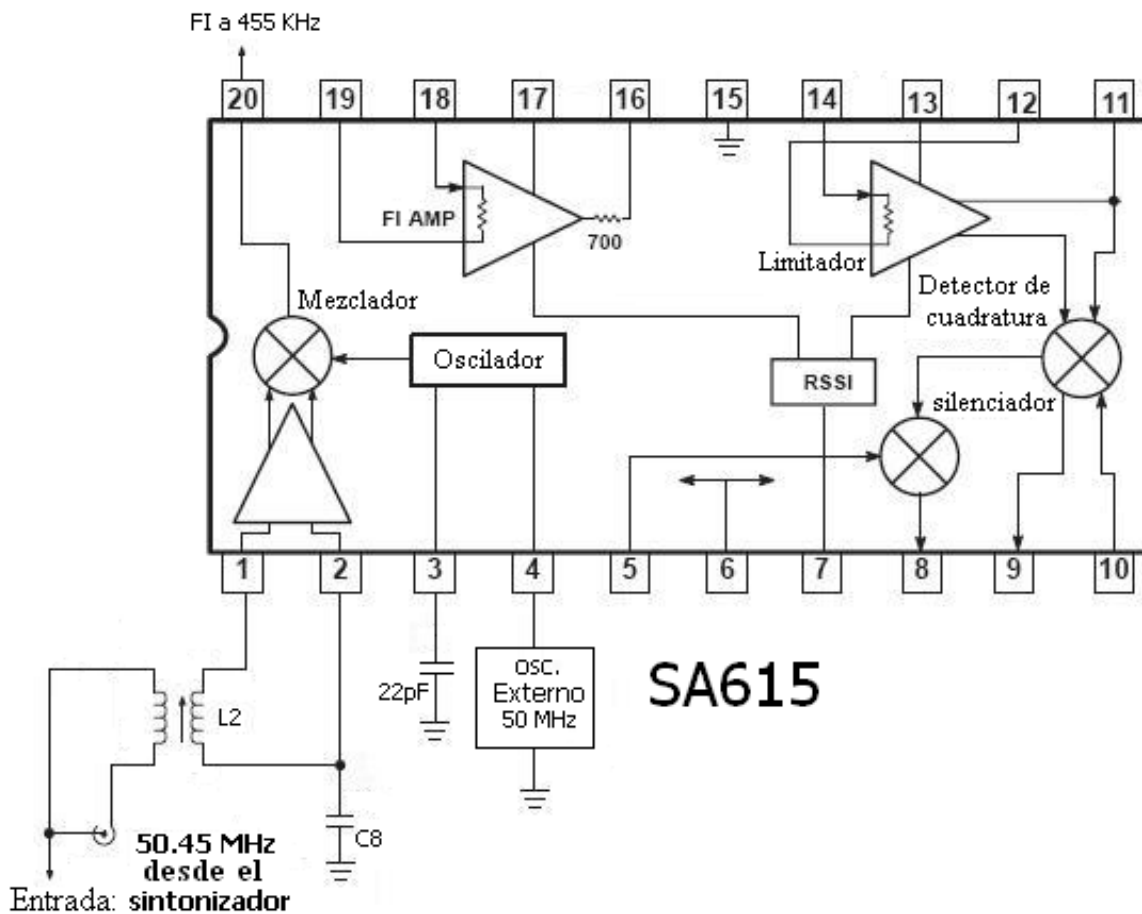


Figura 15: Diagrama esquemático de etapa de segundo mezclador.

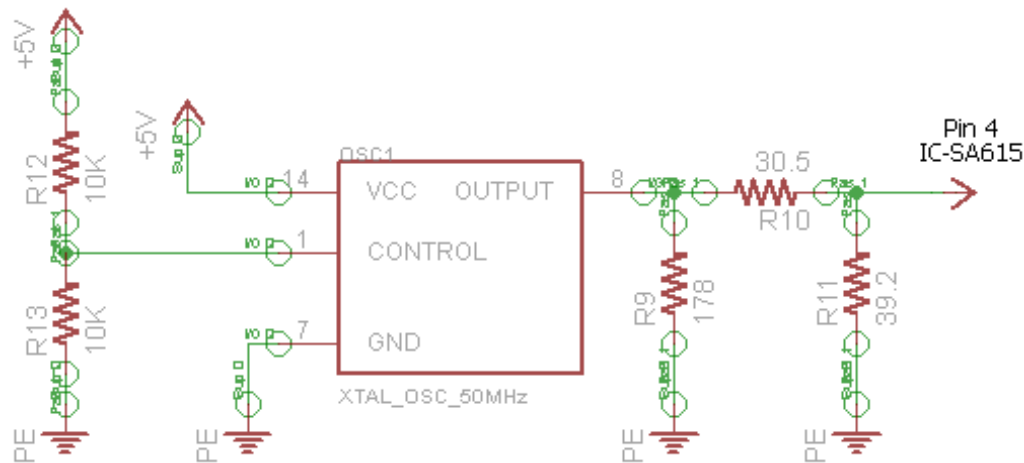


Figura 16: Diagrama esquemático del oscilador externo de 50MHz.

6.3. Adquisidor de intensidad de señal y Demodulador.

Esta etapa es una de las más significativas dentro del proyecto debido a que ésta proporciona los niveles de intensidad de señal relativa, los cuales se mostraran en la LCD de la plataforma, que luego podrían ser utilizados como para realizar el respectivo patrón de radiación de la antena utilizada como ejemplo de una de las posibles aplicaciones.

6.3.1. Adquisidor de intensidad de señal.

En esta etapa se trata la señal FI2 la cual es pasada por dos cristales cerámicos a 455kHz cada uno con su respectiva etapa de amplificación, para eliminar frecuencias no deseadas. En la etapa de RSSI el integrado realiza una comparación de la señal secundaria de cada amplificador a los que es sometida FI2. El integrado permite medir la potencia relativa en un rango de 0 a 6 MHz por medio de tecnología RSSI como la indica la figura 17.

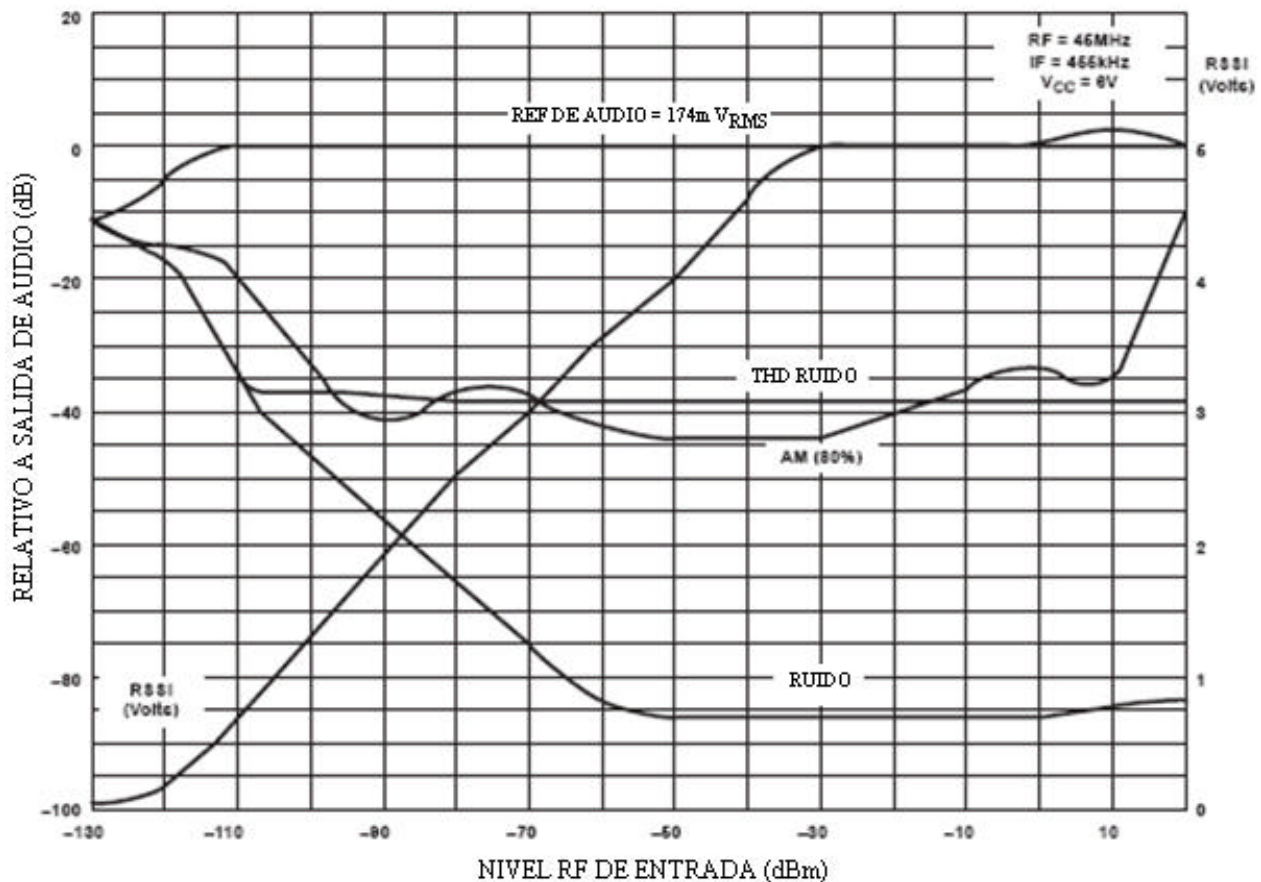


Figura 17: Gráfico de medición de potencia por medio RSSI¹⁷.

Para obtener el nivel de señal relativa se ha hecho uso del circuito típico recomendado por el fabricante del SA615 el cual se muestra en la figura 18, lo primero que se encuentra en el diagrama esquemático es la señal aplicada a un primer filtro cerámico IFT1 de 455 kHz que selecciona la señal de audio y elimina frecuencias parásitas que pudiera llevar la señal. Esta señal pasa al primer amplificador de FI2 a través del pin 18 del SA615. Los condensadores C15 y C16 conectados a los pines 19 y 17, cortocircuitan la componente alterna de la señal a tierra. El papel de la resistencia R15 (430 Ω) es el de reducir la impedancia de entrada al primer amplificador de FI2, ya que la resistencia interna de éste es de 1.5 K Ω . Al estar las dos en paralelo la impedancia final es de 330 Ω , siendo esta una reducción de la impedancia recomendada por los fabricantes para la salida de los filtros cerámicos.

¹⁷ La figura 17 ha sido tomada de página 9 de hoja técnica de IC SA615.

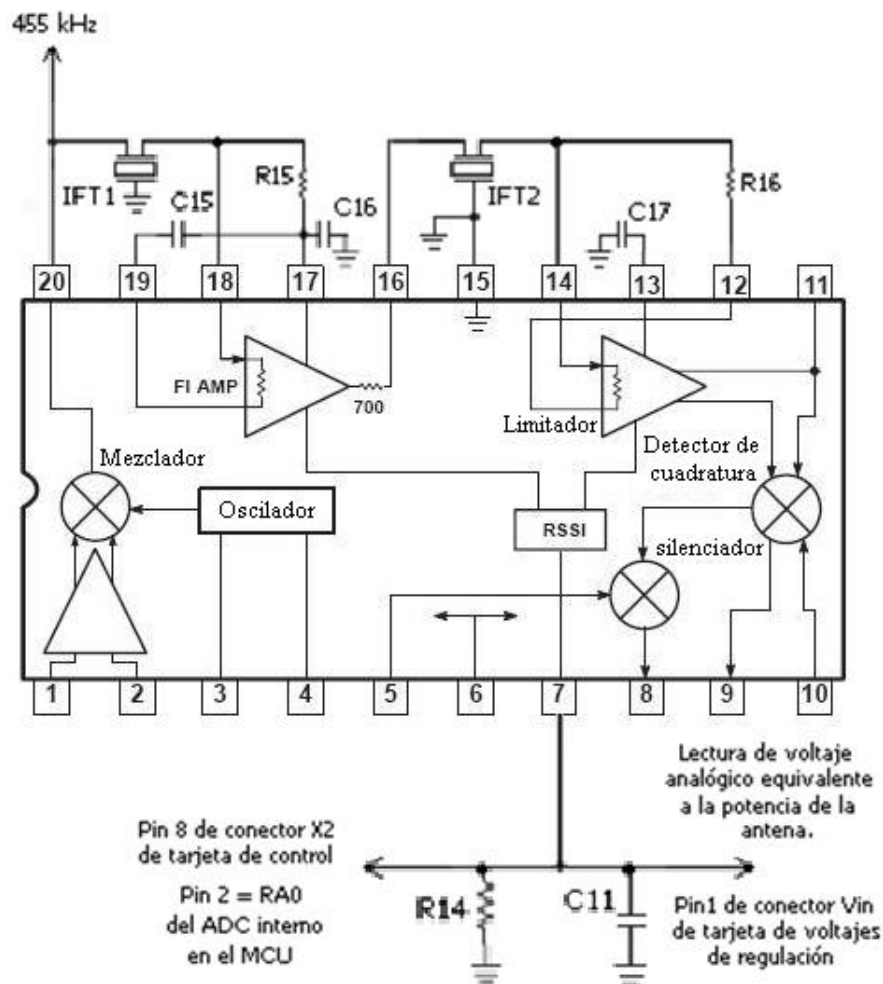


Figura 18: Diagrama esquemático de adquisidor de potencia relativa.

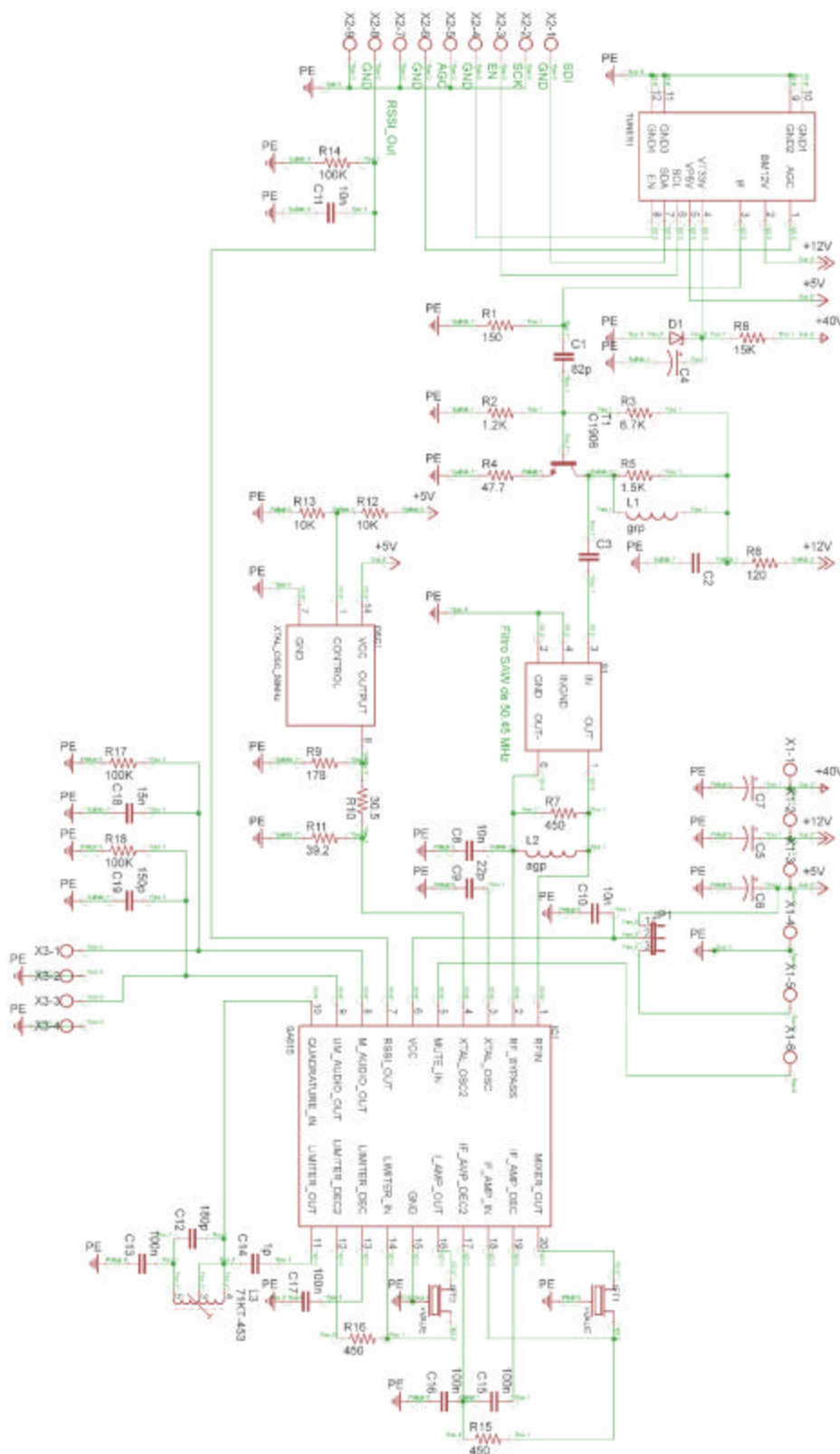
A la salida del primer amplificador de FI2 (pin 16), la señal entra por un segundo filtro cerámico IFT2, de iguales características que IFT1. Tras pasar por él, se introduce por el pin 14 que corresponde a la entrada del segundo amplificador limitador de FI2. De nuevo, la resistencia R16 colocada a la salida de IFT2, reduce a 330 Ω la impedancia vista por éste. El pin 13 está cortocircuitado en alterna a tierra por el condensador C17.

6.3.2. Demodulador.

El proceso de demodulación FM se realiza por medio de un demodulador de cuadratura ubicado internamente en el IC SA615. Este circuito es el encargado de demodular la señal de audio que se encuentra modulada en FM sobre una portadora de 455 kHz. Al ser la modulación de audio una

Figura 20:

Diagrama



esquemático de etapas comprendidas en secciones 6.2 y 6.3.

El diseño del circuito impreso de las etapas descritas en las secciones 6.2 y 6.3 fue elaborado en una sola tarjeta, el diagrama esquemático de la misma se muestra en la figura 20, su correspondiente PCB se detalla en las figuras 21, 22 y 23.

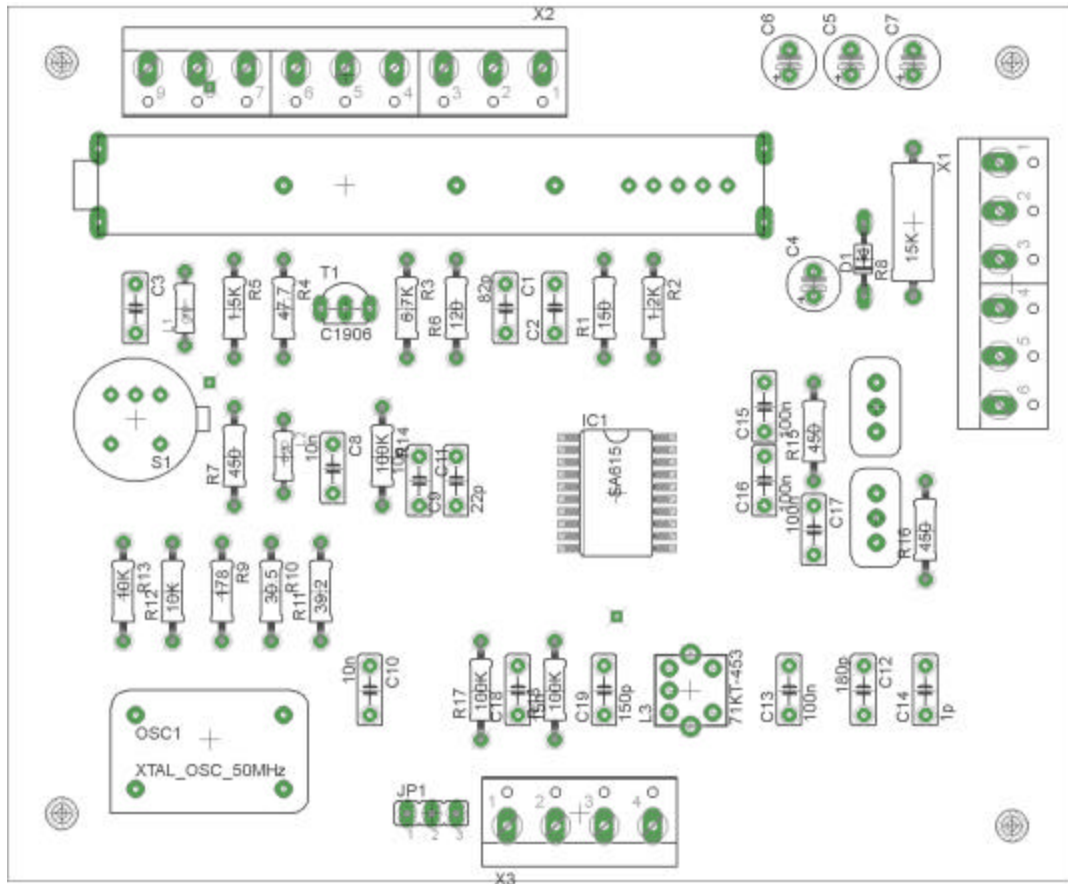


Figura 21: Ubicación de elementos de sintonizador, demodulador y Adquisidor de Potencia.

Para la alimentación del PCB correspondiente al diagrama esquemático de la figura 20 se ubicó el conector X1 con la descripción de pines que muestra la tabla 8:

Pinado	Voltaje de entrada
X1-1	+ 39 V
X1-2	+ 12 V
X1-3	+ 5 V
X1-4	GND
X1-5	+ 6 V
X1-6	Silenciador de Audio

Tabla 8: Voltajes de alimentación en conector X1 para PCB de sintonizador,

demodulador y Adquisidor de intensidad de señal

Para la interconexión entre la etapa de control de la sección 6.4 y el PCB de las figuras 21, 22 y 23 se colocó un conector con la descripción de pines mostrados en la tabla 9.

Pinado	Entrada / Salida	Descripción
X2-1	Entrada	SDI
X2-2	Alimentación	GND
X2-3	Entrada	SCK
X2-4	Entrada	EN
X2-5	Alimentación	GND
X2-6	Entrada	AGC
X2-7	Alimentación	GND
X2-8	Salida	RSSI_Out
X2-9	Alimentación	GND

Tabla 9: Descripción de pines de conector X2 en PCB de las figuras 21, 22 y 23.

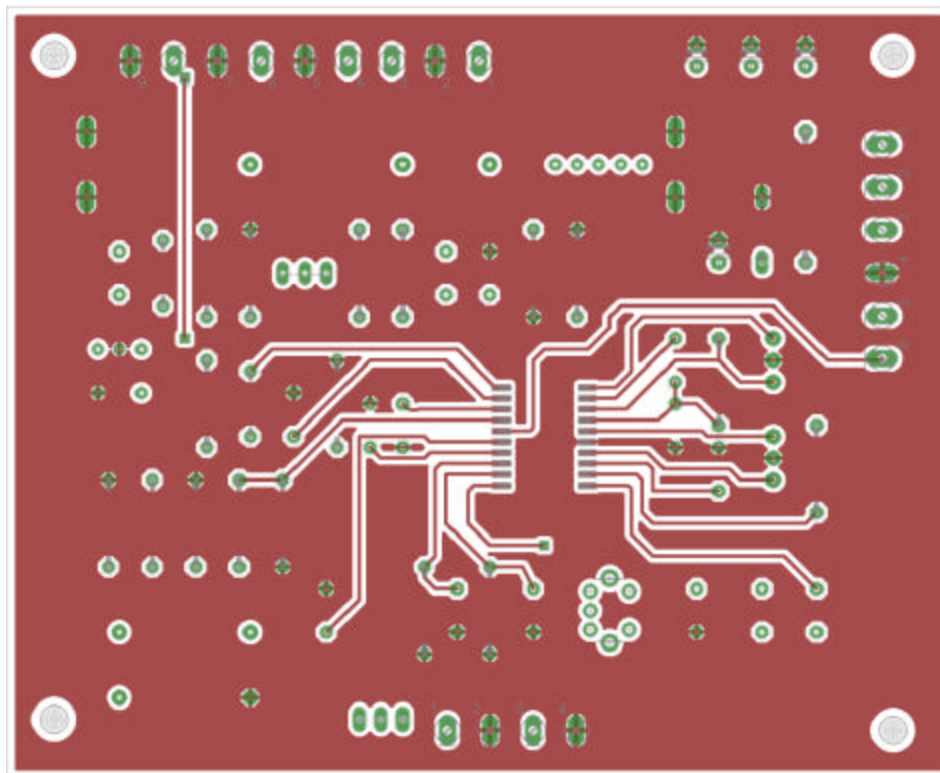


Figura 22: Vista superior de PCB de sintonizador, demodulador y Adquisidor de Potencia.

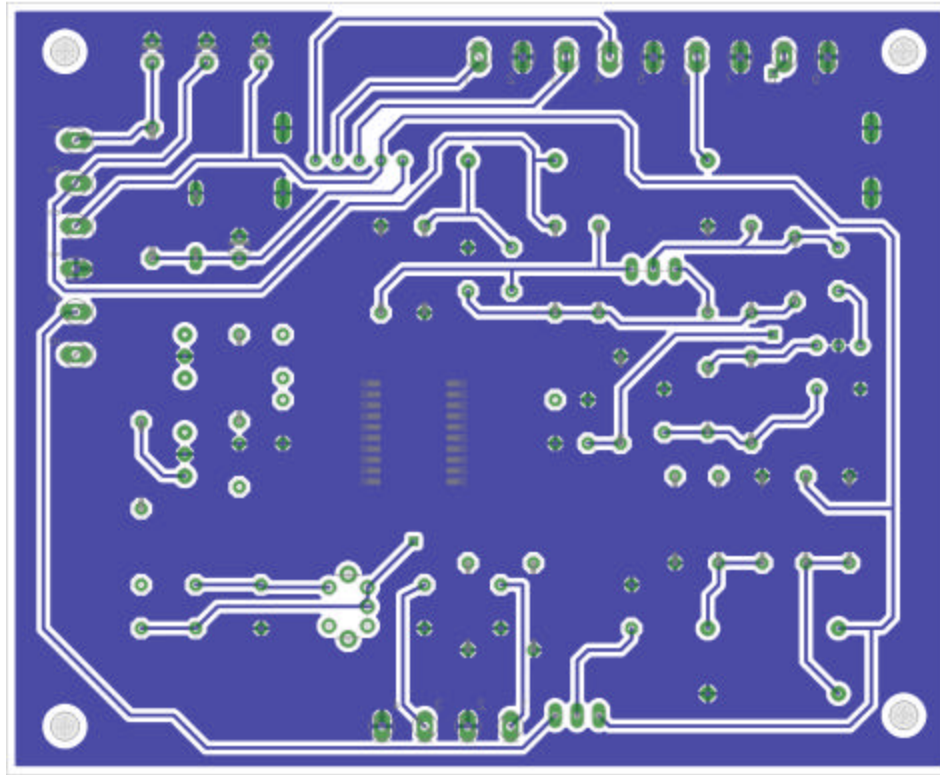


Figura 23: Vista inferior de PCB de sintonizador, demodulador y Adquisidor de Potencia.

El conector X3 podrá ser ocupado para la obtención de audio obtenido a partir de la señal sintonizada, dicho conector se detalla en la tabla 10.

Pinado	Descripción
X3-1	Salida de audio silenciado.
X3-2	GND
X3-3	Salida de audio.
X3-4	GND

Tabla 10: Descripción de pines conector X3 en PCB de las figuras 21, 22 y 23.

Durante la construcción del PCB se fueron tomando imágenes que describen el proceso de implementación del sintonizador, demodulador y Adquisidor de Potencia que se muestra en las figuras 24, 25 y 26.

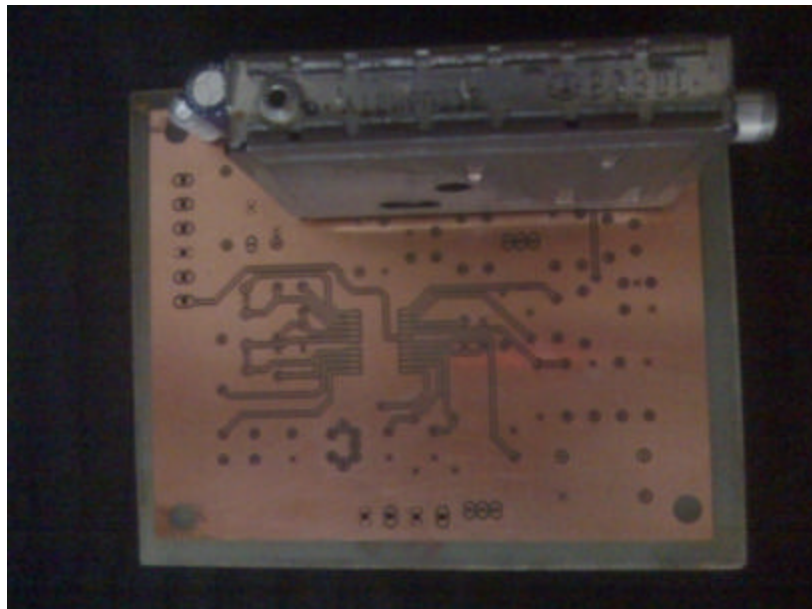


Figura 24: Vista superior de PCB después de soldar el sintonizador y algunos condensadores.



Figura 25: Vista superior de PCB con los componentes montados sobre la misma.

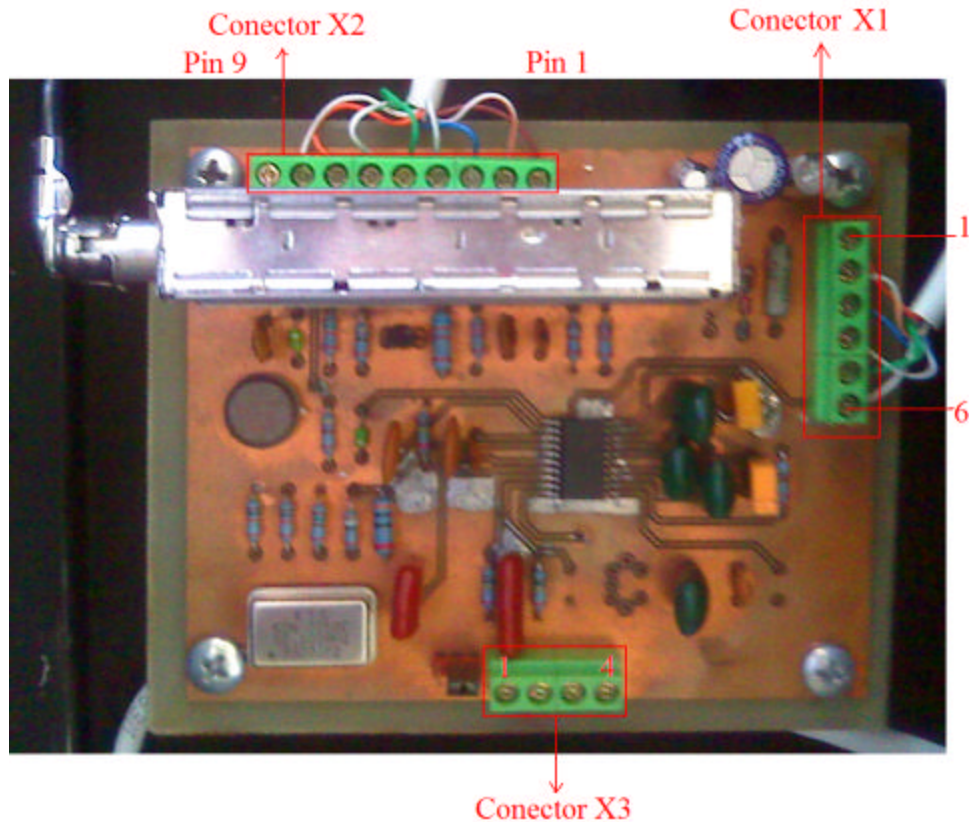


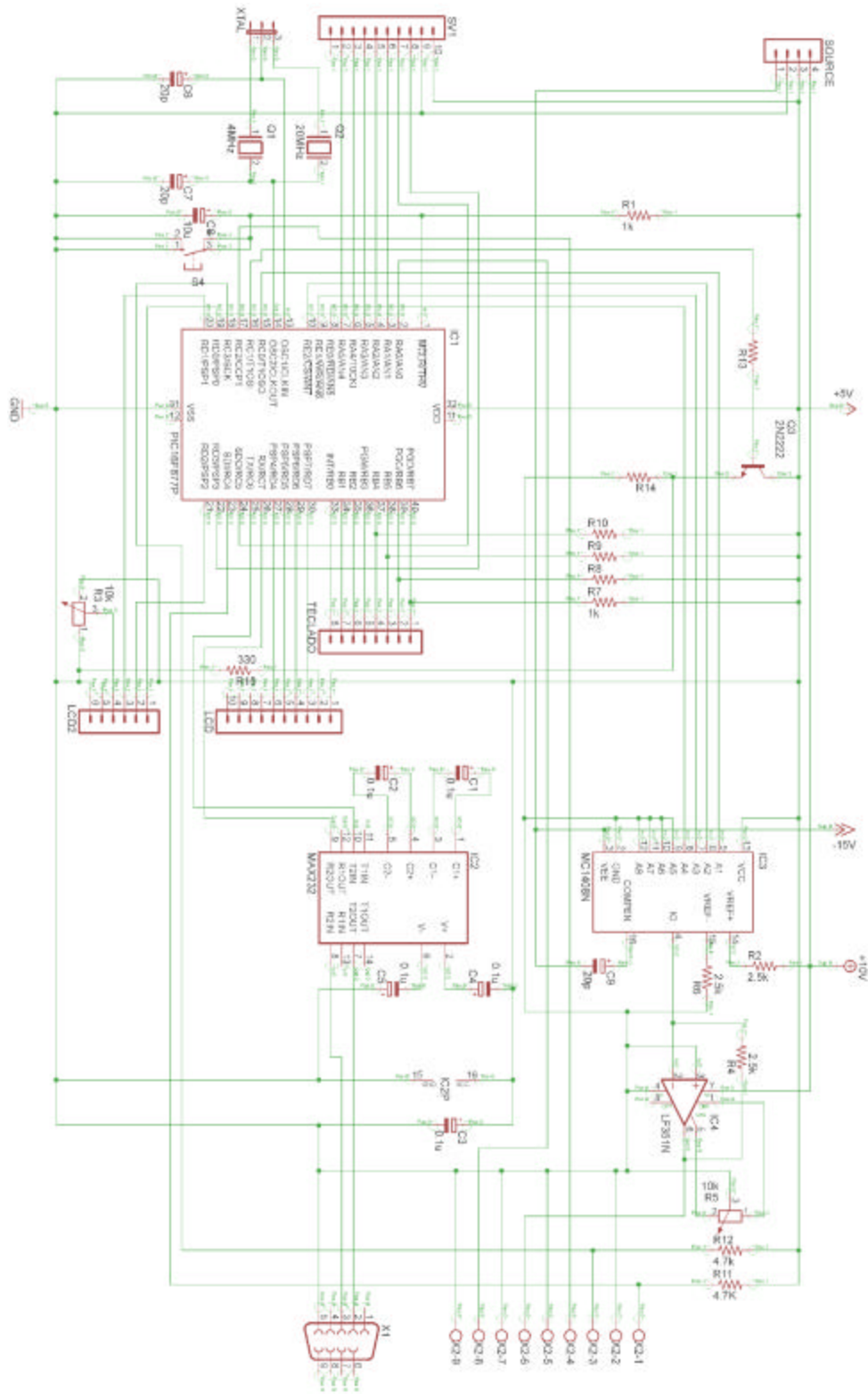
Figura 26: Vista superior de PCB con la descripción de conectores.

6.4. Etapa de control.

Esta etapa consta de un microcontrolador PIC16F877A (con su respectivo circuito de reset y oscilador) que es utilizado para el manejo, envío y escritura de mensajes en la pantalla de cristal líquido y en envío de datos por medio de protocolo RS232, la escritura y cálculos de direcciones correspondientes a las frecuencias para el sintonizador, lectura de datos del teclado matricial con las que se fija la frecuencia de sintonización y variación del voltaje de atenuación para el AGC del sintonizador, el diagrama esquemático completo de esta etapa se muestra en la figura 27.

Figura
Diagrama

27:



esquemático de tarjeta de control.

En la tabla 11 se especifica la conexión de todos los pines del microcontrolador PIC16F877A utilizado en la etapa de control:

Microcontrolador PIC16F877A			
Pin	Puerto	Entrada / Salida	Descripción
1	MCLR/THV	Entrada	Reset externo del dispositivo.
32, 11	VDD	Entrada	Alimentación Positiva a +5v del microcontrolador.
31, 12	VSS	Entrada	Alimentación Negativa a GND del microcontrolador.
13, 14	CLKIN, CLKOUT	Entrada, Salida	Pines de oscilación de reloj del PIC16F877A.
2	RA0	Entrada	Lectura analógica de potencia.
15, 10-8	RC0, RE2-RE0	Salidas	Datos digitales para realizar DAC para AGC.
37-40	RB7-RB4	Salidas	Escritura de datos para teclado matricial.
33-36	RB3-RB0	Entradas	Lectura de datos de teclado matricial.
27-30	RD7-RD4	Salidas	Escritura de datos en LCD.
21, 20, 19	RD2, RD1, RD0	Salidas	Escritura de datos: R/W, RS y E de LCD.
16	RC1	Salida	Control de luz posterior para LCD.
23, 18, 17	RC4, RC3, RC2	Salidas	Escritura de datos: SDI, SCK y SS para protocolo SPI.
26, 25	RC7, RC6	Entrada, Salida	Datos de Rx y Tx para transmisión serial via RS-232.

Tabla 11: Descripción de los puertos utilizados en el microcontrolador para etapa de control.

La descripción de los pines restantes se ubicó en conector SV1, el cual se describe en la tabla 12.

Pin de SV1	Pin del PIC16F877A	Descripción
10		Alimentación positiva de +5V
9		Alimentación de referencia GND
8	22	RD3
7	24	RC5
6	3	RA1
5	4	RA2
4	5	RA3
3	6	RA4
2	7	RA5
1	NC	NC

Tabla 12: Descripción de pines de conector SV1 en PCB de Tarjeta de Control.

6.4.1. Circuito de re-inicialización (Reset).

El microcontrolador posee un pin de reset externo que cuando se activa con un pulso bajo hace que el contador de programa interno del integrado busque la dirección del vector de reset de la

memoria de programa (dirección 0x00 de memoria Flash), por lo que se decidió conectar un arreglo RC con una constante de tiempo τ menor al tiempo de reacción del ojo humano (2.1 a 2.8 decimas de segundo¹⁸) por lo que el voltaje aplicado al pin será el voltaje de carga del condensador que inicialmente es cero, cuando el condensador alcance su voltaje de carga que tiende a ser 5V permitirá al microcontrolador ejecutar el código de programa guardado en la memoria interna del mismo, en la figura 28 se muestra el proceso de carga del condensador aquí descrito; el interruptor en paralelo al condensador nos permite aterrizar el pin en el momento en que el usuario de la aplicación desee reiniciar el programa. El circuito de re-inicialización utilizado en el proyecto se muestra en la figura 29.

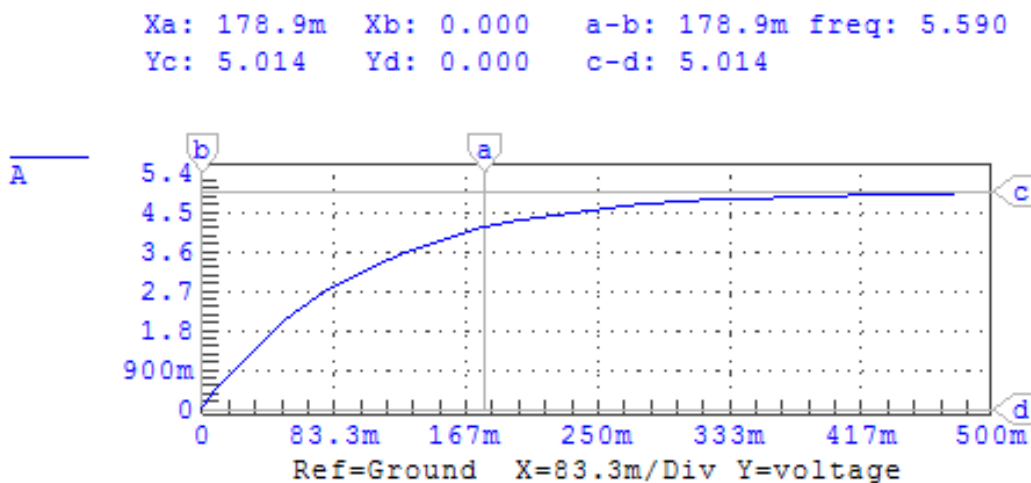


Figura 28: Grafica de carga del condensador de reset de la etapa de control.

¹⁸ Según Francisco Belda Maruenda, médico del Centro de Salud de Alquirías, en Murcia.

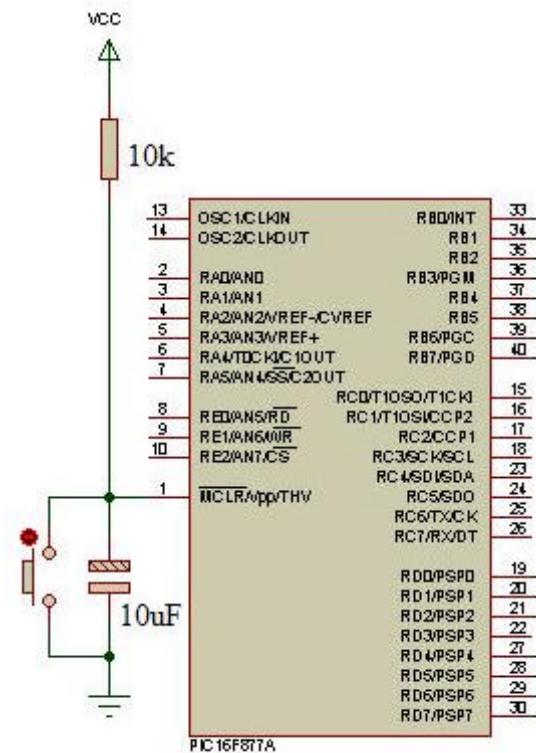


Figura 29: Diagrama esquemático de circuito de re-inicialización.

6.4.2. Circuito oscilador:

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema. El circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes externos para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Dichos componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos, un resonador cerámico o una red R-C. El oscilador utilizado en el proyecto se muestra en la figura 30.

Aumentar la frecuencia de reloj supone disminuir el tiempo en que se ejecutan las instrucciones pero conlleva a un incremento del consumo de energía.

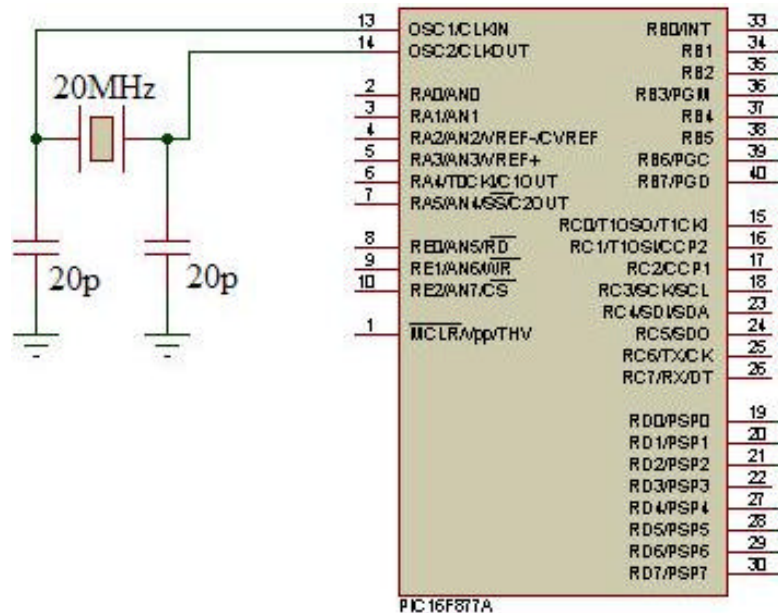


Figura 30: Circuito oscilador de etapa de control.

6.4.3. Manejo de escritura de datos y control de Pantalla de Cristal Líquido.

El módulo LCD que se ha ocupado en la plataforma desarrollada es el LM016L el cual posee 14 pines, tal como lo indica la figura 31, la respectiva descripción de pines puede apreciarse en la tabla 13. Su alimentación es de +5V, la regulación del contraste se realiza por medio de un divisor de tensión de +5V mediante un potenciómetro de 10k Ω , el cual se aplica en el pin 3 de ajuste de contraste. La LCD utiliza un controlador de datos HD44780, al cual se le transmiten las diferentes palabras de configuración y datos. La LCD puede operar con 8 bits o con 4 según se desee (para nuestro diseño se utiliza este último: sólo las líneas DB4-DB7 de datos). Los tres pines restantes son de control, que son EN (habilitación) si le desactivamos no reaccionará ante los cambios en el resto de líneas, RS o I/D (Instrucción/Datos) que permite decir a la pantalla si el dato escrito en las líneas de datos es un byte de configuración o un dato a escribirse sobre la LCD y R/W (Lectura/Escritura) que como su nombre lo indica se refiere a si se va a leer los datos alojados en la RAM de la LCD o escribir sobre la misma.

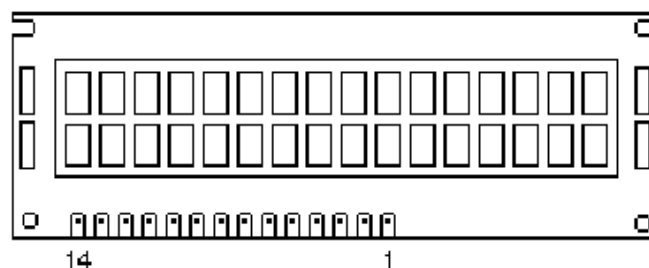


Figura 31: Configuración de pines de LCD.

Pin	Nombre del pin	Descripción
1	Vss	Tierra
2	Vdd	+ 5 V
3	Vo ó Vee	Ajuste de contraste
4	I/D ó RS	Selección de modo (Instrucción/Datos)
5	R/W	Lectura (1) / Escritura (0)
6	E ó EN	Habilitación (1) / Deshabilitación (0)
7-14	DB0-DB7	Línea de datos (DB0 es LSB ¹⁹ y DB7 MSB ²⁰)

Tabla 13: Descripción de pines de LCD LM016L.

La LCD contiene una RAM propia en la que almacena los datos, que se denomina DDRAM. Independientemente del número de caracteres visibles, la DDRAM contará con 80 posiciones. Los caracteres no visibles se visualizarán haciendo un desplazamiento en las localidades de memoria. El fabricante especifica que debe cumplirse al menos la rutina de inicialización mostrada en la figura 32, antes de empezar a configurar la LCD para su utilización en modo de 4 bits.

¹⁹ Acrónimo de Low Bit Significantive que en español significa bit menos significativo.

²⁰ Acrónimo de Most Bit Significantive que en español significa bit más significativo

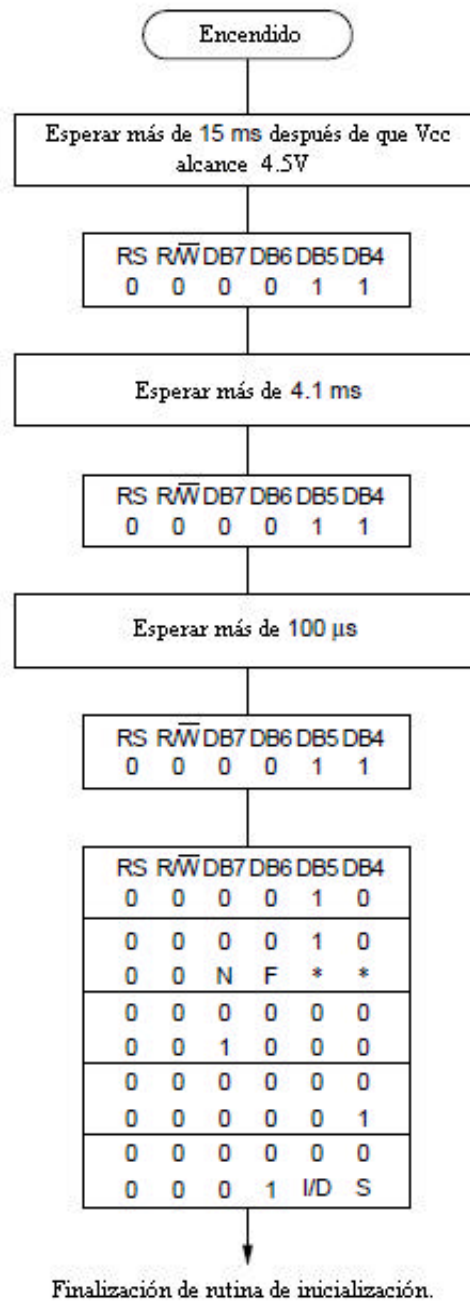


Figura 32: Rutina de inicialización de LCD según fabricante²¹.

El circuito de control de la LCD utilizada en la presentación de datos de intensidad de señal relativa en forma de porcentaje, frecuencia sintonizada, atenuación de la señal, entre otros se muestra en la figura 33.

²¹ La figura 32 ha sido tomada de página 46 de hoja técnica de HD44780.

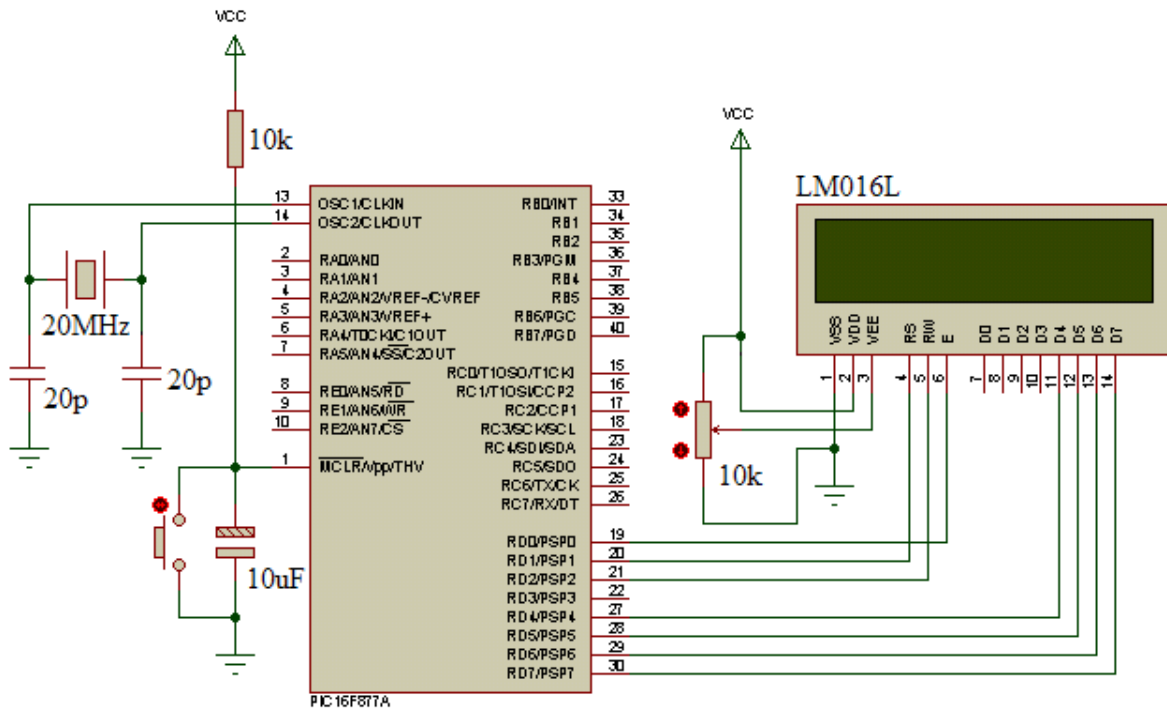


Figura 33: Circuito de escritura de datos en LCD.

Las funciones y nombre de los comandos permitidos en la LCD LM016L se muestran en la tabla 14, así como el valor de los bits en cada una de ellas.

Comando	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
Borra Pantalla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Cursor a Casa	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*
Modo Introducción	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S
Pantalla On/Off	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B
Modo Desplazamiento	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*
Función	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*
Dirección CGRAM	0	0	0	1	Dirección CGRAM					
Dirección DDRAM	0	0	1	Dirección DDRAM						
Lectura ocupado y dirección contador	0	1	BF	Dirección DDRAM						
Escribe RAM	1	0	Escribe Dato							
Lee RAM	1	1	Lee Dato							

Tabla 14: Descripción de funciones de datos y control de LCD LM016L.

La descripción de los nemónicos utilizados en la tabla 14 se muestra en la tabla 15.

Nombre Bit	Estado y Funcionamiento	
I/D	0 = Decrementa posición cursor	1 = Incrementa posición cursor
S	0 = Sin desplazamiento	1 = Con desplazamiento
D	0 = Pantalla Off	1 = Pantalla On
C	0 = Cursor Off	1 = Cursor On
B	0 = Parpadeo cursor Off	1 = Parpadeo cursor On
S/C	0 = Mueve el cursor	1 = Desplaza la pantalla
R/L	0 = Desplaza a la izquierda	1 = Desplaza a la derecha
DL	0 = Interfaz de 4 bits	1 = interfaz de 8 bits
N	0 = 1 línea datos visible	1 = 2 líneas datos visibles
F	0 = 5 x 7 pixeles	1 = 5 x 10 píxel
BF	0 = Puede aceptar instrucción	1 = Operación interna en cursc

Tabla 15: Descripción de bits en tabla de funciones de datos y control de LCD LM016L.

Cada comando de configuración mostrado en la tabla 14 tiene un significado y utilización el cual se detalla a continuación:

- **Borra Pantalla:** Borra el contenido visualizado sobre el LCD y sitúa el cursor en su posición inicial (0).
- **Cursor a Casa:** El cursor va a la posición inicial (0), pero sin borrar nada del contenido escrito sobre el LCD.
- **Modo Introducción:** Configura la dirección del cursor I/D. Cuando I=1 incrementa la posición del cursor, y D=0 la decrementa. Mientras S=1 significa que hay desplazamiento en la pantalla. La operación se ejecuta durante la I/O de los datos.
- **Pantalla Encendida/Apagada:** El bit B decide si el cursor de la pantalla se muestra estático o parpadeando, C para cursor encendido o apagado y el bit D decide si la pantalla se muestra encendida o apagada.
- **Modo Desplazamiento (Cursor/Pantalla):** S/C indica el movimiento del cursor sin desplazar el contenido de la pantalla o mueve el cursor desplazando el contenido en la pantalla, R/L la dirección del desplazamiento hacia derecha o izquierda. No se varía el contenido de la DDRAM.
- **Función:** DL indica la cantidad de líneas de datos por las que se comunica la interfaz (4 u 8 bits); N es el número de líneas visibles a utilizar en la pantalla y F es el tamaño de los caracteres por línea. Se recomienda que cuando se desee incrementar el tamaño de los caracteres a 10 pixeles se elija trabajar solo con una línea de datos visibles porque de lo

contrario el texto de ambas líneas se traslapará haciendo que el contenido de las líneas sea ininteligible.

- **Dirección CGRAM:** Coloca el dato enviado o recibido en la CGRAM después de este comando. La CGRAM es la memoria para generación de patrones de caracteres definidos por el usuario.

Lower 4 Bits \ Upper 4 Bits	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000	CG RAM (1)		0	1	P	^	P				-	夕	ミ	α	ρ	
xxxx0001	(2)	!	1	A	Q	a	q				。	ア	チ	△	ä	q
xxxx0010	(3)	"	2	B	R	b	r				「	イ	ツ	×	β	θ
xxxx0011	(4)	#	3	C	S	c	s				」	ウ	テ	ε	ε	∞
xxxx0100	(5)	\$	4	D	T	d	t				、	エ	ト	†	μ	Ω
xxxx0101	(6)	%	5	E	U	e	u				・	オ	ナ	1	ε	Ü
xxxx0110	(7)	&	6	F	V	f	v				ヲ	カ	ニ	ヨ	ρ	Σ
xxxx0111	(8)	'	7	G	W	g	w				ア	キ	ヲ	ラ	g	π
xxxx1000	(1)	<	8	H	X	h	x				イ	ク	ネ	リ	γ	×
xxxx1001	(2)	>	9	I	Y	i	y				ウ	ケ	ル	レ	γ	υ
xxxx1010	(3)	*	:	J	Z	j	z				エ	コ	ハ	レ	j	〒
xxxx1011	(4)	+	;	K	[k	{				オ	サ	ヒ	ロ	*	〒
xxxx1100	(5)	,	<	L	¥	l	l				カ	シ	フ	ワ	φ	円
xxxx1101	(6)	-	=	M]	m	}				ユ	ズ	ハ	ン	ε	÷
xxxx1110	(7)	.	>	N	^	n	→				ヨ	セ	ホ	ン	ñ	
xxxx1111	(8)	/	?	O	_	o	€				ッ	ソ	マ	°	ö	■

Figura 34: Mapa de caracteres ASCII de memoria ROM de LCD LM016L²².

²² La figura 34 ha sido tomada de página 17 de hoja técnica de HD44780.

- **Dirección DDRAM:** Coloca el dato enviado o recibido en la DDRAM después de la ejecución de este comando. Esta memoria es la encargada de la visualización de datos sobre la LCD. Los Datos mostrados en esta memoria corresponden al mapa de caracteres ASCII de la memoria ROM de la LCD los cuales se aprecian en la figura 34.
- **Escribe RAM:** Escribe un dato en la RAM (ya sea DDRAM o CGRAM).
- **Lee RAM:** Lee datos de la RAM (ya sea DDRAM o CGRAM).

6.4.4. Manejo de escritura y lectura de datos de teclado matricial.

El teclado matricial se caracteriza por tener cada una de las teclas conectada a dos líneas físicas de conexión (una columna y una fila) que la identifican. De este modo el número de teclas que pueden conectarse es el producto de filas por el de columnas.

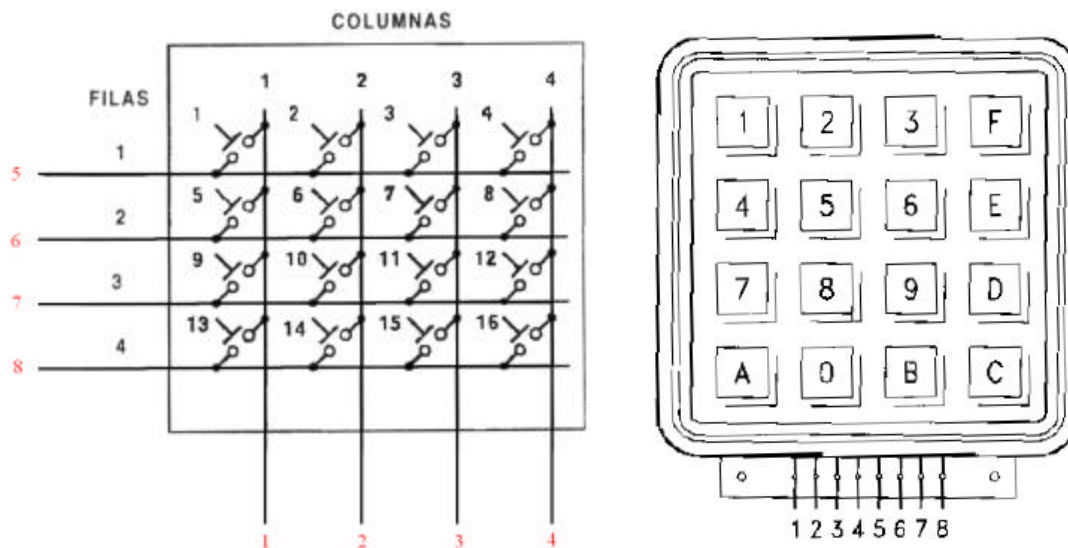


Figura 35: Descripción de pines y forma física de teclado matricial.

Esta etapa es utilizada para la escritura de datos sobre los pines 5 al 8 del teclado que corresponden a las filas del mismo. Luego de escribir cada dato se hace una lectura de los pines 1 al 4 que corresponden a cada columna del teclado matricial, tal como lo indica la figura 35, los números de pines se muestran en color rojo. Dependiendo de la combinación de datos escritos y la lectura realizada se sabe cuál es la tecla presionada, tal como lo indica la tabla 16. El diagrama esquemático del Manejo de escritura y lectura de datos de teclado matricial se presenta en la figura 36.

Número de Fila / Columna	Lectura							
	Escritura							
	4	3	2	1	4	3	2	1
Pines del teclado	Filas				Columnas			
	8	7	6	5	4	3	2	1
Sin presionar ninguna tecla	x	x	x	X	1	1	1	1
1	1	1	1	0	1	1	1	0
4	1	1	0	1	1	1	1	0
7	1	0	1	1	1	1	1	0
A (Función Clear)	0	1	1	1	1	1	1	0
2	1	1	1	0	1	1	0	1
5	1	1	0	1	1	1	0	1
8	1	0	1	1	1	1	0	1
0	0	1	1	1	1	1	0	1
3	1	1	1	0	1	0	1	1
6	1	1	0	1	1	0	1	1
9	1	0	1	1	1	0	1	1
B (Función Enter)	0	1	1	1	1	0	1	1
F (Subir frecuencia en 0.06MHz)	1	1	1	0	0	1	1	1
E (Bajar frecuencia en 0.06MHz)	1	1	0	1	0	1	1	1
D (Subir atenuación en una escala)	1	0	1	1	0	1	1	1
C (Bajar atenuación en una escala)	0	1	1	1	0	1	1	1

Tabla 16: Combinación de datos para teclado matricial

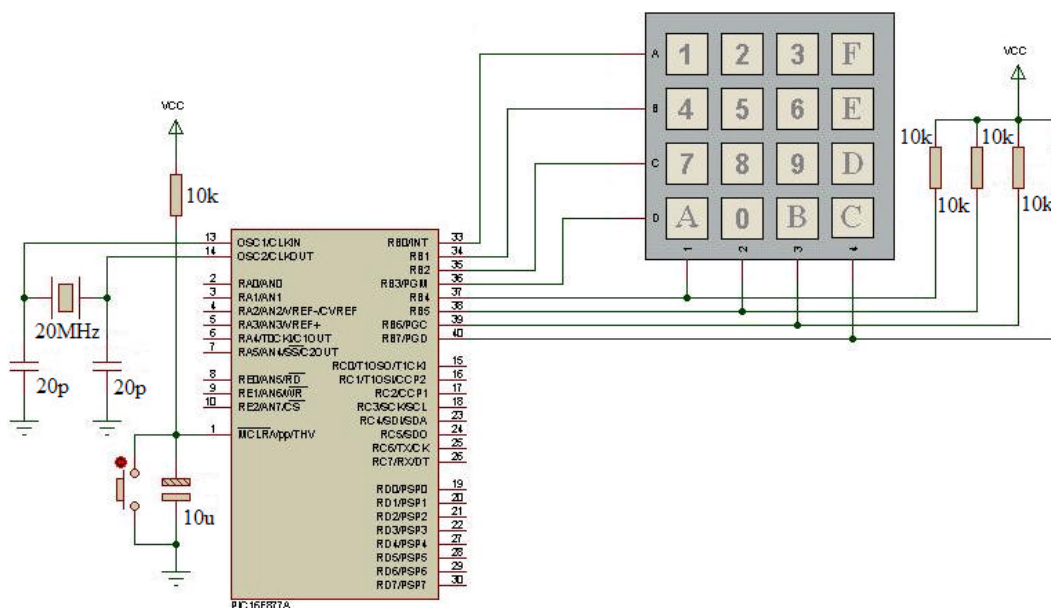


Figura 36: Circuito de control de escritura y lectura de datos en teclado matricial.

Cuando una tecla es presionada se identifica su función, ya que el teclado es utilizado en la aplicación para fijar la frecuencia de sintonización con las teclas numéricas de 0 al 9 con una resolución 0.1 MHz, los datos escritos se visualizan en la segunda fila de la LCD mientras no se presione el Enter; aumentar o disminuir la frecuencia con las teclas F y E respectivamente con una resolución de 0.06 MHz; la tecla A se encarga de borrar lo que se encuentre escrito en la segunda fila de la LCD; las teclas D y C se utilizan para aumentar o disminuir en una escala de 16 posibles la atenuación de la señal sintonizada.

6.4.5. Variación del voltaje de atenuación

La variación de la atenuación de la señal sintonizada se realiza cambiando el nivel de voltaje del AGC del sintonizador, por medio de un DAC. El circuito utilizado para tal fin se muestra en la figura 37.

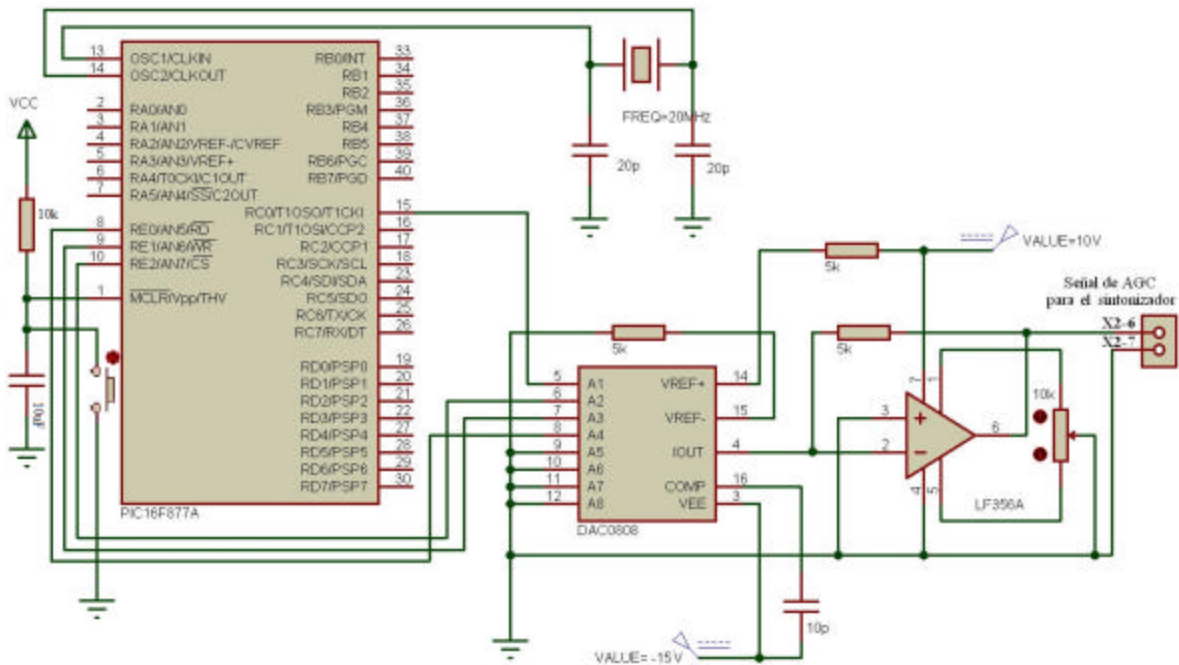


Figura 37: Circuito de variación del voltaje de atenuación.

Para la conversión D/A se ha utilizado un DAC0808 el cual es un convertidor digital a analógico de 8 bits que emplea el método de conversión por red de escalera. Acepta 8 entradas digitales y de acuerdo al código que representan, coloca en su salida una corriente analógica (I_O) que es una

fracción de la corriente de referencia empleada (I_{ref}), el DAC0808 se ha conectado según las especificaciones del fabricante descrita en la figura 38, la cual permite obtener diferentes valores de voltaje análogo (V_o) según sea la combinación binaria colocada a sus entradas, la cual puede obtenerse matemáticamente por la siguiente expresión:

$$I_o = I_{ref} \cdot \left(\frac{A8}{256} + \frac{A7}{128} + \frac{A6}{64} + \frac{A5}{32} + \frac{A4}{16} + \frac{A3}{8} + \frac{A2}{4} + \frac{A1}{2} \right)$$

$$I_{ref} = \frac{V_{ref}}{R_{14}} = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{R_{14}} = \frac{V_{ref+} - 0}{R_{14}} = \frac{V_{ref+}}{R_{14}} = \frac{10v}{5k\Omega}$$

$$I_{ref} = \frac{10v}{5k\Omega} = 2mA$$

$$V_o = I_o \cdot R_f = 2mA \cdot \left(\frac{A8}{256} + \frac{A7}{128} + \frac{A6}{64} + \frac{A5}{32} + \frac{A4}{16} + \frac{A3}{8} + \frac{A2}{4} + \frac{A1}{2} \right) \cdot 5k\Omega$$

$$V_o = 10v \cdot \left(\frac{A8}{256} + \frac{A7}{128} + \frac{A6}{64} + \frac{A5}{32} + \frac{A4}{16} + \frac{A3}{8} + \frac{A2}{4} + \frac{A1}{2} \right)$$

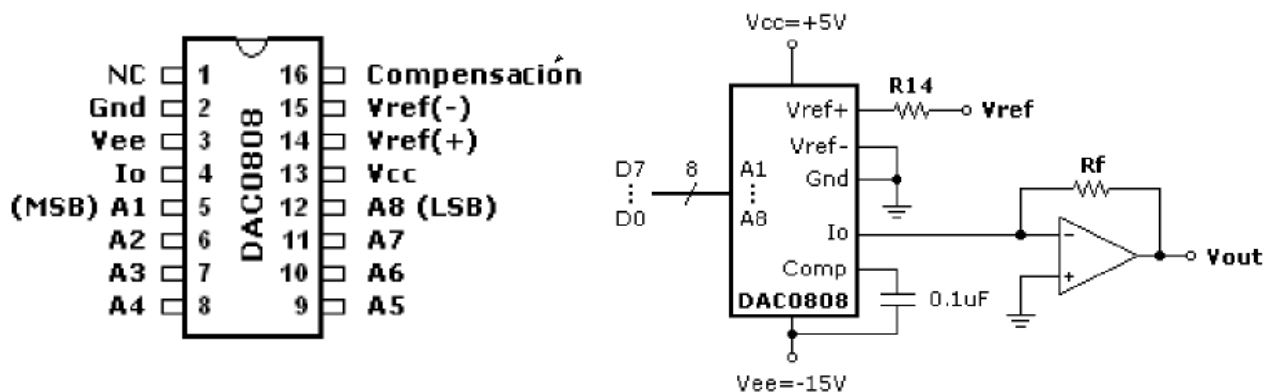


Figura 38: Descripción de pines de DAC0808 y conexión sugerida por su fabricante.

Para el circuito del proyecto se definió que solo se utilizarían 16 escalas posibles por lo que se opto por conectar a tierra las entradas menos significativas del DAC logrando así las variaciones de voltaje descritas en la tabla 17 según sean las combinaciones de las entradas digitales.

N	1	2	3	4	5	6	7	8
2 ^N	2	4	8	16	32	64	128	256

A _N	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	$\sum_{N=1}^8 \frac{A_N}{2^N}$	$V_o = 10 * \sum_{N=1}^8 \frac{A_N}{2^N}$
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,000
	0	0	0	1	0	0	0	0	0,0625	0,625
	0	0	1	0	0	0	0	0	0,1250	1,250
	0	0	1	1	0	0	0	0	0,1875	1,875
	0	1	0	0	0	0	0	0	0,2500	2,500
	0	1	0	1	0	0	0	0	0,3125	3,125
	0	1	1	0	0	0	0	0	0,3750	3,750
	0	1	1	1	0	0	0	0	0,4375	4,375
	1	0	0	0	0	0	0	0	0,5000	5,000
	1	0	0	1	0	0	0	0	0,5625	5,625
	1	0	1	0	0	0	0	0	0,6250	6,250
	1	0	1	1	0	0	0	0	0,6875	6,875
	1	1	0	0	0	0	0	0	0,7500	7,500
	1	1	0	1	0	0	0	0	0,8125	8,125
	1	1	1	0	0	0	0	0	0,8750	8,750
	1	1	1	1	0	0	0	0	0,9375	9,375

Tabla 17: Voltajes analógicos producidos por el circuito de la figura 35.

En la tabla 17 se muestran los voltajes de atenuación desde la atenuación máxima en $V_o=0v$, hasta la mínima en $V_o=9.375v$.

6.4.6. Comunicación serie por RS232.

El formato de comunicación serie RS-232, presente en la mayor parte de computadoras, es la forma más común para realizar transmisiones de datos entre computadores, routers, switches, entre otros. El RS-232 consiste en un conector tipo DB-25 de 25 pines, aunque es normal encontrar la versión de 9 pines DB-9. Las señales con las que trabaja este puerto serie son digitales, de +12V (0 lógico) y -12V (1 lógico), para la entrada y salida de datos, y a la inversa en las señales de control. El estado de reposo en la entrada y salida de datos es -12V. Dependiendo de la velocidad

de transmisión empleada, es posible tener cables de hasta 15 metros. La descripción de pines del puerto serie se muestra en la figura 39.

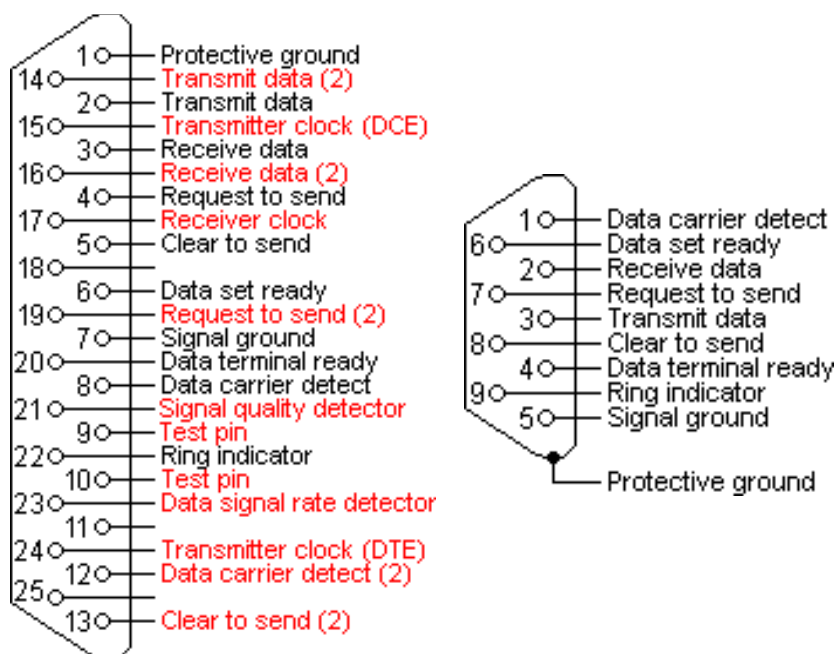


Figura 39: Descripción de pines de Puerto serie en DB25 y DB9.

Pin DB9	Pin DB25	Función
1	8	Detección de Portadora (DCD: Data carrier detect)
2	3	Recibir Datos (RXD: Receive data)
3	2	Transmitir Datos (TXD: Transmit data)
4	20	Terminal de Datos Listo (DTR: Data terminal ready)
5	7	Señal de Tierra (SG: Signal ground)
6	6	Equipo de Datos Listo (DSR: Data set ready)
7	4	Solicitud de Envío (RTS: Request to send)
8	5	Libre para Envío (CTS: Clear to send)
9	22	Indicador de llamada (RI: Ring indicator)

Tabla 18: Descripción de pines en DB9 y DB25.

Las señales TXD, DTR y RTS son de salida, mientras que RXD, DSR, CTS y DCD son de entrada. La señal de referencia para todas las señales es SG (Señal de Tierra). Finalmente, existe

otra señal que es RI (Indicador de llamada). Para el caso del proyecto se han utilizado solamente TXD, RXD y SG ya que se declaró en programación que no existiría un control de flujo de datos vía hardware, además de ello se ha ocupado un MAX232 para modificar los niveles de voltaje del puerto serie a valores TTL para poder conectarlo al microcontrolador tal y como se aprecia en la figura 40.

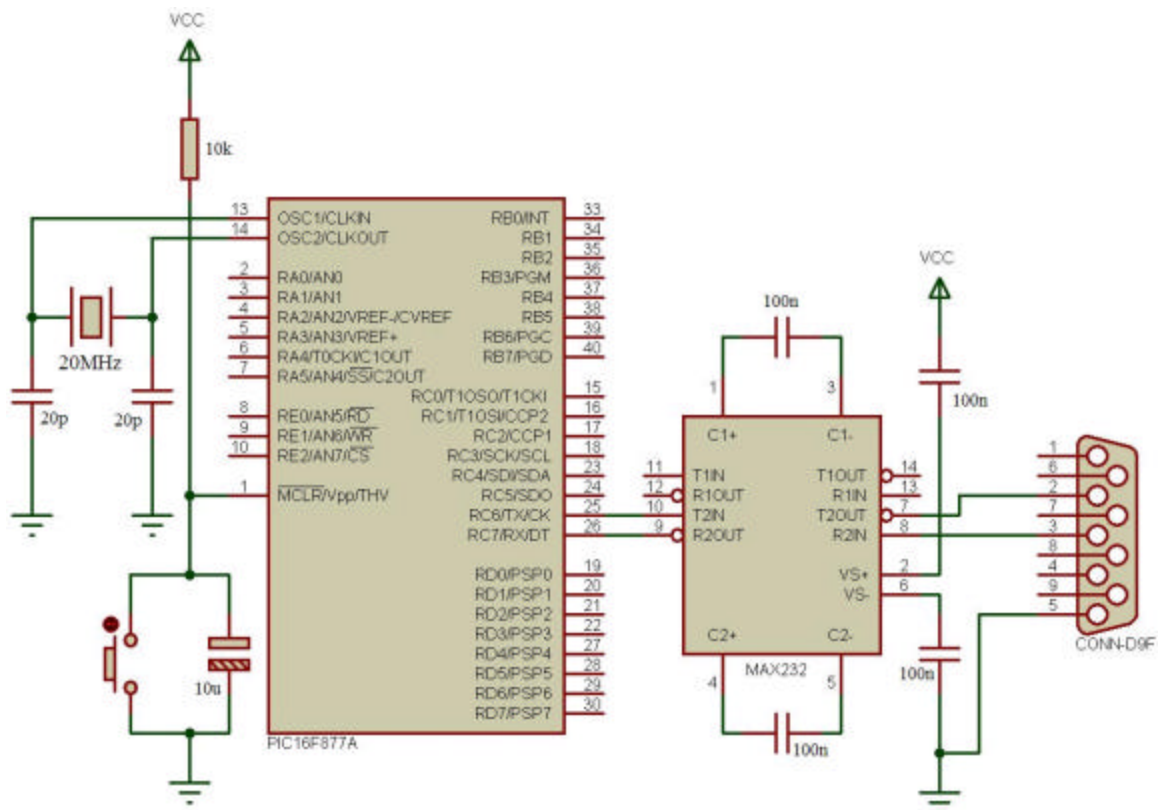


Figura 40: Circuito de Comunicación serie RS232.

El formato de trama de envío se muestra en la figura 41, en una trama RS232 pueden apreciarse diferentes variantes, tales como: 7 a 9 bits de información por envío, habilitación de paridad (Ninguno, Par, Impar, Marca y Espacio), bit de parada de trama en (1, 1.5, 2 bits), control de flujo de datos (Ninguno, Hardware o Xon / Xoff) y finalmente la velocidad de transmisión en bits por segundo (110, 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800 y 921600). Aunque en general se envía un bit de inicio de trama seguido de la cantidad de bits de información por envío o recepción, el bit de paridad, bit de parada a la velocidad de transmisión establecida.



Figura 41: Trama de Comunicación serie RS232.

Las condiciones de comunicación para la plataforma en protocolo de comunicación RS232 es: 1 bit de parada, sin paridad, sin control de flujo de datos, 8 bits de información por envío y velocidad de transmisión a 9600 bps.

6.4.7. Comunicación SPI con sintonizador

SPI es un bus de tres líneas, sobre el cual se transmiten paquetes de información que generalmente son de 8 bits. Cada una de estas tres líneas porta la información entre los diferentes dispositivos conectados al bus. Cada dispositivo conectado al bus puede actuar como transmisor y receptor al mismo tiempo, por lo que este tipo de comunicación serial es full dúplex. Dos de estas líneas transfieren los datos (una en cada dirección) y la tercer línea es la del reloj.

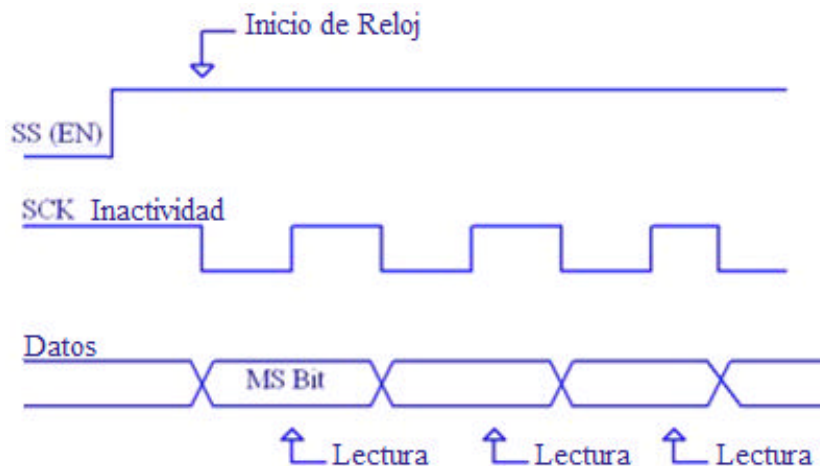


Figura 42: Trama de Comunicación SPI.

Los dispositivos conectados al bus SPI son definidos como maestros y esclavos. Un maestro es aquel que inicia la transferencia de información sobre el bus y genera las señales de reloj y control. Un esclavo es un dispositivo controlado por el maestro. Cada esclavo es controlado sobre el bus a través de una línea selectora llamada Chip Select o Select Slave, por lo tanto el esclavo es activado solo cuando esta línea es seleccionada. Generalmente una línea de selección es dedicada para cada esclavo. En el caso de la aplicación desarrollada el microcontrolador funciona como maestro y el sintonizador es el que hace las veces de esclavo. La trama de comunicación utilizada en el protocolo SPI se muestra en la figura 42.

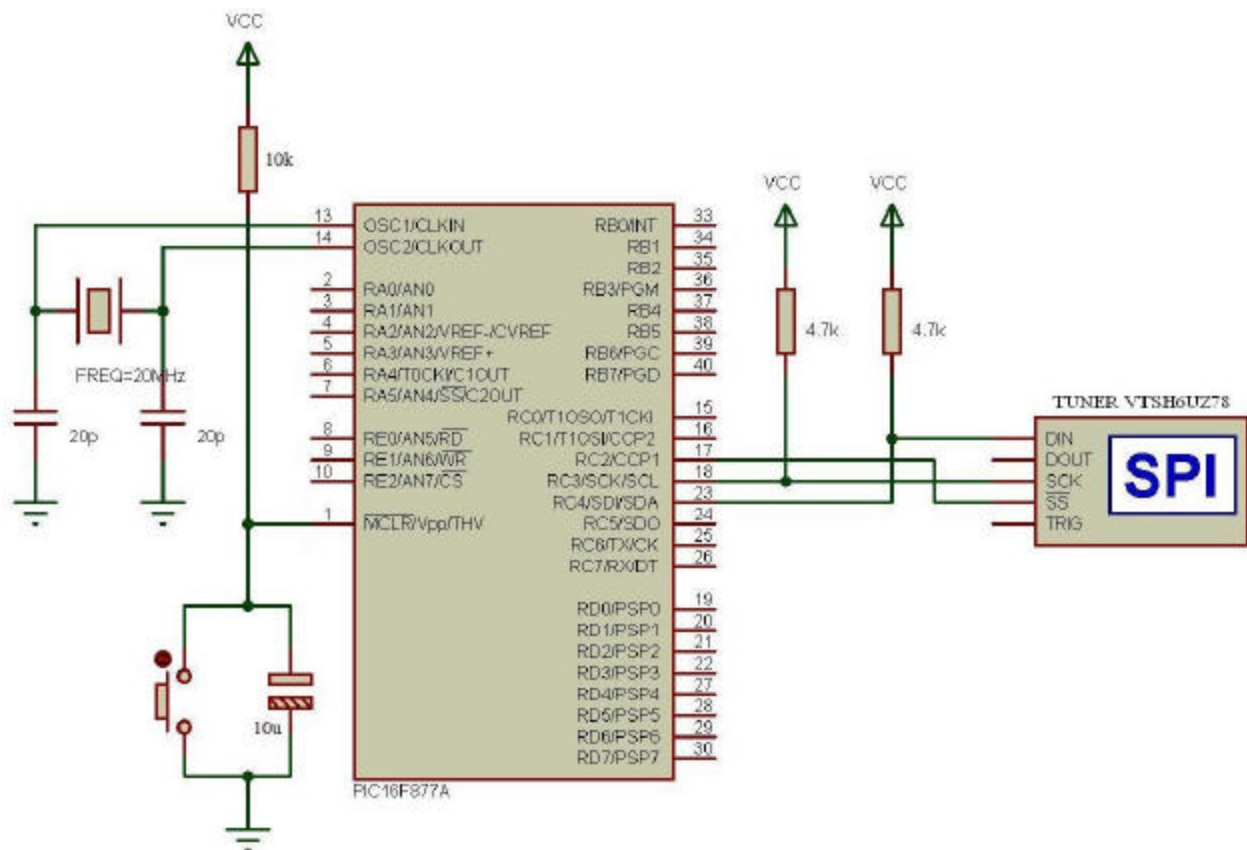


Figura 43: Diagrama esquemático de la comunicación SPI con el sintonizador.

En la figura 43 se puede apreciar el circuito esquemático de esta etapa, en ella se han colocado dos resistencias de pull-up debido a que los sintonizadores de TV comerciales ocupados en el proyecto traen una variante, se comunican por protocolo I2C o por SPI, dichas resistencias no

afectan la funcionalidad del protocolo SPI pero que son importantes para la funcionalidad del protocolo I2C por la demanda energética de la red que pueda conectarse a dichas líneas.

En la figura 27 se hizo referencia a que la etapa de control se ha realizado en una sola tarjeta de circuito impreso por lo que las figuras 44, 45 y 46 describen la construcción del PCB. El PCB ya terminado se aprecia en la figura 47.

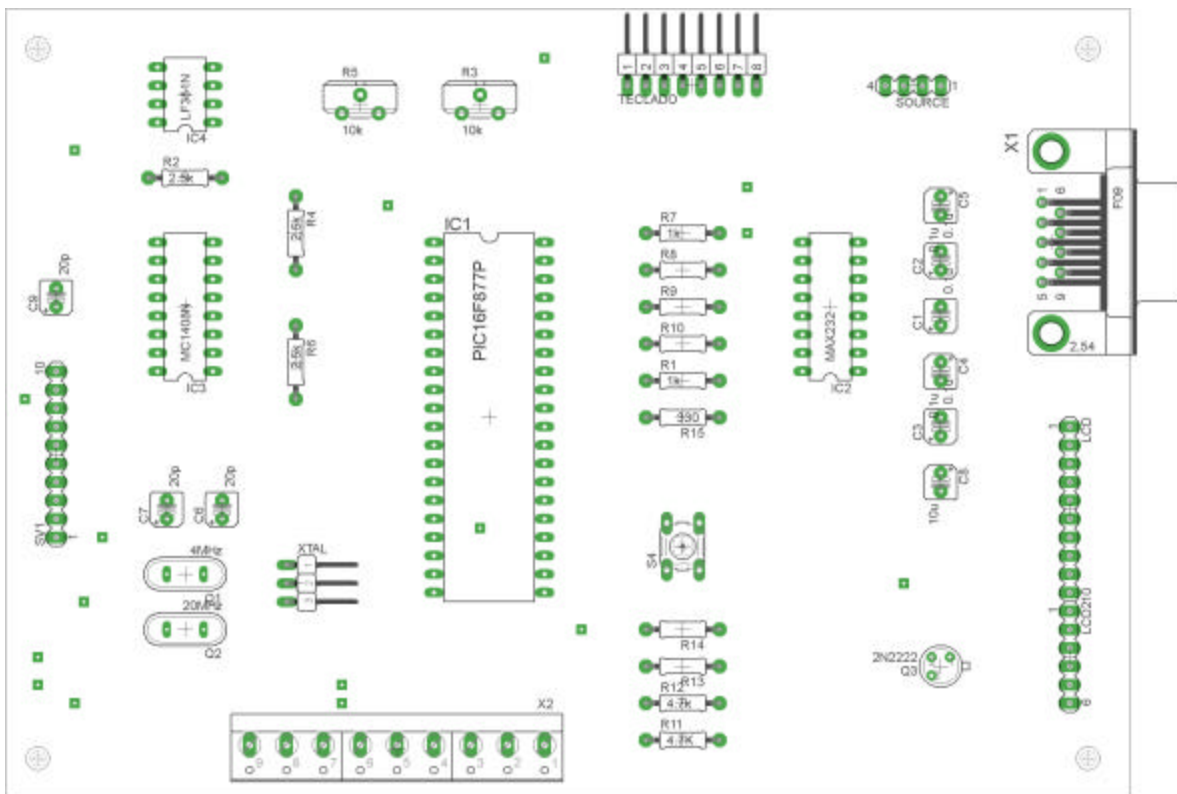


Figura 44: Ubicación de componentes en PCB de tarjeta de control.

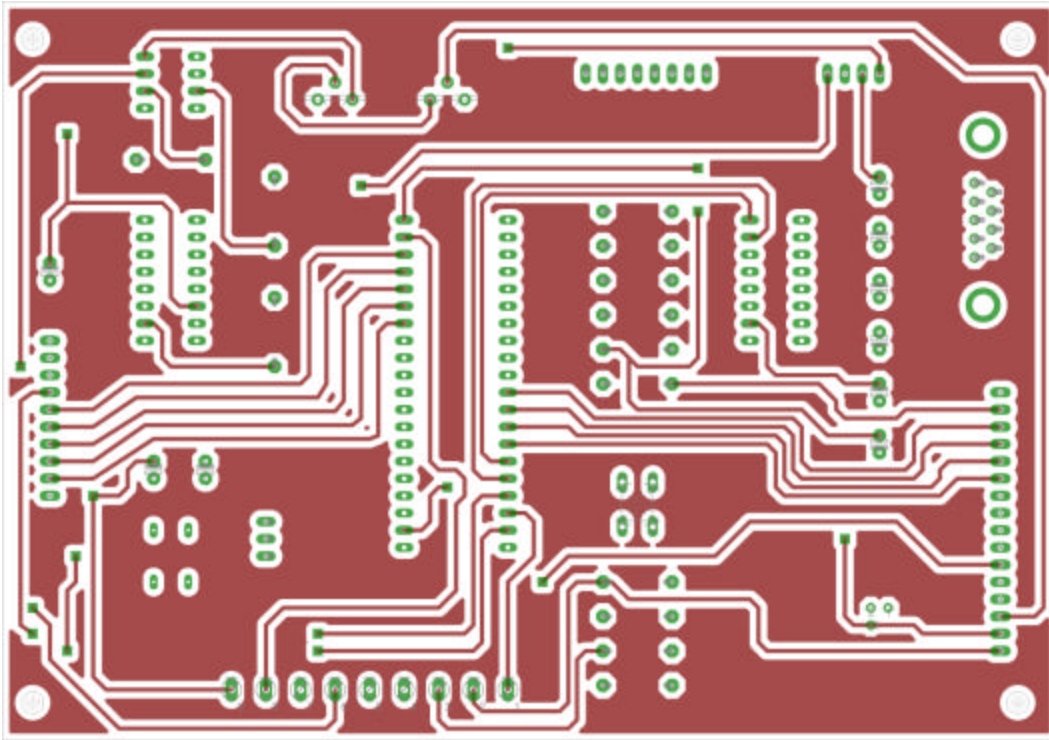


Figura 45: Vista superior de PCB de Modulo de control.

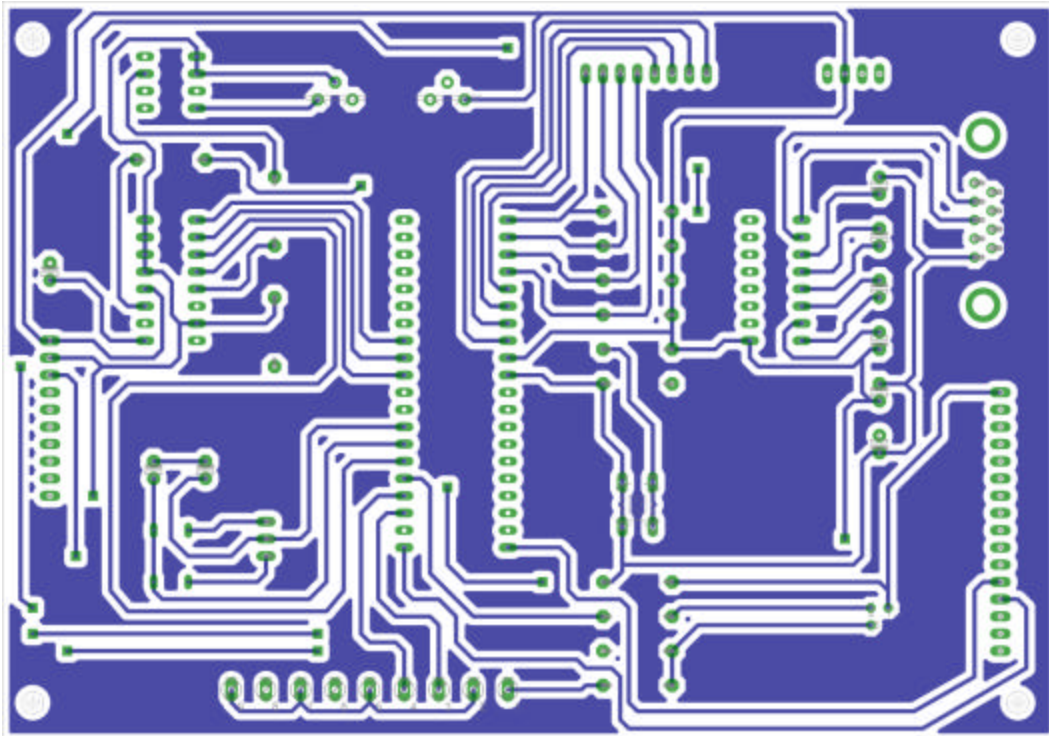


Figura 46: Vista inferior de PCB de Modulo de control.

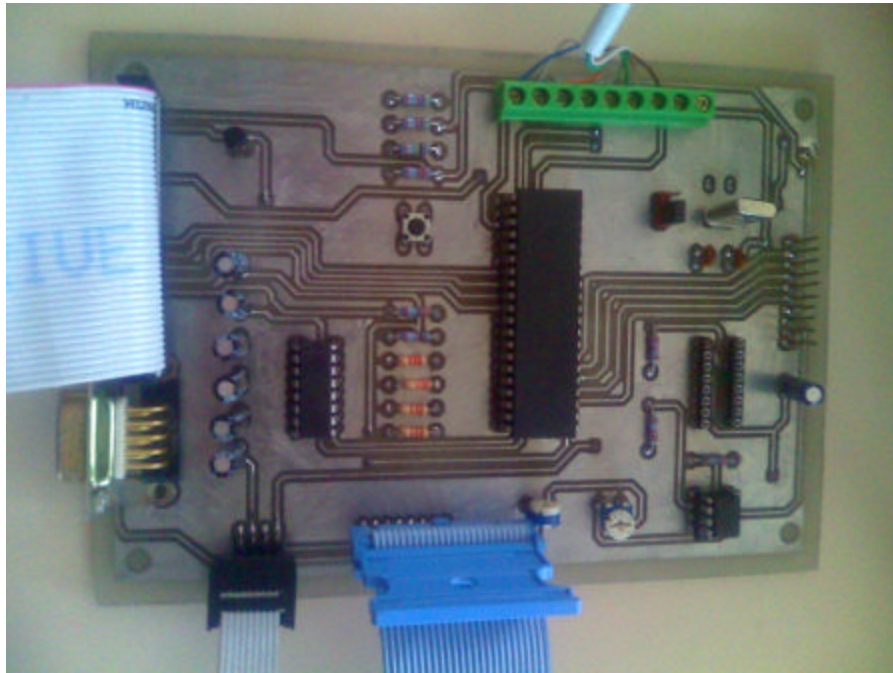


Figura 47: PCB de Modulo de control.

El montaje del proyecto terminado puede apreciarse en las figuras 48 y 49.



Figura 48: Vista interna de la plataforma automatizada de medición de patrones de radiación, Parte I.



Figura 49: Vista externa de la plataforma automatizada de medición de patrones de radiación, Parte I.

7. Validación de resultados.

La validación de resultados se llevó a cabo realizando pruebas demostrativas con la aplicación desarrollada (módulo receptor), comprobando así las capacidades y utilización de la herramienta a proveer a la Universidad Don Bosco con su respectivo manual de usuario, el cual se describirá en el transcurso de este capítulo:

1. Se validará la capacidad de sintonizar una frecuencia determinada comprendida dentro del espectro de frecuencias posibles de sintonización del módulo receptor, prefijando desde el teclado la frecuencia del transmisor que se esté utilizando.
2. Se validará la capacidad de medir la variación de la potencia ubicando la antena en diferentes grados de ubicación con respecto a la misma ubicación del transmisor que se esté monitoreando.
3. El muestreo de datos de intensidad de señal relativa en forma porcentual se presentará en una computadora de escritorio, por medio de la aplicación de comunicaciones hyperterminal de la misma; por lo que se demostrará su capacidad de interactuar con el módulo receptor realizando las siguientes funciones: recibir diferentes valores de intensidad de señal, variar la frecuencia de sintonización, incrementar o decrementar la frecuencia sintonizada en pasos de 62.4 kHz, así como seleccionar una de las dieciséis escalas de atenuación de la señal sintonizada.
4. Se describirá la forma de interactuar con el módulo receptor desde su teclado; desde el cual se podrán realizar las funciones descritas en el punto anterior.

7.1. Pruebas demostrativas con el módulo receptor.

Para esta etapa se ha subdividido las diferentes funciones para delimitar cada una de ellas.

7.1.1. Validación de la capacidad de sintonizar una frecuencia determinada prefijando en el teclado del receptor la frecuencia del transmisor que se esté utilizando.

Para esta demostración se utilizó el transmisor SO4100-1A de Lucas Nülle, el cuál transmite en una frecuencia de 434 MHz con una variación de la potencia transmitida de 0 a 2W, para la

prueba se le fijo a éste una potencia de de 0.1 W, el transmisor se muestra en la figura 50 y se colocó a una distancia de 4 metros lo cual puede apreciarse en la figura 51, e inicialmente se dejó la dirección de la antena del receptor a 0° del transmisor.

(a)



(b)



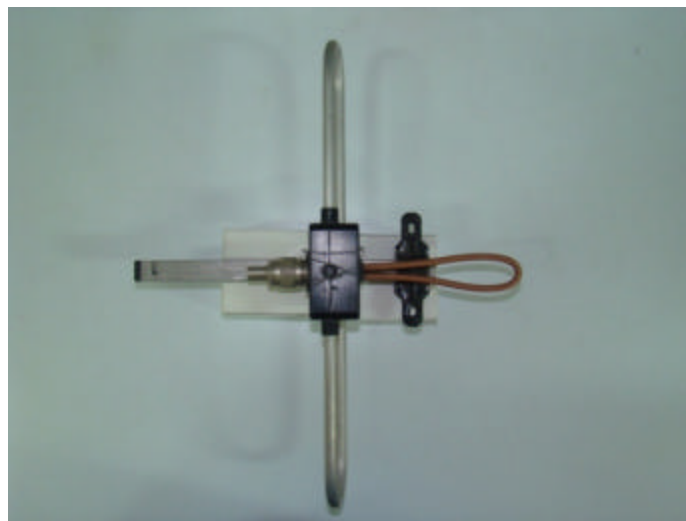
Figura 50: (a) Transmisor utilizado para la validación de resultados.

(b) Ajuste de la potencia de transmisión.

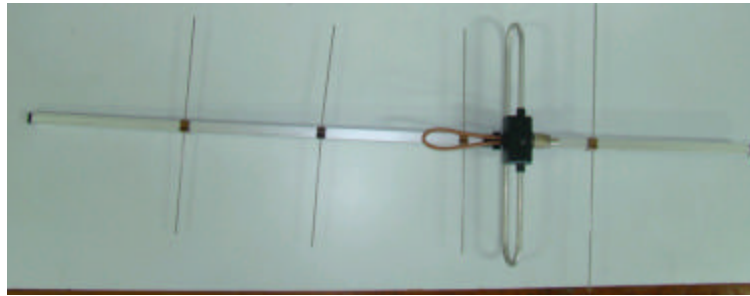


Figura 51: Separación entre el Transmisor y Receptor durante la validación de resultados.

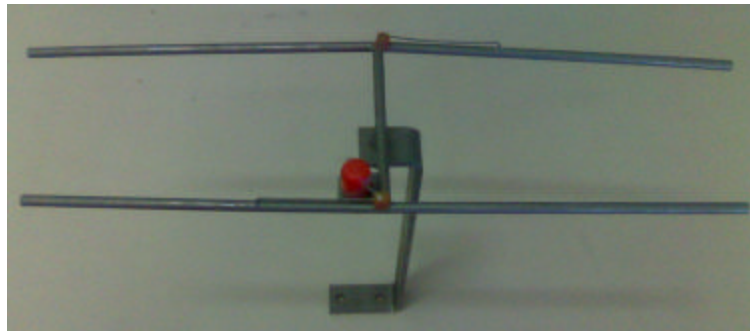
Las antenas utilizadas para la demostración son: para el caso del transmisor una antena de tipo dipolo plegado de 5.6 dB de ganancia y para el receptor se utilizaron cuatro tipos de antenas, una por prueba. Las antenas ocupadas con el receptor son: dipolo plegado de 5.6 dB de ganancia, Yagi de cuatro elementos de 9.7 dB de ganancia, antena Yagi de dos elementos de 11dB de ganancia y antena Yagi doble de 6.7 dB de ganancia. En la figura 52 se pueden apreciar las imágenes respectivas a cada antena.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 52: (a) Antena tipo dipolo plegado. (b) Antena Yagi de cuatro elementos. (c) Antena Yagi de dos elementos. (d) Antena Yagi doble.

La señal que recibe la antena del receptor (Yagi de cuatro elementos mostrada en la figura 52-b) utilizada para la demostración se visualizó por medio de un analizador de espectros, la cual se muestra en la figura 53.

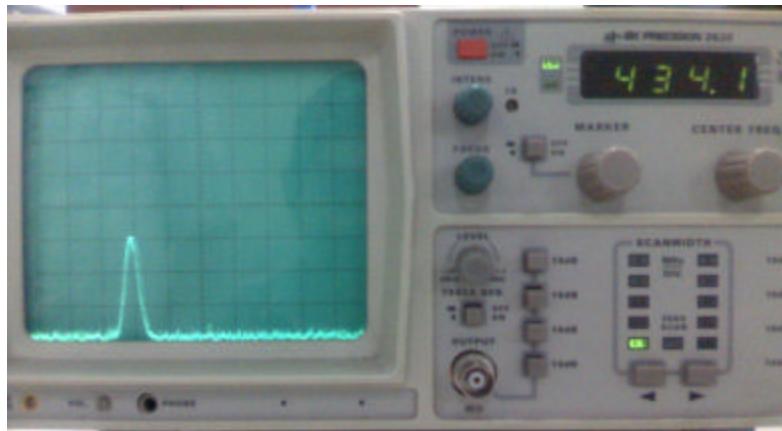


Figura 53: Espectro de la señal recibida en antena yagi del receptor.

Al encender el modulo receptor se dispone por defecto la frecuencia de 88.04 MHz, por lo que como no se está sintonizando los 434 MHz se aprecia en la LCD la potencia de 8.64% al momento de realizar esta demostración, lo cual se aprecia en la figura 54.



Figura 54: Lectura en LCD al encender el Receptor.

Al medir la FI1 a la salida del sintonizador VTSH6UZ78 se aprecia el espectro visto en la figura 55, ya que la señal sintonizada en este momento sigue siendo la de 88.04 MHz.

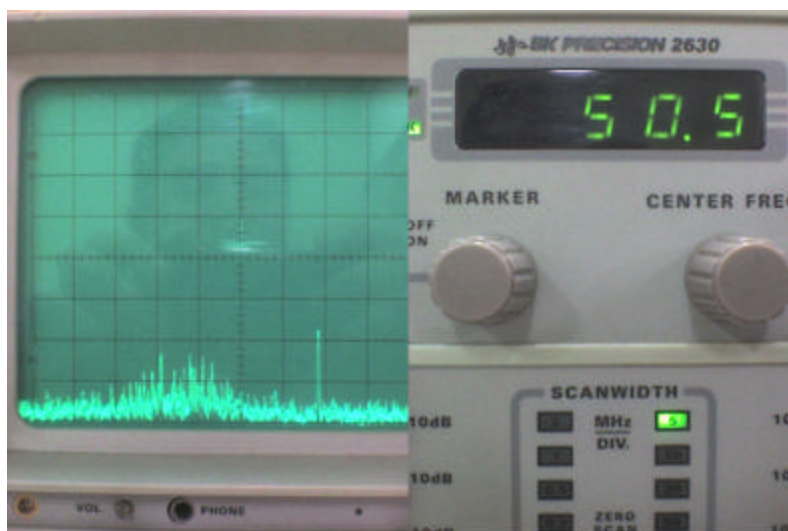


Figura 55: Espectro medido en el Receptor a la salida del sintonizador o FI1.

Luego de realizar el segundo mezclado se obtiene el espectro visualizado en la figura 56.

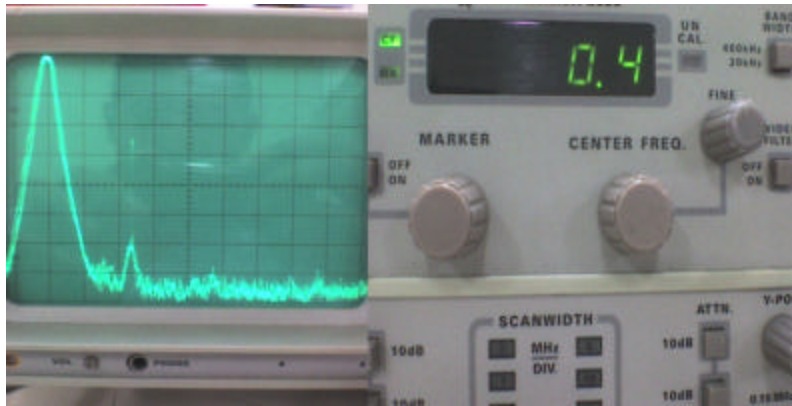




Figura 56: Espectro medido en el Receptor a la salida del segundo mezclador o FI2.

En este momento se ha sintonizado la señal de 88.04 MHz y es la que se ha presentado en las figuras 53, 55 y 56. La potencia obtenida es la equivalente a las condiciones físicas del laboratorio para la frecuencia antes mencionada, ahora se procede a la sintonización de la señal del transmisor de Lucas Nülle a 434 MHz.

Para la escritura de frecuencias de sintonización en el receptor se dejó fijo el punto decimal, por lo que la escritura de frecuencias se realiza desplazando los dígitos de derecha a izquierda desde 0.x MHz donde x es la primera tecla numérica presionada, por lo que la frecuencia de 434 MHz se debe digitar presionando en el teclado la secuencia que se muestra en la tabla 19.

Orden de teclas presionadas.	Visualización de LCD al presionar una tecla numérica.
Al iniciar la aplicación y sin presionar ninguna tecla numérica.	
Al presionar 4.	


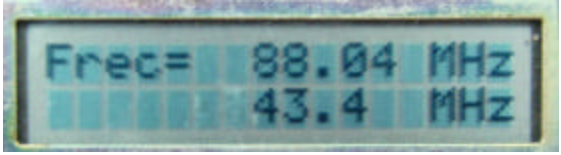
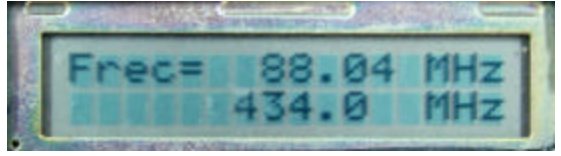
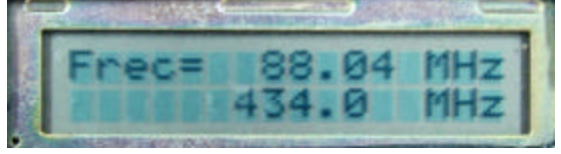
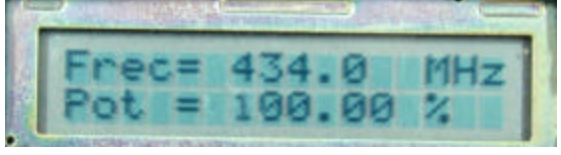
Al presionar 3.	
Al presionar 4.	
Al presionar 0.	
Al presionar una tecla numérica cualquiera después de presionar cuatro dígitos, ya no se desplaza más el texto.	
Al presionar la tecla B (Función Enter).	

Tabla 19: Forma de escritura de frecuencias en módulo Receptor.

Como puede observarse la potencia recibida antes de disponer la frecuencia del transmisor es notablemente diferente a la obtenida cuando ya se ha sintonizado su frecuencia, debido a la cercanía de la fuente de transmisión, a la falta de obstrucciones entre fuente y receptor, la potencia de radiación, etc.

Debido a que en las condiciones descritas al inicio de este capítulo se obtiene el 100% de la potencia de la señal sintonizada en la escala de atenuación más baja del sintonizador, se debe considerar que si se disminuye la distancia entre el transmisor y receptor este último se saturará y

las lecturas realizadas a partir de éste serán inapropiadas, lo mismo sucedería si se incrementase la potencia sugerida para el transmisor. El valor de intensidad de señal relativa se reduciría al alejar la fuente del receptor, de igual manera se reduciría si se disminuye el valor de potencia radiada por el transmisor.

Luego de haber sintonizado la señal de 434 MHz del transmisor se midió nuevamente la FI1 a la salida del sintonizador VTSH6UZ78, dando como resultado el espectro de la figura 57. En FI1 se encuentra la señal 434 MHz desplazada a 50.45 MHz. Además se logra apreciar una segunda señal que está a 50 MHz, la cual es la que corresponde a nuestro oscilador externo, el cual se describió en la sección 6.2.2. Cabe mencionar que la señal recibida por la antena no varía por lo que se mantiene el espectro de la figura 53.

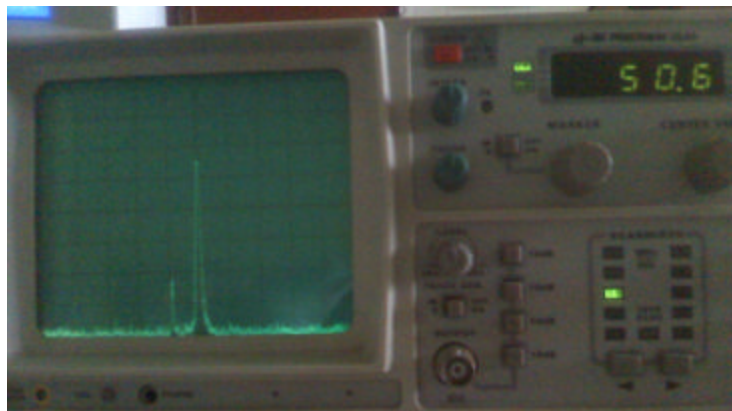


Figura 57: Espectro medido en el Receptor a la salida del sintonizador o FI1, luego de sintonizar los 434MHz del transmisor.

Luego de realizar el segundo mezclado se obtiene el espectro visualizado en la figura 58. En este espectro se visualiza la señal de referencia del analizador espectral y la señal de 434 MHz desplazada a 0.455 MHz.

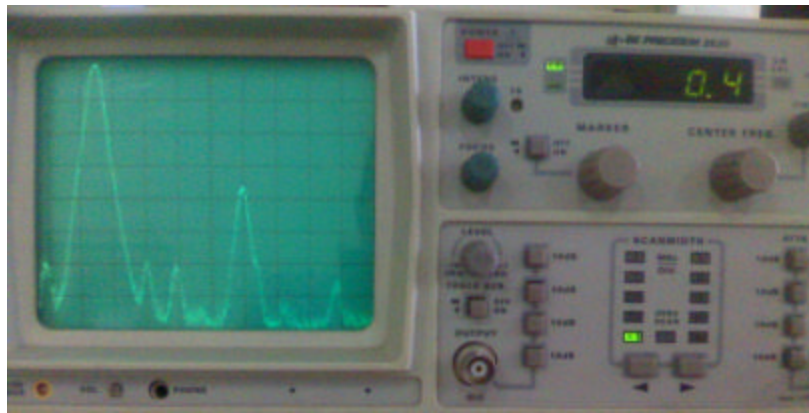


Figura 58: Espectro medido en el Receptor a la salida del segundo mezclador o FI2, Luego de sintonizar los 434MHz del transmisor.

7.1.2. Validación de la capacidad de medir la variación de la potencia ubicando la antena en diferentes grados de ubicación con respecto a la misma ubicación del transmisor.

Este apartado tiene como objetivo mostrar la forma de obtener el patrón de radiación de la antena que se está utilizando, para ello se ocupará como referencia las antenas del equipo de Lucas Nülle, con su respectiva toma de datos y formas de los patrones obtenidos por medio de ese equipo, así como las imágenes de las antenas que ellos sometieron a prueba.

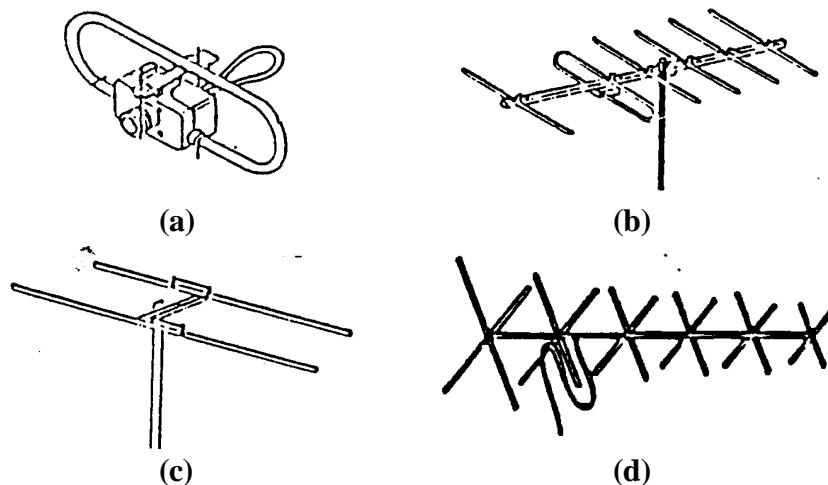


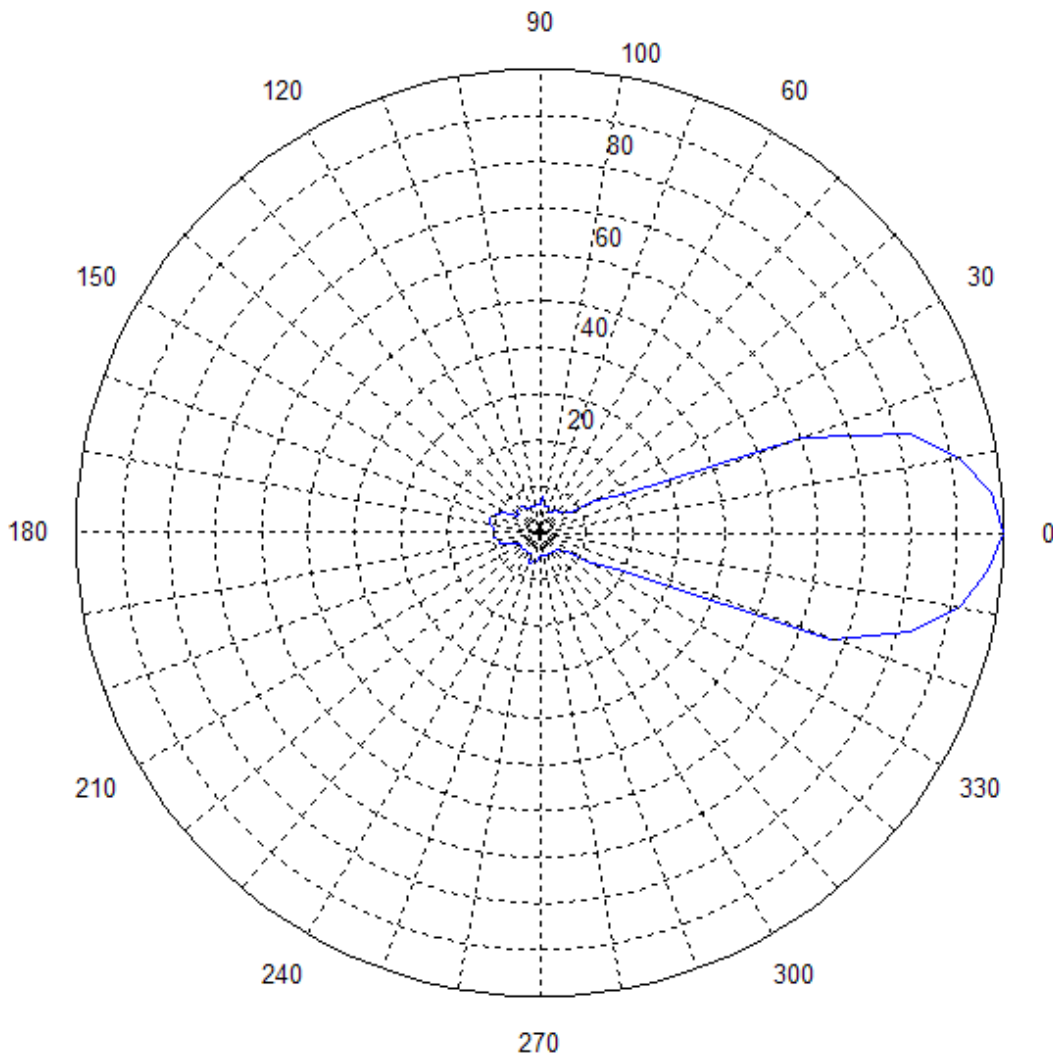
Figura 59: Diferentes tipos de antenas propuestas para el equipo de Lucas Nülle.

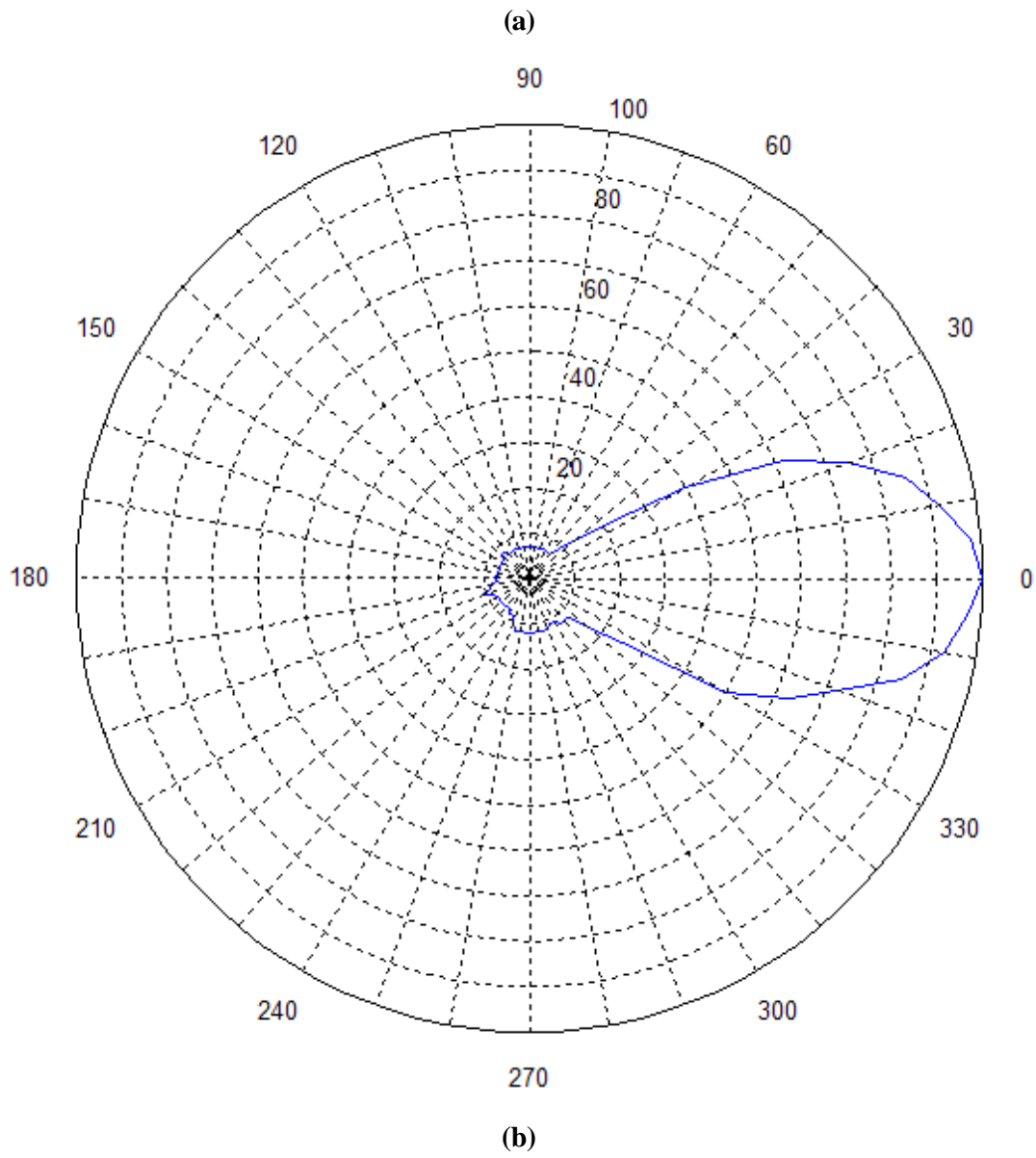
- (a) Antena tipo dipolo plegado, (b) Antena Yagi de 4 elementos,
(c) Antena Yagi de dos elementos, (d) Antena Yagi doble.

Para obtener los patrones de radiación de las antenas (b), (c) y (d) de la figura 59 el personal de Lucas-Nülle utilizó los parámetros descritos en la tabla 20. Los patrones de radiación de dichas antenas se muestran en la figura 60.

Tipo de antena en el receptor.	Potencia del Transmisor.	Separación entre Tx. y Rx.
Ant. Yagi de 4 elementos.	0.35 W	3 m
Ant. Yagi de 2 elementos.	0.26 W	3 m
Ant. Yagi doble.	0.70 W	3 m

Tabla 20: Valores de de distancia y potencia para la obtención de los patrones de radiación, utilizados por el personal de Lucas-Nülle.





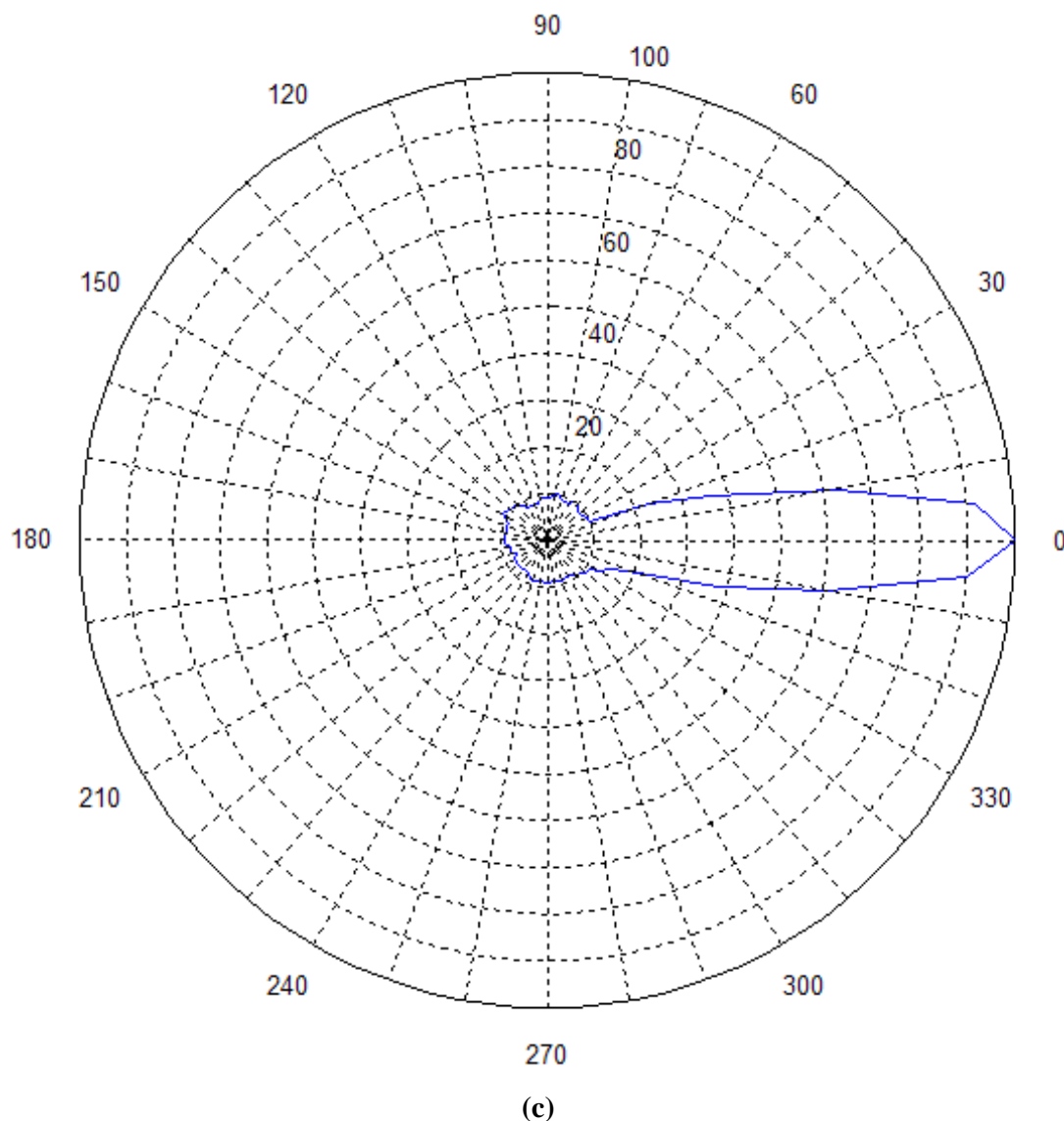


Figura 60: Diferentes patrones según su fabricante, para cada uno de los tipos de antenas propuestas para el equipo de Lucas Nülle. **(a)** Antena Yagi de 4 elementos, **(b)** Antena Yagi de dos elementos, **(c)** Antena Yagi doble.

La toma de datos para la obtención del patrón de radiación de las antenas con la plataforma automatizada de medición de patrones de radiación se muestra en la tabla 21. Los correspondientes patrones se muestran en la figura 61, 62, 63 y 64 respectivamente. Para obtener dichos patrones de radiación se utilizaron los parámetros descritos en la tabla 22.

Angulo	Antena tipo dipolo plegado.	Antena Yagi de 4 elementos	Antena Yagi de dos elementos	Antena Yagi doble
0	100.00	100.00	100.00	100.00
10	94.39	98.35	90.48	59.45
20	92.43	88.77	59.45	10.60
30	43.83	37.00	12.31	8.64
40	27.70	20.12	8.64	8.64
50	20.12	12.31	4.73	8.64
60	12.31	12.31	4.73	8.64
70	12.31	12.31	4.73	4.73
80	16.22	12.31	4.73	4.73
90	24.28	14.26	4.73	4.73
100	27.94	12.31	4.73	4.73
110	39.91	14.26	4.73	4.73
120	59.45	12.31	4.73	4.73
130	75.33	16.22	4.73	4.73
140	86.81	16.22	4.73	4.73
150	92.43	20.12	4.73	4.73
160	78.51	20.12	4.73	4.73
170	76.80	20.12	4.73	4.73
180	59.45	22.08	4.73	4.73
190	43.82	20.12	4.73	4.73
200	27.94	19.39	4.73	4.73
210	26.23	16.22	4.73	4.73
220	27.21	12.31	4.73	4.73
230	27.21	12.31	4.73	4.73
240	27.94	16.22	4.73	4.73
250	20.12	12.31	4.73	4.73
260	20.12	12.31	4.73	6.57
270	16.22	12.31	4.73	6.57
280	17.65	12.31	8.64	4.73
290	20.12	14.26	8.64	4.73
300	22.08	18.41	10.60	4.73
310	33.19	20.12	12.31	4.73
320	39.91	26.23	44.55	4.73
330	67.27	40.88	82.66	8.64
340	89.74	86.81	94.39	27.70
350	98.54	98.35	98.54	98.54
360	100.00	100.00	100.00	100.00

Tabla 21: Toma de datos para la obtención del patrón de radiación.

Tipo de antena en el receptor.	Potencia del Transmisor.	Separación entre Tx. y Rx.
Ant. tipo dipolo plegado.	0.15 W	4 m
Ant. Yagi de 4 elementos.	0.05 W	4 m
Ant. Yagi de 2 elementos.	0.26 W	4 m
Ant. Yagi doble.	0.80 W	4 m

Tabla 22: Valores de de distancia y potencia para la obtención de los patrones de radiación, utilizados por el personal de Lucas-Nülle.

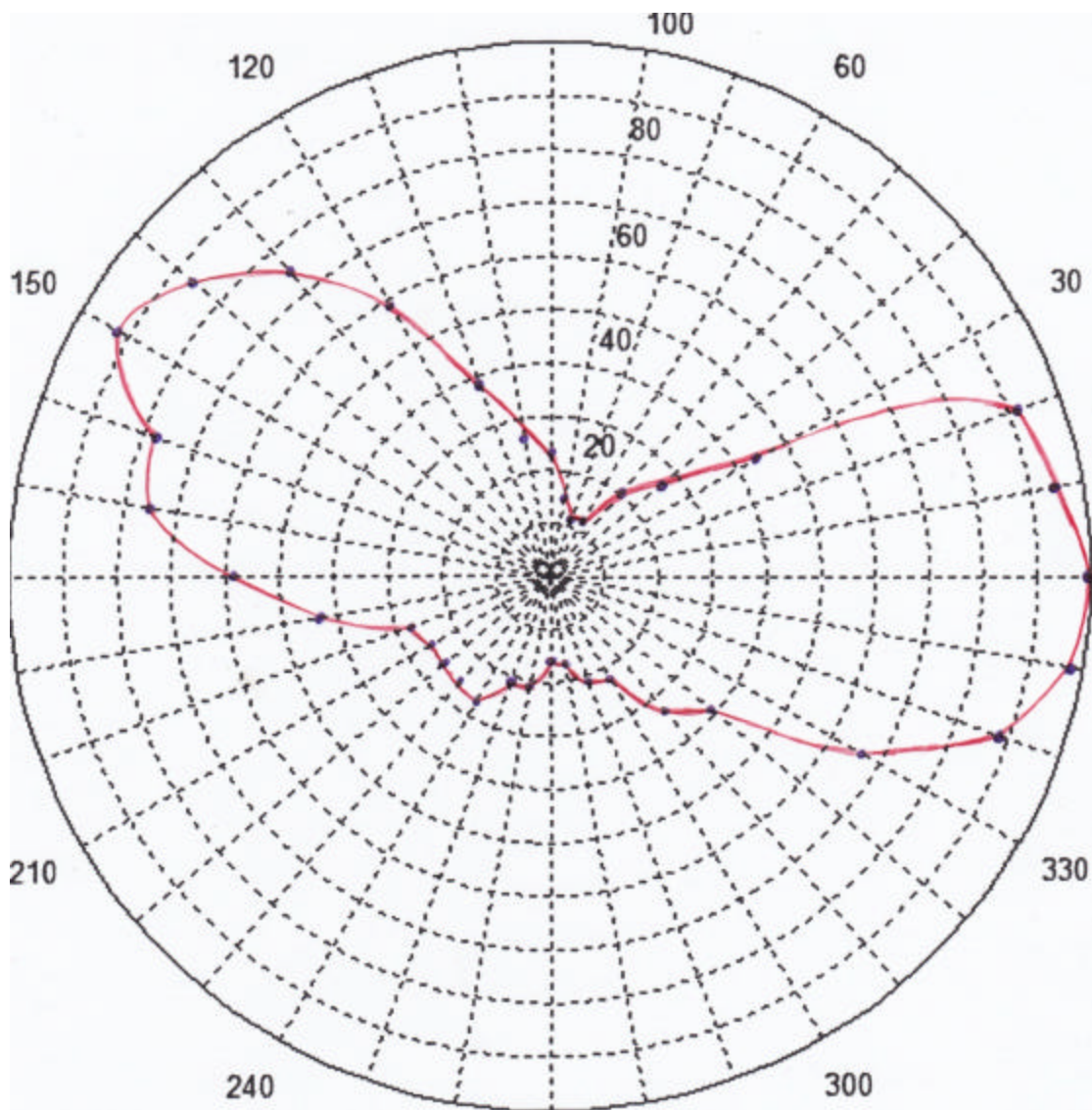


Figura 61: Patrón obtenido con el modulo receptor para antena propuestas del equipo de Lucas Nülle, Antena tipo dipolo plegado.

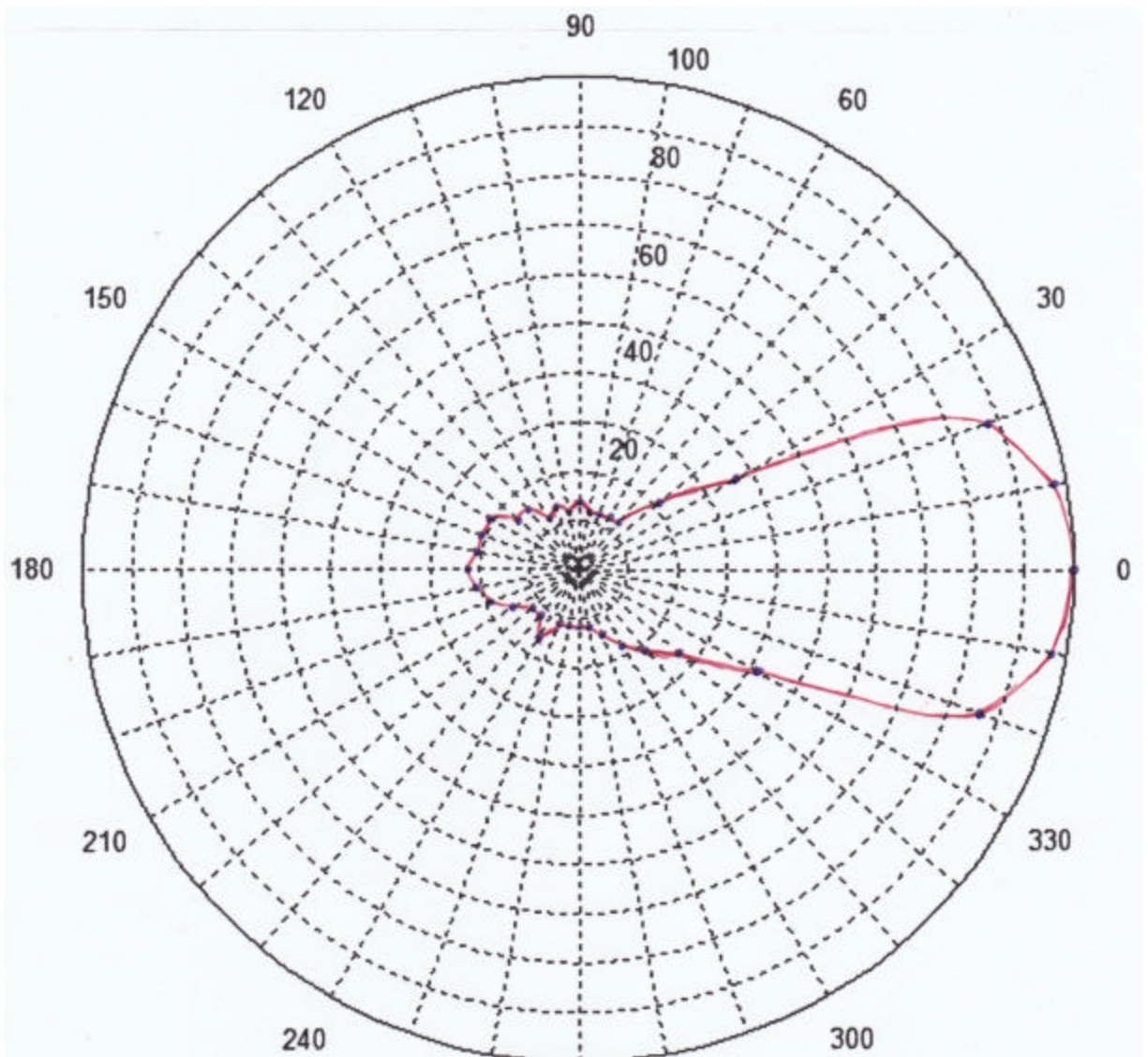


Figura 62: Patrón obtenido con el modulo receptor para antena propuestas del equipo de Lucas Nülle, Antena Yagi de 4 elementos.

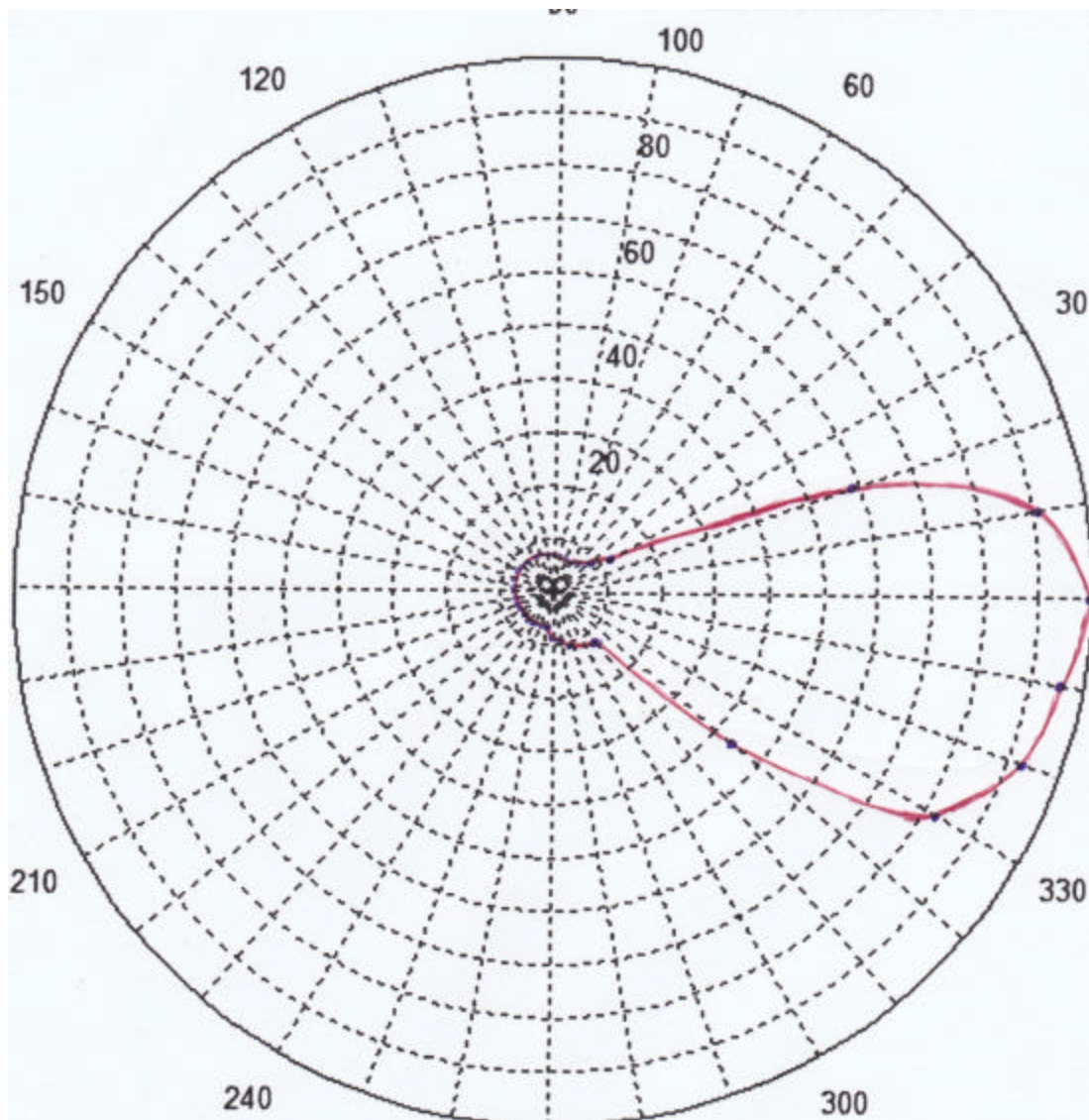


Figura 63: Patrón obtenido con el modulo receptor para antena propuestas del equipo de Lucas Nülle, Antena Yagi de dos elementos.

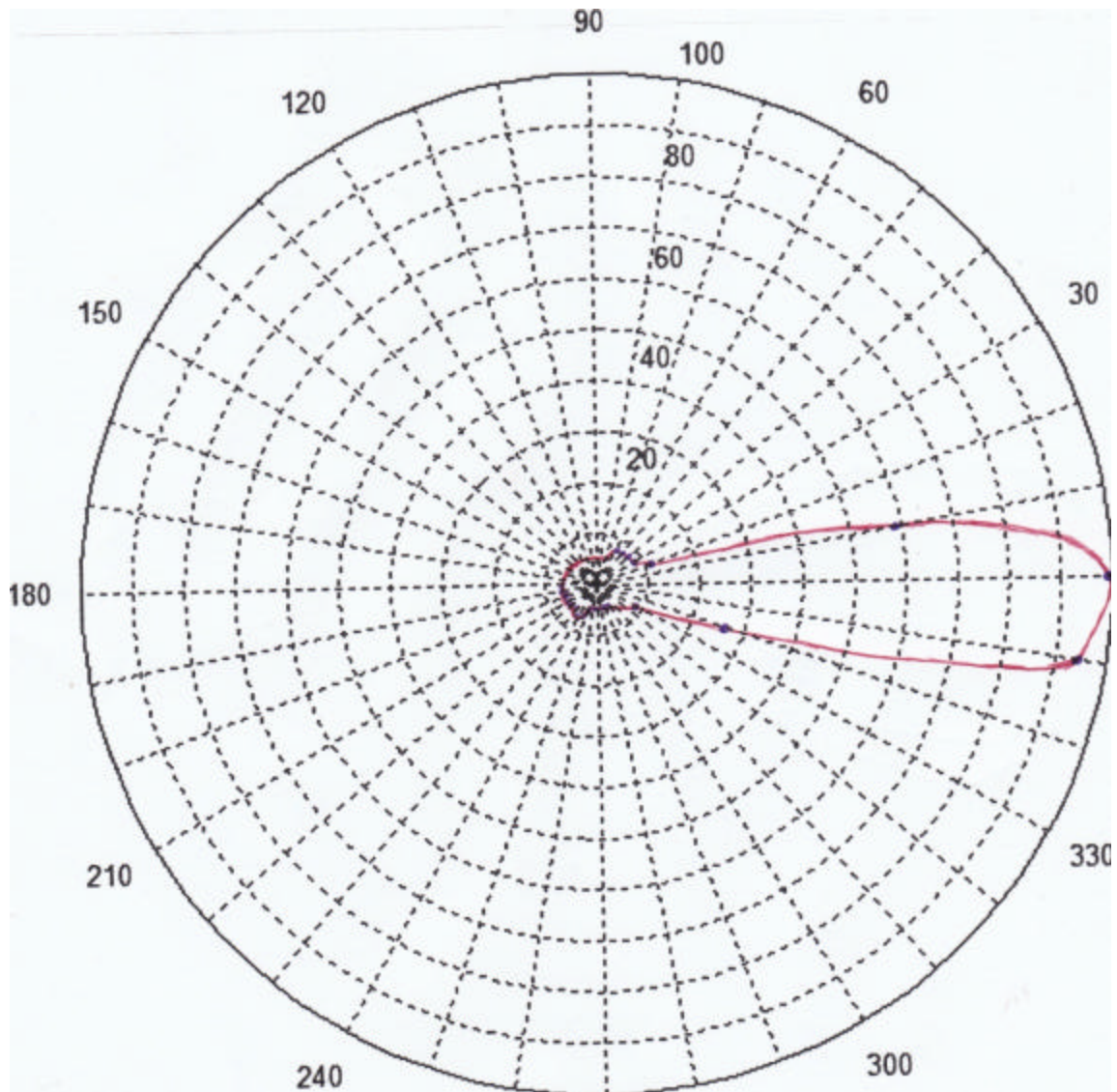


Figura 64: Patrón obtenido con el modulo receptor para antena propuestas del equipo de Lucas Nülle, Antena Yagi doble.

7.1.3. Validación del muestreo de intensidad de señal relativa en forma de porcentaje en una computadora de escritorio, por medio de la aplicación de comunicaciones hyperterminal de la misma.

Estos comandos son los que permiten la comunicación del módulo receptor por medio de protocolo RS232 con cualquier otro dispositivo al que se le configure el baud rate de 9600 bps, 8

bits de datos, sin paridad y un bit de stop. El circuito de comunicación serie del módulo receptor por medio del cual se envían y reciben los comandos y datos, fue descrito en la sección 6.4.6.

Las figuras 65 y 66 muestran los comandos que permiten interactuar vía remota con el circuito de la sección 6.4.5, en la que se describía que se tendrían 16 escalas posibles de atenuación de la señal sintonizada.

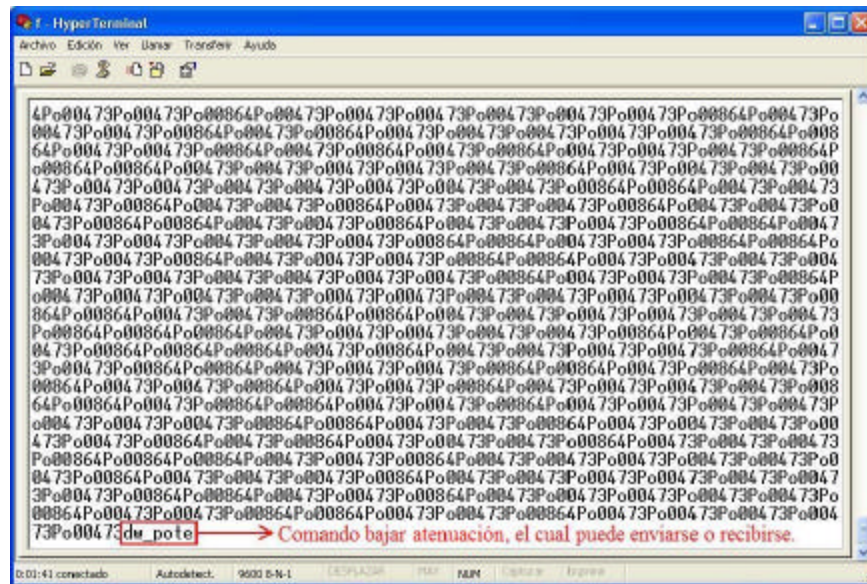


Figura 65: Comando bajar atenuación.

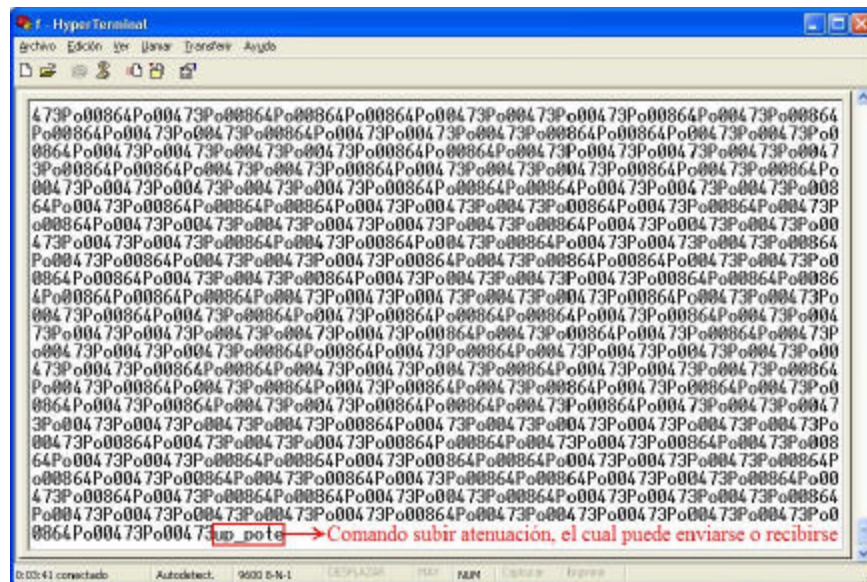

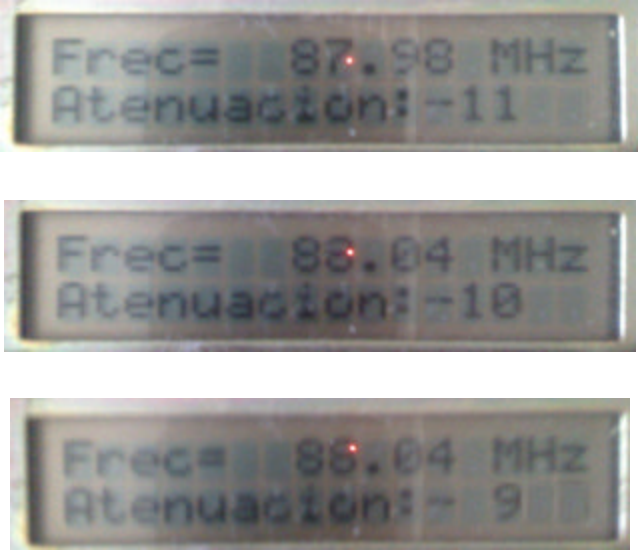



Figura 66: Comando subir atenuación.

7.1.4. Validación del funcionamiento del teclado de la aplicación.

La utilización del teclado numérico y el enter (tecla B) se describió en la sección 7.1.1, las demás teclas contienen funciones tales como cambiar la atenuación de la señal sintonizada, aumentar o disminuir la frecuencia en un tamaño de paso de 62.4 kHz, entre otras. Dicha descripción de teclas puede verse en la tabla 23.

Orden de teclas presionadas.	Visualización de LCD al presionar una tecla no numérica.
<p>Función Clear (Tecla A): Esta función permite limpiar el contenido completo de la segunda fila cuando por equivocación se ha digitado una frecuencia errónea. Lo que se muestra después de presionar esta tecla es la lectura de potencia como si no se hubiese presionado ninguna tecla numérica.</p>	
<p>Función bajar atenuación (Tecla C): Esta función permite disminuir en una escala la atenuación de la señal sintonizada de las 16 posibles explicadas en la sección 6.4.5.</p>	
<p>Función subir atenuación (Tecla D): Esta función permite aumentar en una escala la atenuación de la señal sintonizada de las 16 posibles explicadas en la sección 6.4.5.</p>	

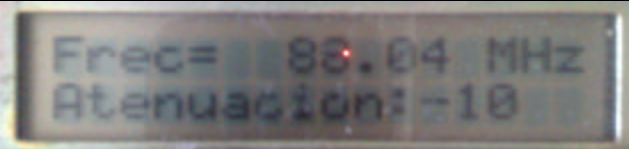







	 
<p>Función bajar frecuencia (Tecla E): Esta función permite disminuir la frecuencia sintonizada en un paso de 62.4 kHz por vez que se presione esta tecla.</p>	  
<p>Función subir frecuencia (Tecla F): Esta función permite aumentar la frecuencia sintonizada en un paso de 62.4 kHz por vez que se presione esta tecla.</p>	  

Tabla 23: Manejo de teclado del módulo receptor.

8. Conclusiones.

- Las mediciones de campo son un área importante en las telecomunicaciones y, por ende también lo es la regulación de las mismas. Las normas y técnicas de medición para la construcción de antenas, predicción de la propagación de señales y el diseño de áreas de cobertura son parte del estudio que se pretende enriquecer con la adición de este proyecto a las instalaciones de la Universidad Don Bosco, para potenciar las habilidades que cada ingeniero de telecomunicaciones debe poseer. De igual manera se espera que el proyecto cumpla un papel importante cuando se desea comprobar cualitativamente el patrón de radiación de antenas de origen comercial o de origen artesanal.
- Se ha dotado al laboratorio de la Universidad Don Bosco de una herramienta de hardware para la automatización de la medición de intensidad de señal relativa de antenas y la obtención de su respectivo patrón de radiación. Esta herramienta posee una comunicación con computadora lo que permite al usuario estar lejos del equipo de medición y, por ende, no incidir en la medición del patrón de radiación de la antena en prueba; además se deja abierta la posibilidad de que a través de diseño de programas informáticos se interpreten y utilicen los datos obtenidos de la aplicación desarrollada, en el campo de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes de la Universidad Don Bosco.
- Se ha diseñado y construido un módulo didáctico para la recepción de una señal comprendida entre los 39.06 a 999.96 MHz, el cual realiza la medición de la intensidad relativa de la señal en estudio, de acuerdo a la antena de prueba con las que se ejecuten las mediciones. El receptor será provisto a la universidad para la realización de prácticas de laboratorio en el área de propagación y antenas.
- Se pudo comprobar que la interfaz de la que fue provista la aplicación permite claramente la visualización del valor de frecuencia y de la intensidad relativa de la señal en forma de porcentaje que se desea monitorear, ya que se realizaron mediciones del nivel de señal

comparándolas con el receptor con el cual se realizan las prácticas de laboratorio, como adición a esto se considera conveniente que la LCD esté provista de una luz de fondo para su mejor visualización en ambientes oscuros.

- Con la aplicación desarrollada se logra sintonizar una frecuencia digitada por el usuario de la aplicación dentro del rango de operación del receptor con una resolución de 0.1 MHz.
- La aplicación permite la transmisión de los datos de intensidad de señal relativa a un dispositivo por medio de protocolo RS-232 con un baud rate de 9600bps. A su vez permite el control del seteo de frecuencia, atenuación, e incrementos/decrementos de la frecuencia en pasos de 62.4kHz del modulo receptor por medio del mismo protocolo.

9. Anexos.

9.1. Anexo 1: Código implementado en el microcontrolador.

```
#include <16F877A.h>
#device      adc=10
#FUSES      NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES      HS             //High speed Osc (> 4mhz)
#FUSES      PUT            //Power Up Timer
#FUSES      NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES      NODEBUG        //No Debug mode for ICD
#FUSES      NOLVP          //Low Voltage Programming on B3(PIC16) or B5(PIC18)
#FUSES      NOCPD          //No EE protection
#FUSES      NOWRT          //Program memory not write protected
#FUSES      NOBROWNOUT     //Reset when brownout detected
#use delay(clock=2000000,RESTART_WDT)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8,brgh1ok,restart_wdt)
#use fast_io(a)
#use fast_io(b)
#use fast_io(c)
#use fast_io(d)
#use fast_io(e)
#include <lcd.c>

// Declaracion de variables globales
//Variables utilizadas para la conversion hexadecimal a decimal
int N1;
int N2;
int N3;
int N4;
int N5;
int N6;
int N7;
int N8;
////////////////////////////////////
int16 Fx; //Variable de escritura de dirección para el establecimiento de frecuencia al sintonizador SPI
int32 Fhex; //Variable para la equivalencia direccion/frecuencia
int ban; //Variable para el establecimiento de bandas (VHF L, VHF H y UHF)para el sintonizador
//Variables para la escritura de la frecuencia a la pantalla LCD
int Dig1;
int Dig2;
int Dig3;
int Dig4;
////////////////////////////////////
int Cdig; //Variable de control de escritura de digitos
Signed Pot; //Variable de control de atenuacion al sintonizador
int Cond_muestreo; //Variable de control para envio de nivel de potencia hacia pantalla LCD
////////////////////////////////////

//Funcion utilizada para la inicializacion del sintonizador (frecuencia, banda y configuracion)
void SPI_Init(int FM,int FL,int b)
{
```

```
int B_b;
int i=0;
B_b=b;
output_high(pin_c2);
delay_ms(20);

for (i=0;i<4;++i){
    output_low(pin_c3);
    delay_ms(20);
    if (bit_test(B_b,3)){
        output_bit(pin_c4,1);
    }
    if (!bit_test(B_b,3)){
        output_bit(pin_c4,0);
    }
    delay_ms(20);
    output_high(pin_c3);
    delay_ms(20);
    B_b=B_b<<1;
}
B_b=FM;
for (i=0;i<7;++i){
    output_low(pin_c3);
    delay_ms(20);
    if (bit_test(B_b,6)){
        output_bit(pin_c4,1);
    }
    if (!bit_test(B_b,6)){
        output_bit(pin_c4,0);
    }
    delay_ms(20);
    output_high(pin_c3);
    delay_ms(20);
    B_b=B_b<<1;
}
B_b=FL;
for (i=0;i<8;++i){
    output_low(pin_c3);
    delay_ms(20);
    if (bit_test(B_b,7)){
        output_bit(pin_c4,1);
    }
    if (!bit_test(B_b,7)){
        output_bit(pin_c4,0);
    }
    delay_ms(20);
    output_high(pin_c3);
    delay_ms(20);
    B_b=B_b<<1;
}
B_b=0b00000000;
for (i=0;i<16;++i){
    output_low(pin_c3);
    delay_ms(20);
```

```
    if (bit_test(B_b,7)){
        output_bit(pin_c4,1);
    }
    if (!bit_test(B_b,7)){
        output_bit(pin_c4,0);
    }
    delay_ms(20);
    output_high(pin_c3);
    delay_ms(20);
    B_b=B_b<<1;
}
output_low(pin_c3);
delay_ms(20);
output_low(pin_c2);
delay_ms(20);
}
```

//Funcion utilizada para el seteo de frecuencia y banda para el sintonizador

```
void SPI(int FM,int FL, int b)
```

```
{
    int B_b;
    int i=0;
    B_b=b;
    delay_ms(20);
    output_high(pin_c2);

    for (i=0;i<4;++i){
        output_low(pin_c3);
        delay_ms(20);
        if (bit_test(B_b,3)){
            output_bit(pin_c4,1);
        }
        if (!bit_test(B_b,3)){
            output_bit(pin_c4,0);
        }
        delay_ms(20);
        output_high(pin_c3);
        delay_ms(20);
        B_b=B_b<<1;
    }
    B_b=FM;
    for (i=0;i<7;++i){
        output_low(pin_c3);
        delay_ms(20);
        if (bit_test(B_b,6)){
            output_bit(pin_c4,1);
        }
        if (!bit_test(B_b,6)){
            output_bit(pin_c4,0);
        }
        delay_ms(20);
        output_high(pin_c3);
        delay_ms(20);
        B_b=B_b<<1;
    }
}
```

```
}
B_b=FL;
for (i=0;i<8;++i){
    output_low(pin_c3);
    delay_ms(20);
    if (bit_test(B_b,7)){
        output_bit(pin_c4,1);
    }
    if (!bit_test(B_b,7)){
        output_bit(pin_c4,0);
    }
    delay_ms(20);
    output_high(pin_c3);
    delay_ms(20);
    B_b=B_b<<1;
}
output_low(pin_c3);
delay_ms(20);
output_low(pin_c2);
delay_ms(20);
}
```

//Funcion utilizada para la conversion de hexadecimal a decimal

```
void HexDec(int32 Hex){
    N1=0;
    N2=0;
    N3=0;
    N4=0;
    N5=0;
    N6=0;
    N7=0;
    N8=0;

    do{
        if (Hex==0){
            break;
        }
        ++N1;
        if (N1==0xa){
            ++N2;
            N1=0;
        }
        if (N2==0xa){
            ++N3;
            N2=0;
        }
        if (N3==0xa){
            ++N4;
            N3=0;
        }
        if (N4==0xa){
            ++N5;
            N4=0;
        }
    }
}
```

```
        if (N5==0xa){
            ++N6;
            N5=0;
        }
    if (N6==0xa){
        ++N7;
        N6=0;
    }
    if (N7==0xa){
        ++N8;
        N7=0;
    }
    --Hex;
}while(true);
}
```

//Funcion utilizada para la conversion de decimal a hexadecimal

```
void Dec_Hex(int Dat4,int Dat3,int Dat2,int Dat1){
    int dat0;
    Fhex=0;
    Dat0=0;
    Dat1=Dat1-48;
    Dat2=Dat2-48;
    Dat3=Dat3-48;
    Dat4=Dat4-48;

    do{
        if (Dat4 == 0 && Dat3 == 0){
            if(Dat2 == 0 && Dat1 == 0 && Dat0==0){
                break;
            }
        }
        if (Dat0==0xFF){
            Dat0=9;
            --Dat1;
        }
        if (Dat1==0xFF){
            Dat1=9;
            --Dat2;
        }
        if (Dat2==0xFF){
            Dat2=9;
            --Dat3;
        }
        if (Dat3==0xFF){
            Dat3=9;
            --Dat4;
        }
        if (Dat4==0xFF){
            Dat4=9;
        }
        --Dat0;
        ++Fhex;
    }while(true);
}
```

```
}

//Funcion para manejar la atenuacion del nivel de señal
void Potencia (Signed Pot_UD){
    int Data3;
    int Data2;
    int Data1;
    int Data0;

    if (Pot_UD>=15){
        Pot_UD=15;
        Pot=15;
    }
    if (Pot_UD<=0){
        Pot_UD=0;
        Pot=0;
    }

    Data3=Pot_UD/8;
    Data0=Pot_UD%2;
    Data1=Pot_UD/2;
    Data2=Data1/2;
    Data1=Data1%2;
    Data2=Data2%2;
    output_bit(pin_c0,Data3);
    output_bit(pin_e2,Data2);
    output_bit(pin_e1,Data1);
    output_bit(pin_e0,Data0);
    lcd_putc("\nAtenuacion:");

    if (Pot_UD==0){
        lcd_putc(" ");
        lcd_putc(Pot_UD+48);
        lcd_putc(" dB");
    }
    if (Pot_UD<10){
        lcd_putc("- ");
        lcd_putc(Pot_UD+48);
        lcd_putc("dB");
    }
    if (Pot_UD>=10){
        lcd_putc("-");
        lcd_putc("1");
        lcd_putc(Pot_UD+38);
        lcd_putc("dB");
    }
}

//Funcion utilizada para la deteccion y envio de de digito a la pantalla, equivalente a la tecla presionada
void Tecla(int Tec){
    ///      PARA ESCRIBIR EN LCD      ///
    ///  La funcion lcd_putc(c) Enviara a la pantalla LCD  el contenido en "c"  ///
    ///  Funciones especiales:          ///
    ///      \f Limpia la pantalla      ///

```

```
////          \n Se mueve el cursor a la segunda linea de la pantalla      ////
////          \b Regrega el cursor a una posicion anterior                ////
Cond_muestreo=0;
if (Cdig==1){
    lcd_putc("\n  0. MHz");
    lcd_putc("\b\b\b\b\b\b");
    Dig1=Tec;
    lcd_putc(Dig1);
}
if (Cdig==2){
    lcd_putc("\b\b\b");
    Dig2=Dig1;
    lcd_putc(Dig2);
    lcd_putc(".");
    Dig1=Tec;
    lcd_putc(Dig1);
}
if (Cdig==3){
    lcd_putc("\b\b\b\b");
    Dig3=Dig2;
    Dig2=Dig1;
    Dig1=Tec;
    lcd_putc(Dig3);
    lcd_putc(Dig2);
    lcd_putc(".");
    lcd_putc(Dig1);
}
if (Cdig==4){
    lcd_putc("\b\b\b\b\b\b");
    Dig4=Dig3;
    Dig3=Dig2;
    Dig2=Dig1;
    Dig1=Tec;
    lcd_putc(Dig4);
    lcd_putc(Dig3);
    lcd_putc(Dig2);
    lcd_putc(".");
    lcd_putc(Dig1);
}
}
```

//Funcion de escritura de la frecuencia a la pantalla LCD

```
void LCD(){
    lcd_putc("\fFrec= ");

    if(N5==0){
        N5=" ";
        N5=N5-48;
    }
    lcd_putc(N5+48);
    lcd_putc(N4+48);
    lcd_putc(N3+48);
    lcd_putc(".");
    lcd_putc(N2+48);
}
```

```
if(N1==0){
    N1=" ";
    N1=N1-48;
}
lcd_putc(N1+48);
lcd_putc(" MHz");
}

void main()
{
    // Declaracion de variables locales
    int16  Dat_Conv; //Variable utilizada para almacenar la conversion analogo digital del nivel de potencia
    int16  Dat_C;    //Variable utilizada para almacenar el ajuste porcentual del nivel de potencia
    //Variables para la comunicación y detección de de código de comando, vía RS232
    int  r0;
    int  r1;
    int  r2;
    int  r3;
    int  r4;
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    int  cont_c; //Variable utilizada para el conteo de teclas presionadas
    int  Fh;    //Variable utilizada para almacenar la parte alta de la direccion
    //equivalente de la frecuencia a enviar al sintonizador
    int  Fl;    //Variable utilizada para almacenar la parte baja de la direccion
    //equivalente de la frecuencia a enviar al sintonizador
    int  Control; //
    int  Dir;    //Variable utilizada para almacenar la direccion interna del PIC de la variable Fx
    int  cont;   //Variable utilizada para el barrido de columnas en el teclado
    int  Cont_A; //Variable que se almacena la funcion a realizar de acuerdo al comando recibido via RS232

    //Inicializacion de variables globales y locales
    Fh=0x00;
    Fl=0x00;
    Dig1="0";
    Dig2="0";
    Dig3="0";
    Dig4="0";
    Cdig=1;
    Control=0;
    cont=0;
    Dat_Conv=0;
    Dat_C=0;
    Pot=15;
    Cont_A=0;
    r0=0;
    r1=0;
    r2=0;
    r3=0;
    r4=1;
    cont_c=1;
    Cond_muestreo=1;

    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    // Configuracion I/O de los puertos A,B,C,D y E del PIC
```

```
set_tris_a(0x01);
set_tris_b(0xF0);
set_tris_c(0x80);
set_tris_d(0x00);
set_tris_e(0x00);

////////////////////////////////////
//Seteo de bits de las salidas
output_low(pin_c2); //ENABLE del sintonizador
output_high(pin_b0);
output_high(pin_b1);
output_high(pin_b2);
output_high(pin_b3);

////////////////////////////////////
//Configuracion de las funciones del PIC
setup_adc_ports(AN0);
setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_2);
setup_psp(PSP_DISABLED);
setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
set_adc_channel(0);
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
setup_timer_1(T1_DISABLED);
setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
setup_vref(FALSE);
lcd_init();
////////////////////////////////////
Fx=0x583; //Direccion de frecuencia equivalente a 88.04MHz
Fhex=Fx * 6.24; //Arreglo de direccion de frecuencia para visualizar en pantalla
HexDec(Fhex);
LCD();
ban=1;
Fx=Fx+0x31A; //Fx=0x89D Para (88.04 + 49.5) MHz

Dir=&Fx;
Fl=*Dir;
++Dir;
Fh=*Dir;

SPI_Init(Fh,Fl,ban); //Inicialización del sintonizador
Potencia (Pot);

do{
//Realización de Conversión analógica a digital del nivel de señal
Dat_Conv=READ_ADC();
delay_us(15);

////////////////////////////////////
//Ajuste de piso de la conversión
if(Dat_Conv<=0xCD){
Dat_Conv=0xCD;
}
}
```

```
if(Dat_Conv>=0x266){
    Dat_Conv=0x266;
}

////////////////////////////////////
//Ajuste y envio de nivel de señal al puerto serie
Dat_C=(100*(Dat_Conv/10.23)-2000)*2.499;
HexDec(Dat_C);
putc(80);          //Comando Po d5 d4 d3 d2 d1
putc(111);
putc(48+N5);
putc(48+N4);
putc(48+N3);
putc(48+N2);
putc(48+N1);

////////////////////////////////////
//Envio de nivel de señal a la pantalla LCD
if (Cond_muestreo==1){
    lcd_putc("\nPot = ");
    if (N5==0)
        lcd_putc(" ");
    else
        lcd_putc(48+N5);

    lcd_putc(48+N4);
    lcd_putc(48+N3);
    lcd_putc(".");
    lcd_putc(48+N2);
    lcd_putc(48+N1);
    lcd_putc(" %");
}

////////////////////////////////////
//Resección del código de comando, proveniente del puerto serie
if (cont_c==1){
    if (kbhit()){
        r0=getc();
        ++cont_c;
    }
}
if (cont_c==2){
    if (kbhit()){
        r1=getc();
        ++cont_c;
    }
}
if (cont_c==3){
    if (kbhit()){
        r2=getc();
        ++cont_c;
    }
}
if (cont_c>3){
```

```
    cont_c=1;
}

////////////////////////////////////
//Identificación del código de comando
if (r0==102 && r1==114 && r2==101){           //f=102 r=114 e=101
    cont_c=1;
    r4=1;
    lcd_putc("\n comando fre  ");
    do{
        if (cont_c==1){
            if (kbhit()){
                dig4=getc();
                ++cont_c;
            }
        }
        if (cont_c==2){
            if (kbhit()){
                dig3=getc();
                ++cont_c;
            }
        }
        if (cont_c==3){
            if (kbhit()){
                dig2=getc();
                ++cont_c;
            }
        }
        if (cont_c==4){
            if (kbhit()){
                dig1=getc();
                ++cont_c;
            }
        }
        if (cont_c>4){
            cont_c=1;
            r4=2;
        }
    }while(r4==1);
    r0=0;
    r1=0;
    r2=0;
    r3=1;
    Cont_A=1;
}

if (r0==117 && r1==112 && r2==95){           //u=117 p=112 _=95
    cont_c=1;
    r4=1;
    lcd_putc("\n comando up_ ");
    do{
        if (cont_c==1){
            if (kbhit()){
                r0=getc();
            }
        }
    }
}
```

```
        ++cont_c;
    }
}
if (cont_c==2){
    if (kbhit()){
        r1=getc();
        ++cont_c;
    }
}
if (cont_c==3){
    if (kbhit()){
        r2=getc();
        ++cont_c;
    }
}
if (cont_c==4){
    if (kbhit()){
        r3=getc();
        ++cont_c;
    }
}
if (cont_c>4){
    cont_c=1;
    r4=2;
}
}while(r4==1);
if (r0==102 && r1==114 && r2==101 && r3==99){    //f=102 r=114 e=101 c=99
    Cont_A=2;
}
if (r0==112 && r1==111 && r2==116 && r3==101){    //p=112 o=111 t=116 e=101
    Cont_A=4;
}
r0=0;
r1=0;
r2=0;
r3=1;
}

if (r0==100 && r1==119 && r2==95){                //d=117 w=112 _=95
    cont_c=1;
    r4=1;
    lcd_putc("\n comando dw_ ");
    do{
        if (cont_c==1){
            if (kbhit()){
                r0=getc();
                ++cont_c;
            }
        }
        if (cont_c==2){
            if (kbhit()){
                r1=getc();
                ++cont_c;
            }
        }
    }
}
```

```
    }
    if (cont_c==3){
        if (kbhit()){
            r2=getc();
            ++cont_c;
        }
    }
    if (cont_c==4){
        if (kbhit()){
            r3=getc();
            ++cont_c;
        }
    }
    if (cont_c>4){
        cont_c=1;
        r4=2;
    }
}while(r4==1);
if (r0==102 && r1==114 && r2==101 && r3==99){ //f=102 r=114 e=101 c=99
    Cont_A=3;
}
if (r0==112 && r1==111 && r2==116 && r3==101){ //p=112 o=111 t=116 e=101
    Cont_A=5;
}
r0=0;
r1=0;
r2=0;
r3=1;
}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////TECLADO////////////////////////////////////
if (input(pin_b0)==0 && input(pin_b4)==0){ //Tecla 1
    Tecla("1");
    ++Cdig;
    Control=1;
    delay_ms(100);
}

if (input(pin_b1)==0 && input(pin_b4)==0){ //Tecla 2
    Tecla("2");
    ++Cdig;
    Control=1;
    delay_ms(100);
}

if (input(pin_b2)==0 && input(pin_b4)==0){ //Tecla 3
    Tecla("3");
    ++Cdig;
    Control=1;
    delay_ms(100);
}

if (input(pin_b0)==0 && input(pin_b5)==0){ //Tecla 4
```

```
    Tecla("4");
    ++Cdig;
    Control=1;
    delay_ms(100);
}

if (input(pin_b1)==0 && input(pin_b5)==0){           //Tecla 5
    Tecla("5");
    ++Cdig;
    Control=1;
    delay_ms(100);
}

if (input(pin_b2)==0 && input(pin_b5)==0){           //Tecla 6
    Tecla("6");
    ++Cdig;
    Control=1;
    delay_ms(100);
}

if (input(pin_b0)==0 && input(pin_b6)==0){           //Tecla 7
    Tecla("7");
    ++Cdig;
    Control=1;
    delay_ms(100);
}

if (input(pin_b1)==0 && input(pin_b6)==0){           //Tecla 8
    Tecla("8");
    ++Cdig;
    Control=1;
    delay_ms(100);
}

if (input(pin_b2)==0 && input(pin_b6)==0){           //Tecla 9
    Tecla("9");
    ++Cdig;
    Control=1;
    delay_ms(100);
}

if ((input(pin_b3)==0 && input(pin_b4)==0)||((Cont_A==2)){ //Frec UP ( Tecla F)
    Fx=Fx-0x31A;
    ++Fx;
    if (Fx>=0x3E99){
        Fx=0x3E99;
    }
    Fhex=Fx * 6.24;
    Fx=Fx+0x31A;
    Dir=&Fx;
    Fl=*Dir;
    ++Dir;
    Fh=*Dir;
    if(Fx<0xa00){
```

```
        ban=1;
    }
    if(Fx>=0xa00 && fx<0x1800){
        ban=2;
    }
    if(Fx>=0x1800){
        ban=4;
    }
    SPI(Fh,Fl,ban);
    HexDec(Fhex);
    LCD();
    Cont_A=0;
}

if ((input(pin_b3)==0 && input(pin_b5)==0)||Cont_A==3){ //Frec DW (Tecla E)
    --Fx;
    Fx=Fx-0x31A;
    if (Fx<=0x272){
        Fx=0x272;
    }
    Fhex=Fx * 6.24;
    Fx=Fx+0x31A;
    Dir=&Fx;
    Fl=*Dir;
    ++Dir;
    Fh=*Dir;
    if(Fx<0xa00){
        ban=1;
    }
    if(Fx>=0xa00 && fx<0x1800){
        ban=2;
    }
    if(Fx>=0x1800){
        ban=4;
    }
    SPI(Fh,Fl,ban);
    HexDec(Fhex);
    LCD();
    Cont_A=0;
}

if (input(pin_b0)==0 && input(pin_b7)==0){ //Tecla Clear (A)
    Cond_muestreo=1;
    Cdig=1;
    Control=0;
    HexDec(Fhex);
    LCD();
    delay_ms(100);
}

if (input(pin_b1)==0 && input(pin_b7)==0){ //Tecla 0
    Tecla("0");
    ++Cdig;
    Control=1;
}
```

```
    delay_ms(100);
}

if ((input(pin_b2)==0 && input(pin_b7)==0)||Cont_A==1){ //Tecla Enter(B)
    Cond_muestreo=1;
    if(control==1 || Cont_A==1 ){
        Dec_Hex(Dig4, Dig3, Dig2, Dig1);
        if (Fhex<=0x272*6.24){
            Fhex=0x272*6.24;
        }
        Fx=Fhex/6.24;
        ++Fx;
        Fx=Fx+0x31A;
        Dir=&Fx;
        Fl=*Dir;
        ++Dir;
        Fh=*Dir;
        if(Fx<0xa00){
            ban=1;
        }
        if(Fx>=0xa00 && fx<0x1800){
            ban=2;
        }
        if(Fx>=0x1800){
            ban=4;
        }
        HexDec(Fhex);
        LCD();
        SPI(Fh,Fl,ban);
        Dig1="0";
        Dig2="0";
        Dig3="0";
        Dig4="0";
        Cdig=1;
        Control=0;
        delay_ms(100);
    }
    Cont_A=0;
}

if ((input(pin_b3)==0 && input(pin_b6)==0)||Cont_A==4){ // UP P (Tecla D)
    Potencia(++Pot);
    delay_ms(1200);
    Cdig=1;
    Control=0;
    Cont_A=0;
    delay_ms(100);
}

if ((input(pin_b3)==0 && input(pin_b7)==0)||Cont_A==5){ //Dw P (Tecla C)
    Potencia(--Pot);
    delay_ms(1200);
    Cdig=1;
    Control=0;
}
```

```
Cont_A=0;
delay_ms(100);
}

////////////////////////////////////
//Barrido de columnas del teclado
if(cont==0){
    output_high(pin_b3);
    output_low(pin_b0);
}
if(cont==1){
    output_high(pin_b0);
    output_low(pin_b1);
}
if(cont==2){
    output_high(pin_b1);
    output_low(pin_b2);
}
if(cont==3){
    output_high(pin_b2);
    output_low(pin_b3);
    cont=0xff;
}
++cont;
////////////////////////////////////
}while(true);
}
```

9.2.Anexo 2: Palabras de comando de comunicación vía RS-232.

Las palabras descritas en la tabla 24 tienen como función la de comunicar la aplicación con algún dispositivo que pueda interactuar en protocolo RS232; tal es el caso de una computadora, otro microcontrolador, etc. Estos comandos pueden ser enviados desde la aplicación hacia otro periférico o en sentido inverso.

Comando a enviar	Descripción
f r e d4 d3 d2 d1	Este comando sirve para cambiar la frecuencia de sintonización, debe interpretarse d4 = centenas, d3 = decenas, d2 = unidades y d1 = centésimas; la frecuencia se escribe en MHz. En la figura 69 se aprecia un ejemplo la señal de 434 MHz.

u p _ f r e c	Este comando aumenta la frecuencia sintonizada en un paso de 62.4 kHz cada vez que se envíe o reciba este comando, en la tabla 23 se aprecian los cambios que se visualizarían en la LCD del modulo receptor al recibir este comando. Este comando también se envía al momento de presionar la tecla F del modulo receptor.
d w _ f r e c	Este comando disminuye la frecuencia sintonizada en un paso de 62.4 kHz cada vez que se envíe o reciba este comando, al igual que en el comando anterior en la tabla 23 pueden apreciarse los cambios que se visualizarían en la LCD del modulo receptor al recibir este comando. Este comando también se envía al momento de presionar la tecla E del modulo receptor.
u p _ p o t e	Este comando aumenta en una escala de 16 posibles la atenuación de la señal sintonizada.
d w _ p o t e	Este comando disminuye en una escala de 16 posibles la atenuación de la señal sintonizada.
Po d5 d4 d3 d2 d1	Este es el único comando unidireccional de la aplicación, ya que solo se envía de la Plataforma Automatizada de Medición de patrones de radiación, parte I hacia otro dispositivo periférico, conteniendo la información de la potencia relativa de la señal sintonizada. Este comando se interpreta como: d5 = centenas, d4 = decenas, d3 = unidades, d2 = centésimas y d1 = milésimas; la potencia se expresa en forma de porcentaje. En la figura 70 se muestran unos ejemplos correspondientes a este comando.

Tabla 24: Palabras de comando de comunicación vía RS-232 en modo full dúplex con el módulo Receptor.

10. Referencias.

- Capitulo 10: Antenas y Guías de Ondas, terminología y definiciones
Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.
Cuarta Edición, 2003.
Wayne Tomasi.
Pearson Educación, México.
- Filtros SAW [consulta en línea: 11 Enero 2009]
<http://www.geocities.com/avrelec2/Los-Filtros-SAW.htm>
- Datasheet SA615 [Hoja técnica de sistema FI mezclador de FM de alto rendimiento y baja potencia, consulta en línea: 22 Febrero 2009]
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/SA615.pdf>
- Datasheet PIC16F877 [Hoja técnica de datos de microcontrolador PIC16F877, consulta en línea: 22 Febrero 2009]
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf>
- Datasheet HD44780 [Hoja técnica de datos de pantalla de Cristal líquido, consulta en línea: 11 Marzo 2009]
<http://www.ladyada.net/media/lcd/HD44780.pdf>
- Datasheet MC44817 [Hoja técnica de circuito sintonizador PLL con Bus SPI, consulta en línea: 9 Mayo 2009]
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MC44817BD.pdf>
- Datasheet MC44818 [Hoja técnica de circuito sintonizador PLL con Bus I2C, consulta en línea: 9 Mayo 2009]
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MC44818.pdf>
- Información relacionada al protocolo RS232 [consulta en línea: 24 Mayo 2009]
<http://www.lammertbies.nl/comm/cable/RS-232.html>
- Información relacionada al protocolo SPI e I2C [consulta en línea: 24 Mayo 2009]
<http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf>
http://www.geocities.com/micros_uan/cap47.html
- Información relacionada al funcionamiento del IC SA615 [consulta en línea: 7 Junio 2009]
http://books.google.com/sv/books?id=_2HCio8aZiQC&pg=PA290&lpg=PA290&dq=cristales+para+am+455+khz&source=bl&ots=vs01P2xUoa&sig=c0NDk4Lpuseea1iq3-ovOz1Ffnc&hl=es&ei=z4lgSqOYPI6StgfXnfXeDA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=8#v=onepage&q=&f=false