



Escuela Superior
de Ingeniería

MASTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA
DE SISTEMAS Y DE LA COMPUTACIÓN POR LA UNIVERSIDAD
DE CÁDIZ

**SISTEMA DE POSICIONAMIENTO
AUTÓNOMO Y TELEGUIADO DE
ANTENAS, PARA RECEPTORES DE
SEÑALES DE RADIOFRECUENCIA CON
DISPOSITIVOS DE BAJO COSTE SDR,
ENFOCADOS A LA OBSERVACIÓN DE
CUERPOS CELESTES Y OTRAS
FUENTES DE SEÑALES DE RADIO.**

AUTOR: TOMÁS BERMÚDEZ TRAVIESO

Cádiz, Febrero de 2016



Escuela Superior
de Ingeniería

MASTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA
DE SISTEMAS Y DE LA COMPUTACIÓN POR LA UNIVERSIDAD
DE CÁDIZ

**SISTEMA DE POSICIONAMIENTO
AUTÓNOMO Y TELEGUIADO DE
ANTENAS, PARA RECEPTORES DE
SEÑALES DE RADIOFRECUENCIA CON
DISPOSITIVOS DE BAJO COSTE SDR,
ENFOCADOS A LA OBSERVACIÓN DE
CUERPOS CELESTES Y OTRAS
FUENTES DE SEÑALES DE RADIO.**

DIRECTOR: CARLOS MASCAREÑAS Y PEREZ IÑIGO

DIRECTOR: ARTURO MORGADO ESTEVEZ

AUTOR: TOMÁS BERMÚDEZ TRAVIESO

Cádiz, Febrero de 2016

ÍNDICE.

Contenido

ÍNDICE.	3
AGRADECIMIENTOS.	5
1. ABSTRACT	6
1.1. PALABRAS CLAVES.	7
2. INTRODUCCIÓN	8
3. OBJETIVOS.	9
4. ESTADO DEL ARTE.	10
4.1. DEFINICION DE SDR	10
4.2. BENEFICIOS DEL SDR.	11
4.3. EVOLUCIÓN DEL SDR.	11
4.4. SDR AVANZADOS.	15
5. HIPÓTESIS QUE RESUELVEN EL PROBLEMA.	18
6. METODOLOGIA.	18
6.1. DIAGRAMA DE TIEMPOS Y TAREAS Gantt.	19
7. ELEMENTOS DEL SISTEMA.	20
7.1 HARDWARE	20
7.1.1 DISPOSITIVO SDR DE MEDIO COSTE UTILIZADO.	20
7.1.2 DISPOSITIVO SDR DE BAJO COSTE UTILIZADO.	22
7.1.3. MICROCONTROLADOR ARDUINO.	25
7.1.4. ANTENAS.	27
7.1.5. MOTORIZACION DE ANTENAS.	27
7.2. SOFTWARE.	31
7.2.1.- SDR#	31
7.2.2. ORBITRON.	38
7.2.3. REMOTE.	42
7.2.4. IDE ARDUINO.	43
8. DESARROLLO DE TRABAJO.	46
8.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.	46
8.1.1.- BLOQUE 1.- CONTROLADOR SEGUIDOR DE ANTENAS.	47
8.1.2.- BLOQUE 2.- POSICIONAMIENTO MANUAL DE ANTENAS.	59
8.1.3.- BLOQUE 3.- ROTORES Y ANTENAS.	62

8.1.4.- BLOQUE 4.- EQUIPOS PARA TRATAMIENTO DE SEÑAL DE RADIO RECIBIDA MEDIANTE SDR.	66
8.2. OBSTACULOS SUPERADOS.....	78
8.2.1. REPARACION ORDENADOR.....	78
8.2.2. REPARACION DE CONTROLADOR YAESU G5600.....	80
8.2.3. ACOMETIDA DE CABLE UTP PARA ETHERNET.	82
8.3. ESQUEMAS.	85
8.4. SOFTWARE.	87
8.4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SOFTWARE.	88
8.4.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SOFTWARE.	89
8.4.3. SOFTWARE.	90
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	101
10. CONCLUSIONES.....	101
11. TRABAJOS FUTUROS.....	102
12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	103
ANEXO 1. RADIOASTRONOMIA.....	106
A1.1. RADIOTELESCOPIO.	108
A1.2 RADIO INTERFEROMETRO.	109
ANEXO 2. EQUIPOS SDR PROFESIONALES.	111
A2.1. MICROTELECOM.....	111
A2.2. WINRADIO.	112
A2.3. FLEXRADIO SYSTEM.	118
ANEXO 3. MICROCONTROLADOR ARDUINO MEGA 2560.	121
ANEXO 4. ANTENAS.	125
A4.1. YAGI-UDA.....	125
A4.2. LOGARITMO PERIODICA.....	127
A4.3. PARABOLICA.	128
A4.4. ANTENA DISCONO.	131
ANEXO. 5. CALCULOS COORDENADAS.	133

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer en primer lugar a los directores del presente trabajo, Dr. D. Carlos Mascareñas y Pérez-Iñigo y Dr. D. Aturo Morgado Estévez, por su completa involucración en este proyecto, por toda la ayuda y apoyo prestado, tanto en conocimientos como en los equipos ofrecidos, entre ellos el Demostrador de Conceptos de Radiofrecuencia EAC10. Y por el entusiasmo con que me han transmitido la búsqueda de nuevas retos.

Agradecer la ayuda prestada al Grupo de Investigación TIC 191 de Señales, Sistemas y Comunicaciones Navales perteneciente al Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación del Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos de la Universidad de Cádiz.

Agradecer D. Abelardo Belaustegui González y a los técnicos del Área de Informática de la Universidad de Cádiz, por su ayuda y profesionalidad al proporcionar los servicios informáticos solicitados, necesarios para poder llevar a cabo este trabajo.

Agradecer a D. Francisco Mariano Sánchez Gómez y a su equipo del área de Mantenimiento por la colaboración y el apoyo prestado.

Agradecer a D. Fernando Camacho Obregón por su incansable ayuda, por su paciencia y por su asesoramiento en programación en lenguaje HTML.

Agradecer a D. Rafael Gadea Varona por su asesoramiento, por su energía y por ser una fuente de conocimientos de altísimo valor para entender la comunicación serie.

Agradecer a D. Francisco J. Visglerio Varo por su apoyo y sus consejos.

Agradecer a Ana Isabel Vázquez Mejías por su ayuda y por ser una magnífica fuente de información sobre SDR y GNU-Radio.

Agradecer a John F Drew, creador del programa “Remote Interface Orbitron”, por compartirlo y por su asesoramiento y consejos para poder trabajar con su software.

Agradecer a Sebastian Stoff, creador del programa “Orbitron”, por su software y por compartirlo con toda la comunidad de amantes de las telecomunicaciones vía radio.

Agradecer a D. ^a Rosa Vázquez Gómez por la ayuda prestada.

Agradecer a mi esposa María del Carmen y mis dos hijas Andrea y Nuria, por su apoyo incansable en todos los proyectos en los que me embarco, y particularmente por haber soportado durante este año gran parte de mis obligaciones y tareas con el fin de poder realizar el Máster Universitario Investigación en Ingeniería de Sistemas y Computación.

1. ABSTRACT.

Gracias a este trabajo se ha diseñado y construido un sistema de posicionamiento de antenas directivas, con la posibilidad de seguimiento de fuentes de radio móviles. Este equipo está siendo utilizado actualmente para posicionar las antenas situadas en la cúpula del Centro Superior de Estudios Marinos (CASEM), que forman parte del demostrador de conceptos de radiofrecuencias EAC-10 del Grupo de Investigación TIC 191 de Señales Sistemas y Comunicaciones Navales, integrante del Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación de la Escuela de Ingenierías Marina, Náutica y Radioelectrónica.

El controlador permite el posicionamiento tanto en elevación como en azimut de las antenas, con el objetivo de que estas reciban señales de radiofrecuencia que puedan ser tratadas por dispositivos comerciales de bajo coste basados en SDR (Software Defined Radio), con el fin de demostrar las capacidades de estos últimos para sustituir a los costosos equipos actuales diseñados ex profeso para esta función. De modo que se ha creado un dispositivo que con una mínima inversión económica, proporciona una fuente de datos que capacita para investigar características de fuentes generadoras de señales de radiofrecuencia.

Se ha trabajado e investigado en técnicas de radio, astronomía, electrónica e informática. Diseñando y construyendo un equipo que permite el seguimiento automático de aquellas fuentes de radiofrecuencia que se desee estudiar, con la posibilidad de enfocar objetivos de radio tanto fijos como de móviles (satélites artificiales o cuerpos celestes como Sol y Luna), mediante opciones de control manual en el puesto de recepción o de modo remoto a través de Internet.

Through to this work we have designed and built positioning system directional antennas, with the ability to track sources of mobile radio. This equipment is currently being used to position the antennas located at the top of the Centre for Marine Studies (CASEM), part of the demonstrator concepts RF EAC-10 Research Group TIC 191 Signal and Communications Systems Navales, member Department of Science and Technology of Navigation School of Marine Engineering, Nautical and Radio Electronics.

The controller allows positioning both elevation and azimuth of the antennas, with the aim of receiving these radio signals that can be handled by low-cost commercial devices based on SDR (Software Defined Radio), in order to demonstrate the capacity of the latter to replace the current costly equipment designed specifically for this function. So he created a device with minimal investment, provides a data source that enables to investigate characteristics of generators of radio frequency signals.

It has worked and researched techniques radio, astronomy, electronics and computing. Designing and building a team that can automatically track those sources of radio frequency you want to study, with the possibility of approaching targets within fixed and mobile (artificial satellites or celestial bodies like Sun and Moon), by manual control options in the receiving station or remotely via the Internet.

1.1. PALABRAS CLAVES.

Antenas, SDR, de baja potencia arquitectura de radio definida por software, GNU-Radio, SDR-Sharp, SDR#, Orbitron, Interface Orbitron, RTL-SDR, PowerSDR, diseño de software de protocolo de comunicación inalámbrica, microcontrolador Arduino, radioastronomía. INIAC, SDR-Console.

Antennas, SDR, low-power software-defined radio architecture, GNU-Radio, SDR-Sharp, SDR#, Orbitron, Interface Orbitron, RTL-SDR, PowerSDR, software design wireless communication protocol, microcontroller Arduino, radio astronomy. INIAC, SDR-Console.

2. INTRODUCCIÓN.

Mediante el estudio de las señales de radiofrecuencia el ser humano puede obtener una gran cantidad de información de los cuerpos que la emiten, de hecho es una fuente fundamental para el estudio de cuerpos celestes mediante las técnicas de radioastronomía, estas se fundamentan en la utilización de antenas conectadas a receptores de radio dedicados. Para asegurar la recepción de señales débiles es imprescindible el uso de antenas directivas de alta ganancia, las cuales suelen ser orientadas mediante rotores controlados de forma remota.

La necesidad de explorar un gran ancho de banda implica tener una gran cantidad de equipos de recepción de señales radiofrecuencia o un dispositivo que permita modificar sus parámetros con objeto de trabajar en distintas frecuencias, modulaciones, etc., sin necesidad de cambiar ningún elemento hardware.

Desde que en el siglo XIX, concretamente entre los años 1864 y 1873, James Clerk Maxwell (Buracchini, 2000) describió la propagación de ondas electromagnéticas formulando la que ha sido denominada como “la segunda mayor unificación de la física”, después de que Newton en 1687 presentase la primera teoría de unificación, llamada de gravitación universal ya que unificaba la fuerza que nos mantiene en el suelo con la fuerza orbitales entre cuerpos celestes. Tuvieron que transcurrir dos décadas hasta que la teoría de radiación electromagnética de Maxwell (Mahon, 2004) fue validada, concretamente en 1888 por Heinrich Rudolf Hertz, este generó ondas electromagnéticas creadas a partir de un arco eléctrico de alto voltaje producido ente dos electrodos.

Hertz comprobó cómo estas ondas tenían las propiedades de la luz, verificando así la teoría de Maxwell. Para ello, construyó un circuito oscilante que producía ondas electromagnéticas. Estas fueron capaces de trasladarse por el espacio y ser detectadas por un hilo metálico conectado en un circuito receptor. Este hilo convirtió la señal electromagnética en una señal eléctrica oscilante similar a la generada por el circuito emisor. En honor a su descubridor, a las ondas electromagnéticas se le denominan ondas hertzianas, siendo los estudios de este científico base necesaria para la creación y desarrollo de los equipos de recepción y transmisión de las señales de radiofrecuencia.

En el comienzo del siglo XX, tanto la comunidad científica como la de ingeniería, enfocaron sus esfuerzos con objeto de explorar y explotar las posibilidades que ofrecía el campo del electromagnetismo. Los progresos tecnológicos rápidamente permitieron crear los primeros sistemas de comunicación inalámbrica, comunicaciones intercontinentales y radiodifusión.

Los avances en la recepción de señales de radio a lo largo del siglo XX han ido parejos a la tecnología. Un salto importante se dio gracias a la invención del transistor en 1947 por John Bardeen, Walter H. Brattain y William B. Shockley en los laboratorios Bell y en 1959. Posteriormente, los primeros circuitos integrados diseñados por Jack S. Kilby para Texas Instrument aumentaron las prestaciones de los equipos.

Tradicionalmente los equipos de radiocomunicaciones tanto receptores como transmisores han sido y son equipos constituidos principalmente por multitud de componentes electrónicos, los cuales integran circuitos sintonizadores, etapas de

frecuencia intermedia, detectores, osciladores, filtros, amplificadores de baja frecuencia, etc. Es decir el diseño de un equipo receptor de radio se ha fundamentado en su totalidad en el diseño electrónico, esto conlleva que la modificación de las características de alto nivel obliga al cambio del diseño electrónico.

El crecimiento exponencial de equipos radiocomunicaciones en los que se debe controlar y manejar múltiples parámetros, como son: frecuencia, amplitud, fase, banda, ancho de banda, tipo de transmisión, codificación, propició que en 1984 la empresa E-Systems describiera ya un prototipo de receptor digital de radio. Este mediante una capa de software sobre una capa de hardware podía demodular señales de banda ancha. Se puede decir que fue el inicio del SDR (Software Defined Radio). En este entorno los equipos de radio no tienen dependencia exclusiva de la capa física de hardware que tradicionalmente han constituido a un equipo de radio, ya que gran parte de los componentes y etapas físicas se sustituyen por acciones ejecutadas por un software específico para este cometido.

SDR introduce un cambio muy importante en el mundo de la radio, permitiendo simplificar de forma notable la cantidad de componentes y circuitos que componen a estos equipos y los reemplaza por un software capaz de definir los modos de funcionamiento del dispositivo, modos que originariamente dependían en su totalidad complejos circuitos electrónicos.

La radio definida por software (SDR) no es una tecnología más; se trata de una nueva forma, más bien establece un nuevo camino, y podemos decir que de recorrido obligatorio, para diseñar y construir nuevos sistemas y dispositivos inalámbricos que surjan en el futuro.

Esta tecnología utilizada con hardware de seguimiento para antenas puede permitir el estudio de señales de radio procedentes de fuentes fijas e incluso móviles.

3. OBJETIVOS.

El objetivo de este Trabajo Fin de Master (TFM) consiste en la creación de un sistema de control de bajo coste para el posicionamiento de antenas de radio, de modo que se capten emisiones electromagnéticas de satélites artificiales, cuerpos celestes, concretamente el Sol y la Luna así como de otras fuentes emisoras fijas. Se diseñara y construirá un dispositivo que permita el posicionamiento de las antenas directivas tanto en azimut como en elevación, aplicando técnicas y conceptos de investigación, además de dispositivos, software y herramientas estudiados en el máster.

Será necesaria la programación de un software que capacite al controlador para realizar su función. Permitiendo la gestión del sistema desde puntos externos a la estación de trabajo del operador, para ello se busca poder controlar el equipo seguidor de antenas mediante su interconexión con dispositivos conectados a la red Internet, ya sean ordenadores, tablets, teléfonos móviles, etc. Creando un controlador robusto que permita a estudiantes e investigadores la recepción de fuentes de radio proporcionadas por dispositivos SDR.

Se demostrara la eficiencia de los receptores de bajo coste bajo SDR para la detección de señales de radio. Así como que el microcontrolador Arduino es un dispositivo totalmente capacitado para llevar a cabo las funciones de posicionamiento de antenas directivas para el enfoque de fuentes de radiofrecuencia tanto fijas como móviles, que entre otros campos permitan disponer un equipo para exploración radioastronómica (ver anexo 1).

4. ESTADO DEL ARTE.

4.1. DEFINICION DE SDR.

Software Defined Radio (SDR). Este ha jugado un papel importante en la mejora de la eficiencia de los equipos de radios. La historia del SDR se deriva de las comunicaciones militares, pero también ha influido la industria comercial, siendo actualmente uno de los principales impulsores para el desarrollo de esta tecnología.

Existen múltiples formas de definir que es el Software Defined Radio (SDR), también conocido como Software Radio (SR). Entre las definiciones mas importantes encontramos las siguientes:

- Según la UIT Unión Internacional de Telecomunicaciones (Union, 2009) , el SDR es un «Sistema radioeléctrico determinado por programas informáticos (RDI): Un transmisor y/o receptor radioeléctrico que utiliza una tecnología que permite fijar o modificar mediante programas informáticos los parámetros de funcionamiento de RF, incluidos, entre otros, la gama de frecuencias, el tipo de modulación o la potencia de salida, salvo los cambios de los parámetros de funcionamiento que se producen durante el funcionamiento normal preinstalado y predeterminado de un sistema radioeléctrico con arreglo a una especificación del sistema o a una norma.» (UIT-R, 2009)
- El Fórum SDR lo define como «Conjunto de tecnologías de hardware y software que permiten arquitecturas de sistemas reconfigurables para redes inalámbricas». (Consortium, 2005)
- La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) definió formalmente en 2001 (Commission, 2001) a la tecnología SDR como «Un equipo de radio que incluye un receptor y/o transmisor en el que los parámetros de funcionamiento del rango de frecuencia, tipo de modulación o la potencia de salida máxima (ya sea radiada o conducida) pueden ser modificadas mediante software sin necesidad de realizar cambio alguno en los componentes electrónicos relacionas con el bloque de radiofrecuencia ». (FCC, September 14, 2001)

Cualquiera de estas definiciones deja claro que la tecnología SDR se fundamenta en la modificación de los parámetros de un equipo de radio, mediante la ejecución de un software sin modificación del hardware del dispositivo, buscando el concepto de *”Acercar el código lo máximo posible a la antena, convirtiendo así problemas hardware en problemas software”*.

4.2. BENEFICIOS DEL SDR.

Uno de los beneficios principales que proporciona la tecnología SDR es la reducción del tamaño y el peso de los equipos de comunicaciones, esto es de suma importancia en multitud de campos, concretamente los diseñadores de aviones militares constantemente tratan de añadir funciones y capacidades en las aeronaves pero intentando disminuir el peso y las dimensiones de estas, esta necesidad impulso significativamente a esta tecnología.

En los inicios de la tecnología SDR, la empresa Speakeasy consiguió emular más de diez equipos de radios mediante el uso de un solo equipo basado en ella radio definida por software. Ya no es necesario instalar dos equipos radios para realizar dos funciones diferentes en una aeronave. Indicar también como el software lleva a cabo muchas de las funciones de forma autónoma, de manera que el piloto sólo tiene que supervisar las pantallas digitales para obtener la información que necesite, consiguiendo de este modo que el piloto se concentre en las maniobras de la aeronave.

Pero también obtenemos beneficios en otros sectores del mercado civil tanto profesional como de consumo, pudiendo destacar:

- Reducción de coste de compra.
- Alta evolución de equipos.
- Facilidad en generación de nuevos sistemas de radiocomunicaciones.
- Alta actualización de equipos.
- Reducción de consumo.
- Reducción de peso y tamaño.
- Disminución en tareas de mantenimiento.
- Reducción de costes de mantenimiento.
- Fácil personalización de equipos.
- Reducción de huella ecológica.

4.3. EVOLUCIÓN DEL SDR.

La radio definida por software (SDR) no es una tecnología mas; se trata de una nueva forma y podemos decir que obligatoria para construir los nuevos dispositivos inalámbricos que surgen en la actualidad. Se inició en la década de 1990 (Machado RG, 2015). A continuación se presenta un resumen rápido de los acontecimientos históricos a lo largo de sus tres décadas de evolución.

1970 ICNIA.

La necesidad de avances en los equipos militares de radiocomunicaciones del Ejército del Aire Estadounidense, propicio la creación del programa ICNIA (Integrated Communications, Navigation, and Identification Avionics), la empresa que llevo a cabo la parte técnica de este programa fue la TRW Inc, esta fue una corporación estadounidense involucrada principalmente en la industria aeroespacial y la automotriz.

TRW desarrollo el software y elementos del hardware que dio forma al primer SDR el cual vio la luz en 1985 (Figura 4.1). También fue pionera en otros campos, como componentes electrónicos, circuitos integrados, computadoras, software e ingeniería de sistemas. TRW construyó naves espaciales, incluyendo la Pioneer 1, Pioneer 10, además de varios observatorios espaciales. ICNIA fue iniciado por el Laboratorio de Aviónica de la Fuerza Aérea de Estados Unidos para desarrollar una arquitectura de equipos de radio multibanda y multifuncionales para aeronaves, Fue desarrollado como un programa conceptual y nunca tuvo como objetivo en convertirse en un programa de producción en masa de esta tecnología.



Figura 4.1.- ICNIA

Fuente: www.defenseindustrydaily.com

1984 E-Systems.

E-Systems, empresa Raytheon, acuñó el término "radio software" en un informe de la empresa. Describió un prototipo de receptor digital de banda base equipado con un conjunto de procesadores que realizaran un filtrado adaptativo para la cancelación de interferencias y demodulación de señales de banda ancha.

1991 SPEAKeasy.

El primer programa militar que requería un sistema de recepción de radio que tuviera sus componentes de la capa física implementados sobre una capa de software a este programa se le denominó DARPA. La Fuerza Aérea de los EEUU estableció como primer objetivo disponer de un solo equipo de radio que pudiera soportar diez protocolos militares de radio diferentes, y operar en cualquier lugar en la banda comprendida entre 2 MHz y 2 GHz. Como segundo objetivo buscaba la capacidad de incorporar nuevos protocolos y modulaciones mediante software. Según la descripción de DARPA Speakeasy es un intento de crear el "PC" del mundo de la radio.

1992 Joseph Mitola y su concepto de SDR.

Joseph Mitola fue el primer investigador en publicar (Mitola J. , 1999) sobre la radio diseñada por software (SDR), publicando su primer artículo en 1992 en la Conferencia Nacional Telesystems IEEE, con su ponencia "Software Radio: Estudio, Análisis Crítico y futuro". Mitola es conocido como el padre de la SDR, y por haber definido mediante el término SDR a estos nuevos conceptos, a pesar de que sus verdaderos creadores fueron E-Systems en 1984. El prototipo E-Systems consistía solamente en un receptor y por lo tanto no una radio completa. Más tarde, en 1998, Mitola utiliza el término "radio cognitiva" para referirse al concepto de radios que son "conscientes" de su entorno espectral y que tienen la inteligencia necesaria para adaptarse según sea necesario.

1996 Creación del Foro SDR.

La primera asociación de la industria dedicada a SDR fue creada en 1996 como "Foro del Sistema de Transferencia de Información modular multifunción (MMITS)". En 1998 se convirtió en el Foro SDR, y posteriormente en 2010, el Foro de Innovación Wireless. El foro estaba formado por particulares, organizaciones gubernamentales, segmentos del sector industria y académico, todos impulsados por el objetivo de avanzar en las tecnologías relacionadas con el SDR. Este foro consiguió constituir varios grupos de trabajo y comités para estimular y dirigir la innovación y los estándares de este campo.

1997 Creación de los JTRS.

El Departamento de Defensa de Estados Unidos creó el Joint Tactical Radio System (JTRS) (Mitola J. , 2000) para aumentar la interoperabilidad y portabilidad de forma de onda a través de la definición y estandarización de distintas capas y la gestión de unos interfaces de abstracción, conocidos como Software Communication Architecture (SCA), creando equipos como el JTRS NextGen (figura 4.2). Este fue un programa multimillonario tremendamente ambicioso que se enfrentó a grandes dificultades, retrasos y sobrecostos. Fue cancelado oficialmente en 2011 por el Subsecretario de Defensa, quien afirmó que los productos y tecnologías obtenidas en el programa no cumplían con las especificaciones requeridas.

No obstante, este programa impulsó durante una década los avances en el desarrollo de SDR. Potenciándose a fabricantes expertos en SCA como Rohde & Schwarz, Thales, y Harris. Además, la Agencia Europea de Defensa creó el European Secure Software Defined Radio (ESSOR), el cual tomó el testigo entregado por las investigaciones llevadas a cabo a partir del trabajo realizado por la JTRS SCA.

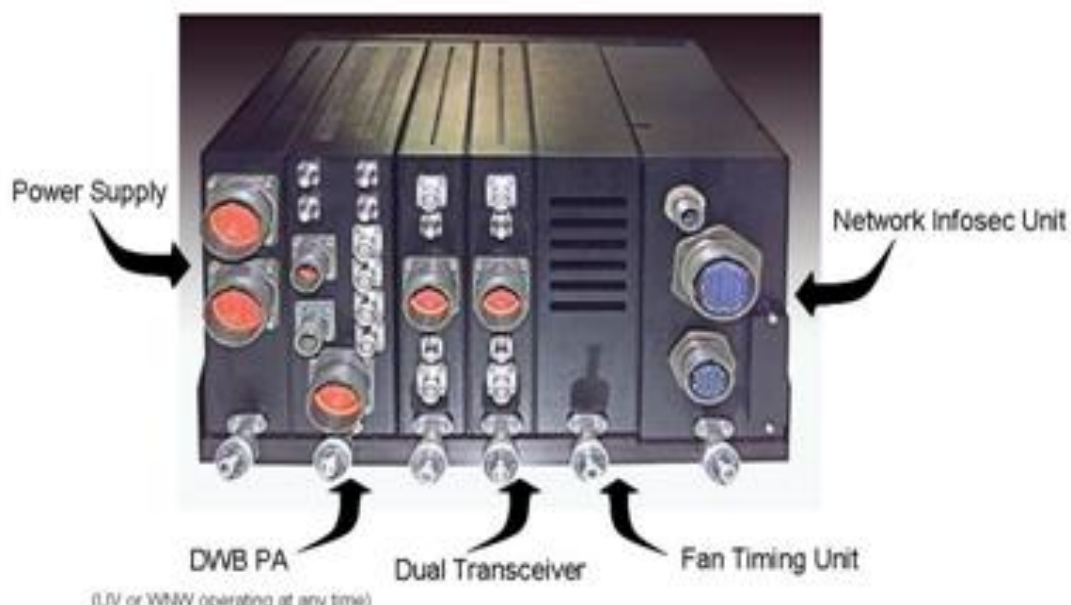


Figura 4.2: JTRS NextGen.

Fuente: www.defenseindustrydaily.com

1998 Generación automatizada de código para SDR.

Nutaq (entonces Lyrtech) se asoció con The MathWorks para crear el primer entorno de desarrollo que podría generar ejecutables directamente de un modelo Simulink para circuitos DSP de Texas Instruments y para FPGA de Xilinx. Los DSP y FPGA fueron utilizados en una tarjeta llamada SignalMaster. Esta mediante el uso de convertidores A/D y D/A fue una de las primeras plataformas de desarrollo de prototipos SDR comerciales tanto para laboratorios como para universidades.

2001 Radio GNU (General Public License).

Evoluciona de un marco MIT originario llamado PSpectra, Radio GNU fue fundado por Eric Blossom y financiado por John Gilmore, contratado por #5 de Sun Microsystems. Radio GNU define un entorno de código abierto para el desarrollo de aplicaciones de SDR trabajando sobre PC. En el año 2012 ya incorporaba más de 5.000 usuarios, siendo de este modo el mayor creador de herramientas de software para los equipos basados en SDR. Estándares de señales como P25, 802.11, ZigBee, Bluetooth, RFID, DECT, GSM, e incluso LTE (todavía un trabajo en progreso) se pueden descargar desde el repositorio y se ejecutan en cualquier sistema x86.

2004 FCC primera aprobación de un SDR comercial.

La empresa Vanu Inc. logró que la FCC aprobara su estación base Anywave en 2004. El Anywave es una estación base de dual capaz de ejecutar portadores GSM y CDMA simultáneamente, con todas las capas de protocolos que se ejecutan en CPUs x86.

Procesadores PHY 2004.

PicoChip (ahora Mindspeed Technologies) presentó su PC102, este es un procesador diseñado específicamente para el procesamiento de PHY (procesador de banda base). El PC102 estaba dirigido para el mercado de la infraestructura 3G. Tenía 308 elementos de procesamiento, 14 específicos de la aplicación coprocesadores (aceleradores), y podía manejar la capa MAC, así como otros elementos de protocolo.

El PC102 se diseñó para aplicarse en el mundo SDR, el PC102 (y los miembros posteriores de la familia PicoArray) redujeron drásticamente el tamaño, costo y consumo de energía con respecto a los equipos inalámbricos tradicionales. PicoChip fue el desarrollador principal de las siguientes generaciones de procesadores especializados en el entorno SDR. Se incorporaron nuevos fabricantes como Octasic, con su OCT2224W 24 núcleos y Coherent Logix, con su serie HyperX, y obligó a los vendedores tradicionales a desarrollar arquitecturas SDR optimizadas. Esto llevó a la familia de Keystone de TI y el QorIQ de Freescale.

2006 TI y Xilinx se unen para facilitar el desarrollo de SDR compactos.

Texas Instruments y Xilinx, generalmente competidores, unieron sus fuerzas junto con Nutaq (entonces Lyrtech) para crear la primera, plataforma independiente de desarrollo de SDR completamente integrada. Estaba equipado con un ARM, un DSP,

una FPGA y un sintonizador de 200 MHz a 1 GHz. El equipo no era mayor que una caja de zapatos y podía ser alimentado por batería.

2009 Primer chip de RF comercial.

Lime Microsystems dio a conocer su LMS6002, este era un chip de radiofrecuencia (RFIC). En su versión LMS6002D incorporo varios convertidores de datos A/D y D/A. El RFIC podía trabajar en la banda comprendida entre 400 MHz y 4 GHz, soportando un ancho de banda 28 MHz, y disponiendo de un conjunto de 16 filtros de banda base seleccionable. Posteriormente otros fabricantes como Motorola comenzaron a desarrollar dispositivos hasta los cinco de la actualidad.

Iniciativas SDR mas importantes actualmente.

El despegue de la tecnología SDR es incuestionable, ocupando todo tipo de sectores que trabajen con sistemas de radio, desde comunicaciones aéreas, equipos tácticos de defensa, comunicaciones en embajadas, radioastronomía, etc. Esta gran penetración en el mercado está siendo apoyada y potenciada por las siguientes asociaciones y programas:

- Joint Tactical Radio System (JTRS).
- European Defence Agency
- WINTSEC (Wireless Interoperability for Security)
- ESSOR (European Secured Software Defined Radio Referential)
- Secure SDR Multilateral Information Exchange Agreement (SSDR MIEA)
- SDR Forum (Wireless Innovation Forum).
- GNU Radio.

4.4. SDR AVANZADOS.

Actualmente multitud de fabricantes MICROTELECOM y WINRADIO aportan equipos para el segmento profesional de la tecnología SDR (En el anexo 2 se incluye características y precios de los equipos mas avanzados). Estos fabricantes se adecuan para el estudio al que se hace referencia en este trabajo, además de ser fabricantes que tienen una gran penetración y disponibilidad en el mercado europeo. Entre los dispositivos SDR más avanzados encontramos:

MICROTELECOM. PERSEUS.

PERSEUS (figura 4.3) es un receptor SDR con un espectro de frecuencias comprendido entre 10 KHz hasta 30 MHz. Mediante el software HFSPAN PERSEUS puede trabajar como analizador de espectro de 10 KHz a 40 MHz con un margen de 100db y una resolución de 10 KHz.

Se basa en un chip ADC LTC2206 de 14 bits con muestreo de 80 MHz. Lo que le permite trabajar con frecuencias de hasta 40 MHz. La tasa de muestreo se puede reducir mediante un diezmo por software, pudiendo seleccionarse esta entre 48 KHz y 2 MHz. El equipo tiene conversión de frecuencia a banda base mediante DDC integrado. A través del puerto USB entrega al PC las muestras I/Q con 24 bits en fase y cuadratura.

El núcleo del PERSEUS es un chip reconfigurable FPGA de familia SPARTAN del fabricante XILINX concretamente el XC3S250E. Entre las opciones de reconfiguración de la FPGA, una de las más importantes es la capacidad de configurar uno de los 8 filtros LPF (Low Pass Filter) (0-1.7 MHz) o BPF (Band Pass Filter) con objeto de reducir el ancho de banda total del receptor, de este modo podemos reducir el ruido, obteniendo mejoras de más 2 dB, como inconvenientes se aumentaría en 3 dB los productos de intermodulación de tercer orden.

Tiene entre otras opciones la posibilidad de grabar todas las señales dentro del espectro de recepción 400, 200 o 100 KHz. Posibilidad de control remoto a través de internet y conexión en red



*Figura 4.3 Perseus
Fuente: Microtelecom.*

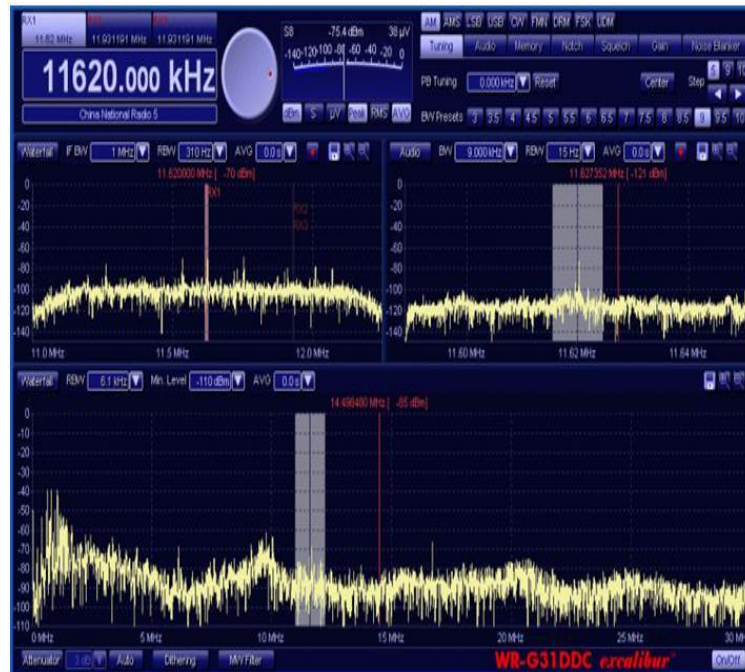
WINRADIO.

El fabricante WINRADIO incorpora la gama EXCALIBUR de equipos SDR para el sector de receptores semiprofesionales. Los equipos de la gama EXALIBUR comparten las siguientes características:

- Muestreo-directo de la señal.
- Convertidores digitales.
- Equipo que nos proporciona una alta linealidad alcanzando un punto de intersección IP3¹.
- Alto valor de rango dinámico.
- Excelente sensibilidad.
- Elevada selectividad.
- Alta precisión de sintonía
- Equipo interno para PC con conexión PCI y externo con conexión USB.

Todos los equipos incorporan aplicación de software propia.

1 Estas especificaciones se denominan simplemente IPN, que indica "puntos de intercepción de orden n", donde n es un número entero a partir de 2. El IPN son indicadores de buena linealidad en un dispositivo electrónico tal como un amplificador de bajo ruido (LNA), mezclador de frecuencia de radio (RF), o amplificador de potencia (PA). IPN, y sobre todo IP3, determina parámetros como las potencias de entrada y de salida de un dispositivo. IP3 ya nos ofrece valores de alta linealidad del sistema lo que nos asegura el rendimiento de este.



*Figura 4.4.- Captura software para WR-G31DDC
Fuente: Winradio*

WR-G39DDCi 'EXCELSIOR'.

El receptor WinRADIO WR-G39DDCi 'EXCELSIOR' (figura 4.5) es un equipo SDR para HF/VHF/UHF/SHF, el ancho de banda de trabajo está comprendido entre 9 KHz y 3,5 GHz, dispone de dos canales de 4 MHz de ancho de banda, disponibles para grabación o para otro tipo de procesamiento digital, más un analizador de espectro de 16 MHz en tiempo real.



*Figura 4.5.- WR-G39DDCi 'EXCELSIOR'
Fuente: Winradio.*

5. HIPÓTESIS QUE RESUELVEN EL PROBLEMA.

Actualmente existen multitud de dispositivos electrónicos de alto nivel tecnológico, grandes prestaciones pero de bajo precio que pueden permitir la creación de sistemas de radio mediante software de código abierto.

Se busca demostrar que podemos tener un equipo de radioastronomía y de radio en general valido para investigación mediante la utilización de un dispositivo de bajo coste de recepción de ondas radiofrecuencia trabajando bajo entorno SDR, cuyo uso original es la recepción de canales de TV TDT, y con posicionamiento automático por micro-controlador, podemos hacer un seguimiento de fuentes de radiofrecuencia.

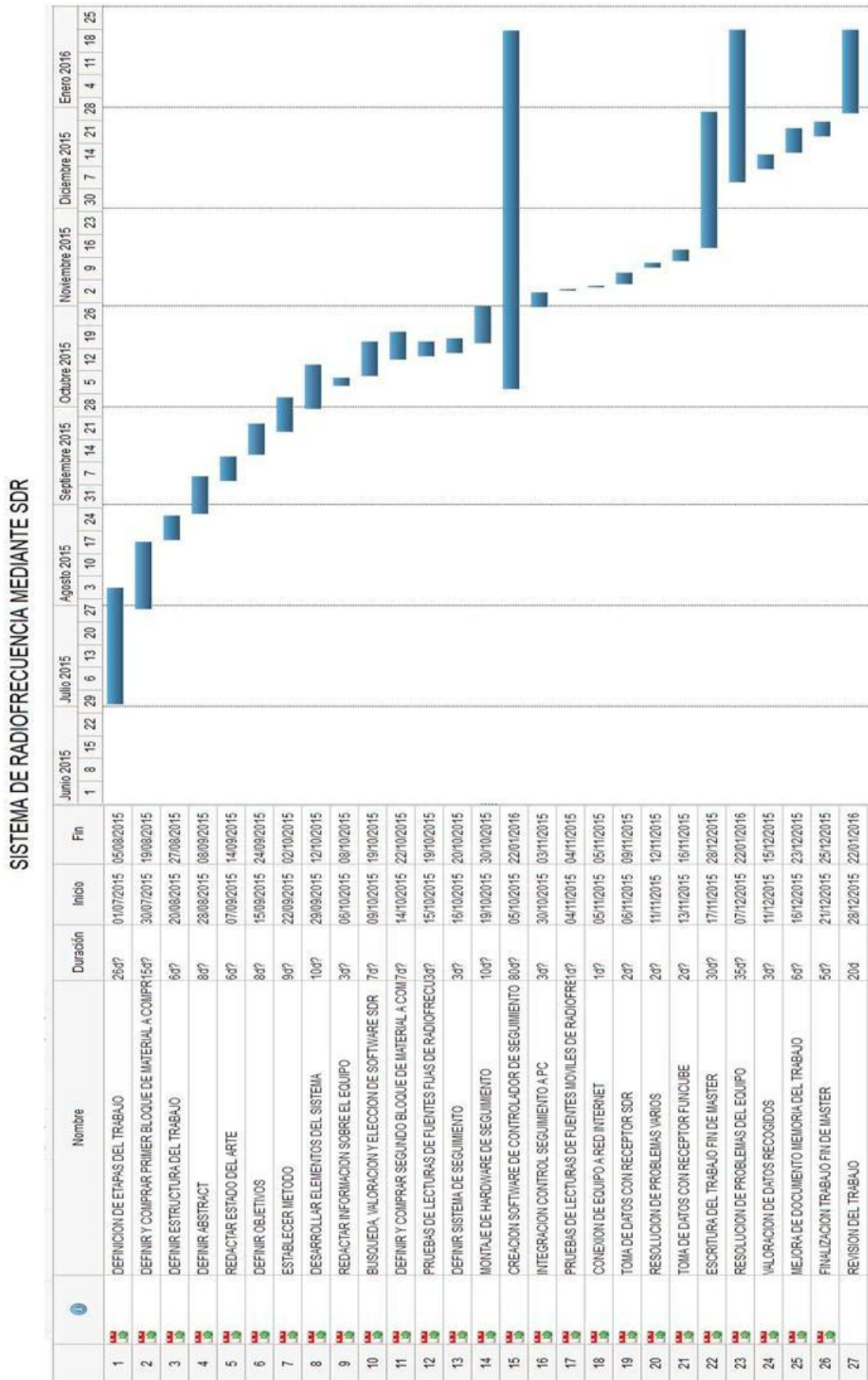
6. METODOLOGIA.

Para este proyecto se diseñara y construirá un equipo que nos permita dirigir de manera remota un grupo de antenas montadas para recibir las señales de radio emitidas por cuerpos celestes, por satélites artificiales o cualquier otra fuente de ondas de radio que estén en nuestro espectro de estudio, mediante equipos receptores comerciales de bajo coste soportados por SDR, los cuales sustituyen de este modo a los equipos actuales diseñados específicamente para este cometido. Para ello se capacitará al equipo de un modo de seguimiento automático de fuentes emisoras, por medio del control manual y tele-comandado de la posición de las antenas mediante la red Internet, creando de este modo un sistema de bajo coste que permita, mediante la recepción de ondas hertzianas, investigar características de los objetos a estudiar, además de las variaciones de estas características en el tiempo.

La metodología a seguir será la siguiente:

- Búsqueda de información base.
- Investigar sobre sistemas y equipos.
- Diseño del sistema.
- Compra de material.
- Montaje del equipo.
- Programación del software.
- Desarrollo del controlador seguidor de antenas.
- Pruebas de posicionamiento de antenas.
- Pruebas de recepción de señales de radio.

6.1. DIAGRAMA DE TIEMPOS Y TAREAS Gantt.



7. ELEMENTOS DEL SISTEMA.

En este capítulo se detallarán de los elementos utilizados, tanto de hardware como de software.

Hardware.

- SDR.
- Arduino.
- Antenas. Tipos de antenas necesarias, para recibir fuentes terrestres y no terrestres.
- Motorización de antenas.

Software.

- SDRSHARP.
- ORBITRON
- Interface Orbitron.
- IDE Arduino.

7.1 HARDWARE.

7.1.1 DISPOSITIVO SDR DE MEDIO COSTE UTILIZADO.

Uno de los dispositivo más utilizado para la práctica de la radio definida por software es el FUNcube dongle (FUNcube, 2015) con un precio de 210 euros. Concretamente para este trabajo se ha utilizado el modelo FUN CUBE Pro. Para ello monta un Silicon Tuner E4000 como sintonizador (figura: 7.2). Además contiene el conversor A/D con un sampling rate de 96KHz (Audio Codec TLV320AIC3104), por lo que no necesita ninguna tarjeta de sonido. Su banda de recepción va de 64-1700 MHz, aunque entre 1100 y 1270 MHz no funciona correctamente por limitaciones técnicas del dispositivo. El utilizar una frecuencia de muestreo de 96 kHz, le permite captar una banda con una anchura de aproximadamente 96 kHz. La sensibilidad es 0,15 uV para 12 dB SINAD¹.

Utiliza un microcontrolador PIC 24FJ32GB002 de 16 bit que corre el bootloader y el firmware con la aplicación para comunicarse con el PC a través del puerto USB. También se encarga del control del dispositivo, el bitstream de audio y controlar las funciones del E4000 y el codec de audio a través del bus I2C.

¹ En Telecomunicaciones, la SINAD es un parámetro que mide la calidad de la señal frente a perturbaciones como el ruido y la distorsión. SINAD es un acrónimo que viene del inglés y significa Signal-to-noise and distortion ratio.

Habitualmente se trabaja con un parámetro similar conocido como SNR (por Signal to Noise Ratio), calculado como el cociente entre la potencia de señal y la de ruido (S/N). Otros parámetros derivados de la SINAD son la relación señal a interferencia (S/I) o la relación señal a distorsión (S/D).

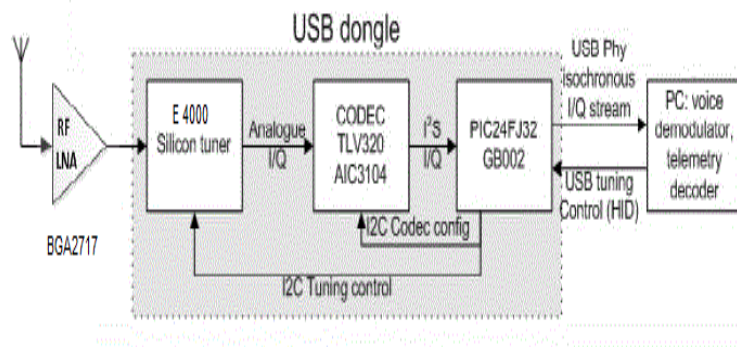
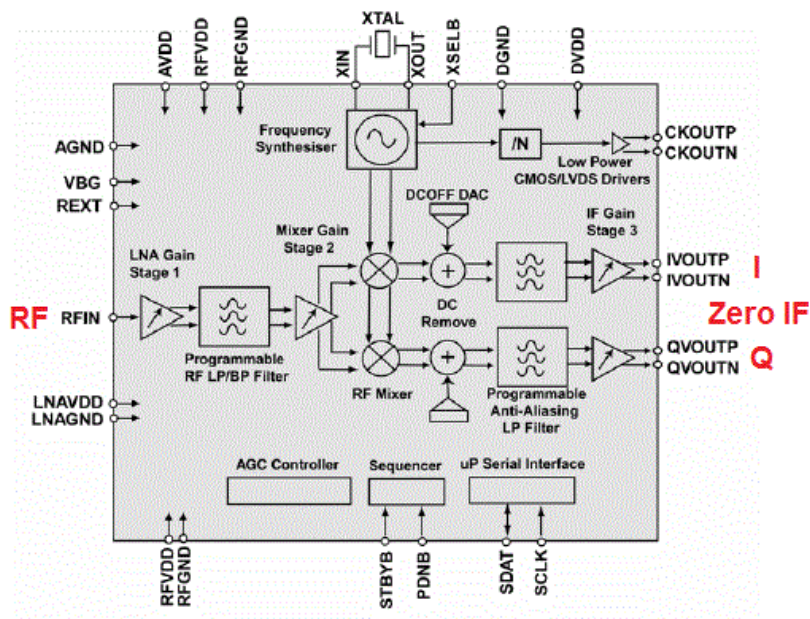


Figura 7.1.- Diagrama de bloques FUN Cube Pro

Fuente: PY4ZBZ.



E4000 RF Tuner Block Diagram

Figura 7.2.- Diagrama de bloques E4000.

Fuente: PY4ZBZ.

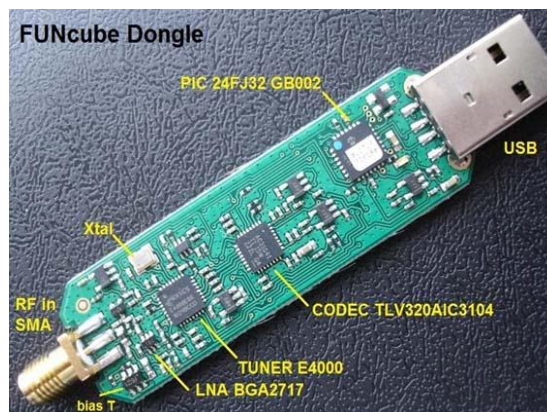


Figura 7.3.- FUN Cube Pro

Fuente: tetra.osmocom.org.

7.1.2 DISPOSITIVO SDR DE BAJO COSTE UTILIZADO.

Como el objetivo de este proyecto se basa en la utilización de un equipo hardware de bajo coste, se trabajara con un dispositivo que integre el chip RTL 2832U. La posibilidad de uso de este chip surge gracias a los trabajos que realizo el desarrollador finlandés Antti Palosaari (Tomasczik, 2015) mientras colaboraba en el proyecto LinuxTV escribiendo código para que el kernel GNU/Linux soportara dispositivos como sintonizadoras de televisión y capturadoras de video.

En el año 2012, mientras trabajaba con una sintonizadora de TV digital de la marca Ezcab EzTV 668 DVB-T/FM/DAB, Antii descubrió que el chip demodulador Realtek RTL2832U de su interior tenía ciertos registros y comandos no documentados. Con ellos podía llevarlo a un modo de funcionamiento donde transfiriese las muestras I/Q¹ en banda base sin procesar a un puerto USB 2.0 hacia el ordenador.

La demodulación a banda base se lleva a cabo por el RTL2832U el cual soporta FM / DAB / DAB +. Incorpora un ADC (Analog-to-Digital Converter) avanzado. Este chip cuenta con algoritmos patentados por Realtek. La demodulación desde banda base a señal de voz de datos se lleva a cabo utilizando la tarjeta de sonido del PC mediante software instalado en el ordenador.



Figura 7.4.- Diagrama demodulador a PC.

¹ Las muestras I/Q son la representación digital de la amplitud de la señal modulada (componente Q, de Quadrature) y su fase rotada 90 grados (componente I, de In phase) para un instante de tiempo dado. Dicho de una manera aún más simple, cada muestra I/Q es como una fotografía digital de la señal modulada.

La parte de sintonización se lleva a cabo mediante un chip sintonizador. Existen multitud de sintonizadores, pero los soportados normalmente por el software SDR son los siguientes:

- Elonics E4000: Fue el primer sintonizador que utilizado en este tipo de receptores SDR. El fabricante de este chip, Elonics, ha finalizado su fabricación, de todos modos aún existen multitud de dispositivos que lo montan. Permite sintonizar señales de radio de entre 52 MHz a 2,2 GHz, con un hueco entre las frecuencias de 1100 MHz y 1,2 GHz (aunque puede variar).
- Fitipower FC0013: Tiene un rango de frecuencias de entre 22 MHz y 1,1 GHz. Los chips FC0013B/C y FC0013G tienen una entrada separada para la banda L¹ que normalmente está sin conectar en las sintonizadoras.
- Fitipower FC0012: Soporta un rango de frecuencias de entre 22 MHz y 948.6 MHz.
- FCI FC2580: Brindan un rango comprendido entre 146 MHz a 308 MHz y de entre 438 MHz a 924 MHz.

Se ha seleccionado el chip Rafael Micro R820T al cubrir el mayor espectro de frecuencia y hacerlo de modo continuo.

El diagrama de bloques del dispositivo a utilizar es el siguiente:

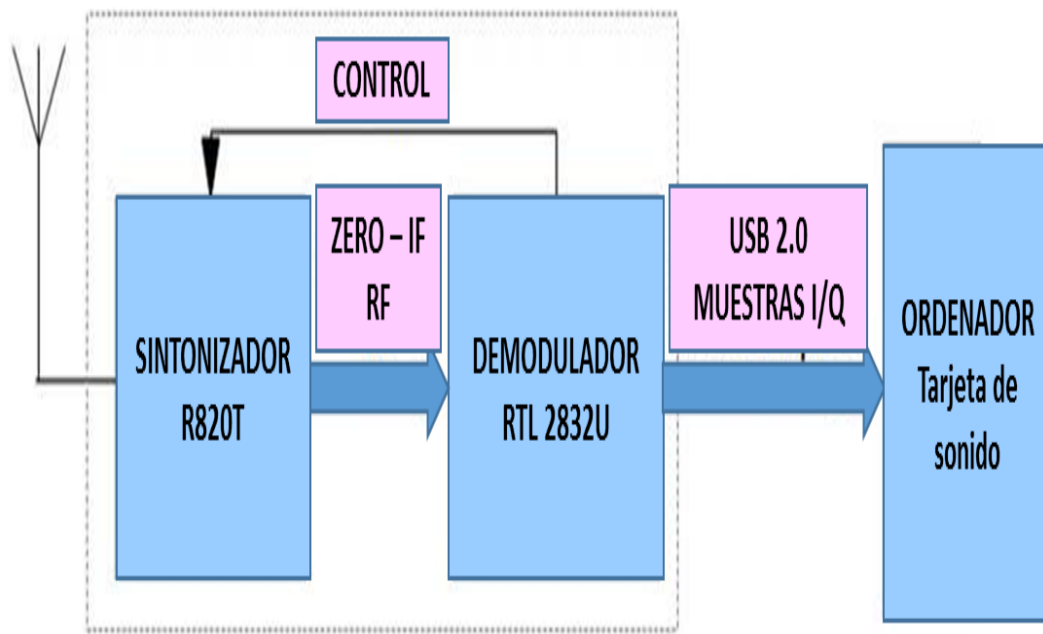


Figura 7.5.- Diagrama de bloques receptor SDR de bajo coste.

¹ La Banda L es un rango de radiofrecuencia de las Microondas IEEE US que usa las frecuencias de 1,5 a 2,9 GHz.

RTL SDR.

El dispositivo elegido para este trabajo es un receptor genérico de TV USB DVB-T +SDR + DAB + FM (figura 7.1).

Este monta un RTL2832U (Realtek, 2015) el cual es un demodulador DVB-T COFDM de alto rendimiento con interfaz USB 2.0. Con las siguientes especificaciones:

- NorDig 1.0.3.
- D-Book 5.0.
- EN300 744 (ETSI Specification).

El RTL2832U es compatible con sintonizadores de:

- IF (Frecuencia Intermedia) 36.125MHz.
- IF de 4.57MHz,
- Conversión directa (Zero IF en inglés) de banda base si se utiliza un cristal 28.8MHz.

Con las siguientes características de origen:

- Chip demodulador RTL2832U
- Chip sintonizador R820T
- Compatible con SDR
- Soporta DAB
- Recepción de FM
- Compatible con TDT
- Completa recepción de TDT de ancho de banda (6/7/8 MHz)
- Decodificación tanto MPEG-2 como MPEG-4 (H.264)



Figura 7.6.- Receptor TDT genérico.

Este dispositivo incorpora el demodulador RTL2832U y el sintonizador R820T (Figura 7.7).

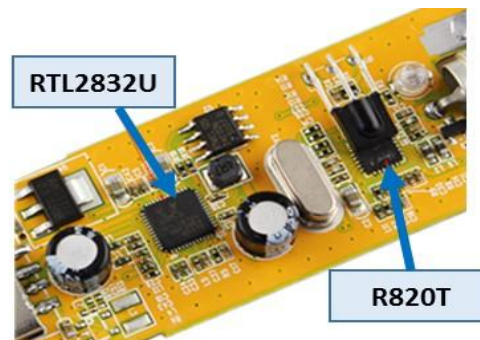


Figura 7.7.- Disposición de los circuitos demodulador y sintonizador.

7.1.3. MICROCONTROLADOR ARDUINO.

Para controlar el sistema se ha utilizado la plataforma de trabajo ofrecida por Arduino (arduino.dhtics.weebly.com, 2015). Este se ha seleccionado ya que ofrece hardware libre con un completo entorno de desarrollo, idóneo para controlar los rotores del sistema de posicionamiento de antenas pertenecientes al conjunto de antenas servocontroladas del demostrador de conceptos EAC-10 (España Patente nº P201300558, 2013).

Entre las distintas opciones que ofrece esta plataforma se ha seleccionado el modelo Arduino Mega 2560 por sus altas prestaciones y por ser compatible con la mayoría de las tarjetas de ampliación y aplicación (SHIELD) disponibles para las placas Arduino UNO. (Figura 7.8).



Figura 7.8.- Arduino Mega 2560.

El Arduino Mega 2560 (Banzi, 2015) cuenta con 54 entradas/salidas, de estas 15 pueden ser configuradas como salidas PWM (modulación por anchura de pulsos). Además dispone de 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos series), 16MHz de frecuencia de reloj, y un conector USB, un conector de alimentación de 2,1 mm y un conector ICSP (In-Circuit Serial Programming).

A diferencia de otros modelos de Arduino, que instalan convertidores USB-Serie de la firma FTDI, este modelo monta un microcontrolador Atmega2560 programado para trabajar como convertidor USB a serie permite cargar un nuevo código sin necesidad de un programador por externo hardware.

Las características principales del Mega 2560 se describen en el ANEXO 2.

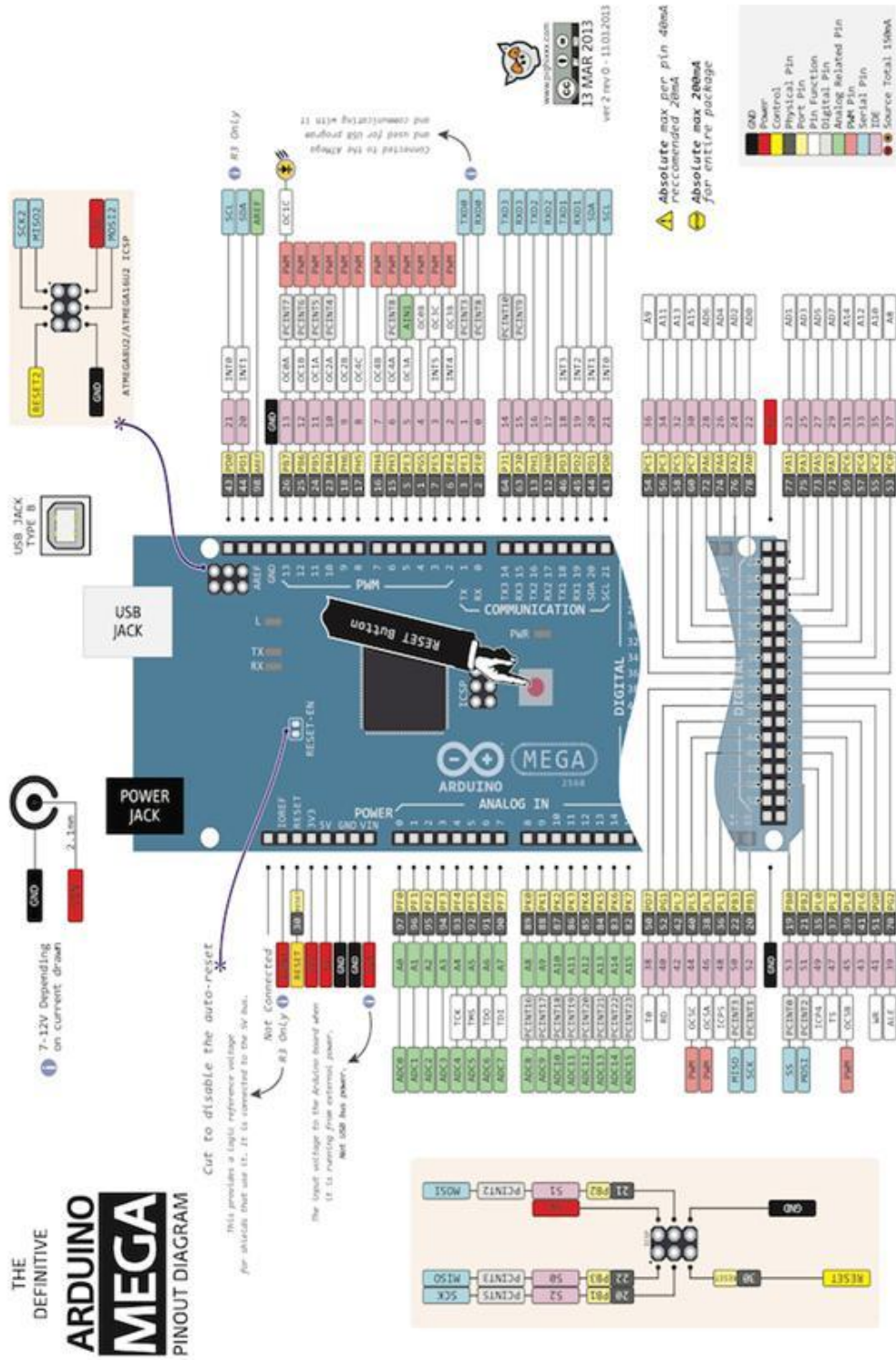


Figura 7.9.- Pin out Arduino Mega2560 (pighpdx, 2015).

7.1.4. ANTENAS.

Los dispositivos SDR pueden estar conectados tanto a antenas directivas como a antenas omnidireccionales. El equipo de control de posición y seguimiento desarrollado para este trabajo está ideado para su uso con antenas directivas, concretamente para complementar la instalación del demostrador de conceptos de radiofrecuencia en V-U-SHF EAC-10. Este monta seis antenas sobre un mástil tubular orientable mediante rotor de elevación Yaesu G550 y rotor de azimut Yaesu G650. El rotor de azimut se soporta mediante un mástil de un metro para antenas.

El conjunto de antenas está situado en la cúpula del Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos (CASEM) del Campus de Puerto Real, con objeto de estar protegidas del viento. Actualmente el demostrador de conceptos de radiofrecuencia EAC-10, monta las siguientes antenas:

- Antena Yagi-Uda.
- Antena Logaritmo periódica.
- Antena parabólica Offset con LNB de la Banda Ku y dipolo cerrado.
- Antena parabólica Offset con LNB de la Banda C y dipolo cerrado.
- Dos dipolos cerrados.

En el anexo 4 se detallan las características generales de las antenas.

7.1.5. MOTORIZACION DE ANTENAS.

El control del posicionamiento de las antenas se realiza mediante dos rotores y un controlador YAESU:

- Rotor YAESU G550 para la elevación
- Rotor YAESU G650 para el azimut.
- Controlador YAESU G5600.

YAESU G550 (figura 7.10).

El rotor YAESU G-550 (Yaesu, Instruction manual G550, 2001) permite un control de elevación de hasta 180° en antenas direccionales. Este tipo de rotor está pensado para su montaje en exterior, para ello cuenta con cuerpo de aluminio totalmente hermético. Monta caja reductora lubricada altamente silenciosa, tanto sonora como eléctricamente. Como elemento de protección incorpora sistema automático de parada.

En su interior monta un potenciómetro de giro que permite conocer la posición del rotor en todo momento. Monta conector DIN de 8 pines (figura 7.12), para control del rotor y para la señal indicadora de ángulo de posición.



*Figura 7.10.- Rotor YAESU G550.
Fuente: YAESU*

Entre sus características:

- Tensión de trabajo: 24 VDC
- Resistencia al viento: 2 m²
- Par de freno: 5.000Kg/cm
- Par de arranque: 600Kg/cm
- Máxima carga vertical: 50Kg
- Máxima carga vertical puntual: 10Kg
- Diámetro del mástil: 32-63 mm diámetro
- Tiempo de giro 180°: 67 segundos

YAESU G650 (figura 7.11).

El rotor YAESU G-650 (Yaesu, Instruction manual G-650, 2001) permite un control del ángulo de azimut de hasta 360° en antenas direccionales. Este tipo de rotor, al igual que el G550, está pensado para su montaje en exterior, por ello también cuenta con cuerpo de aluminio totalmente hermético. Montando caja reductora lubricada altamente silenciosa, tanto sonora como eléctricamente. Como elemento de protección también incorpora sistema automático de parada.

Al igual que el G550, en su interior monta un potenciómetro de giro que permite conocer la posición del rotor en todo momento. Monta conector DIN de 8 pines (figura 7.20), para control del rotor y para la señal indicadora de ángulo de posición.



*Figura 7.11.- Rotor YAESU G650.
Fuente: YAESU*

Entre sus características:

- Tensión de trabajo: 24 VDC
- Resistencia al viento: 2 m²
- Par de freno: 5.000Kg/cm
- Par de arranque: 600Kg/cm
- Máxima carga vertical: 100Kg
- Máxima carga vertical puntual: 300Kg
- Diámetro del mástil: 32-63 mm diámetro
- Tiempo de giro 360°: 63 segundos



*Figura 7.12.- Conector DIN 8 pines YAESU G650.
Fuente: YAESU*

YAESU G6500 (figura 7.13).

El controlador de YAESU G5600 (Yaesu, Instruction manual G5600, 2015) es un equipo ideado para permitir el posicionamiento básico de las antenas.



*Figura 7.13.- Controlador de rotores YAESU G5600
Fuente: YAESU.*

Este equipo convierte la tensión de red de 220 VAC a 24 VDC, esta última es la tensión de trabajo de los rotores G550 y G650.

Además de adecuar la tensión de alimentación, también permite el posicionar las antenas mediante cuatro pulsadores situados en el panel frontal.

En la parte posterior incorpora 4 resistencias ajustables (figura 7.14) para el ajuste de fondos de escalas y tensión máxima de ángulos de azimut y elevación y dos borneras para conexión de los rotores (figura 7.15)



*Figura 7.14.- Resistencias de ajustes YAESU G5600
Fuente: YAESU.*



*Figura 7.15.- Bornera conxionado rotores YAESU G5600
Fuente: YAESU.*

7.2. SOFTWARE.

En el apartado de software y programación en este trabajo se han utilizado tres programas y dos lenguajes de programación.

- SDR#.
- Orbitron.
- Interface Orbitron.
- IDE Arduino.
- HTML

7.2.1.- SDR#.

SDR # (Airspy, 2015), también llamado SDRSharp, es una utilidad software cuya funciones principales son el control de dispositivos receptores SDR, permitiendo seleccionar frecuencia, filtros, modos de operación, ACG, supresión de ruidos, función SQUELCH, tipo de filtrado, etc. y la presentación en pantalla de las señales recibidas utilizando la transformada rápida de Fourier "Fast Fourier Transformation" (FFT), proceso matemático que transforma una señal en sus componentes espectrales.

SDRSharp está programado en C # y trabaja en entorno Windows. Actualmente es el software con mayor penetración entre estudiantes y aficionados para el trabajo con equipos RTL-SDR, por tres razones fundamentales:

- Es software libre.
- De uso intuitivo.
- Respuesta rápida.

Los dispositivos compatibles con SDR# son los siguientes:

- AIRSpy.
- SoftRock
- FiFiSDR.
- FUNcube Dongle.
- FUNcube Dongle Pro +.
- Archivos wav I / Q.
- SDR-4.

- LazyDog LD-1.
- SDR-IQ.
- SDR-14.
- RTL2832U / RTLSDR (externa).

El interface de trabajo (figura 7.16) de este software se puede subdividir principalmente en dos zonas:

- Menú de configuración.
- Zona de visualización de señales.

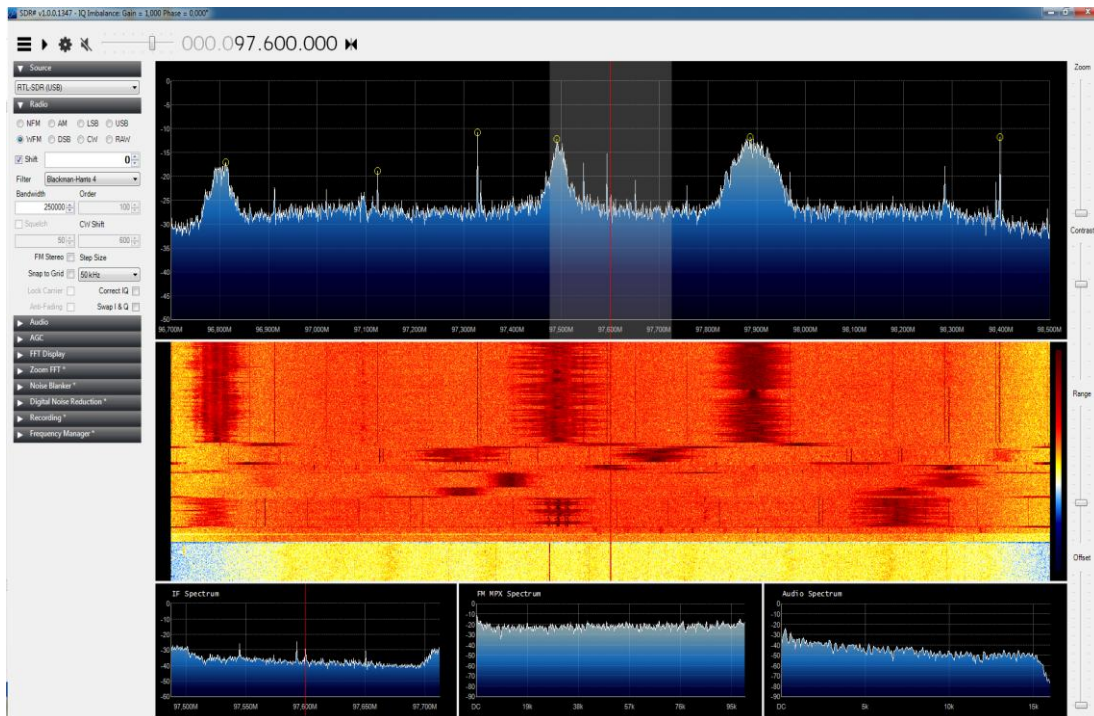


Figura 7.216.- interface software SDR#.

Menú de configuración (figura 7.17).



Figura 7.27.- Menú de configuración software SDR#.

Situado en la parte izquierda de la pantalla, permite:

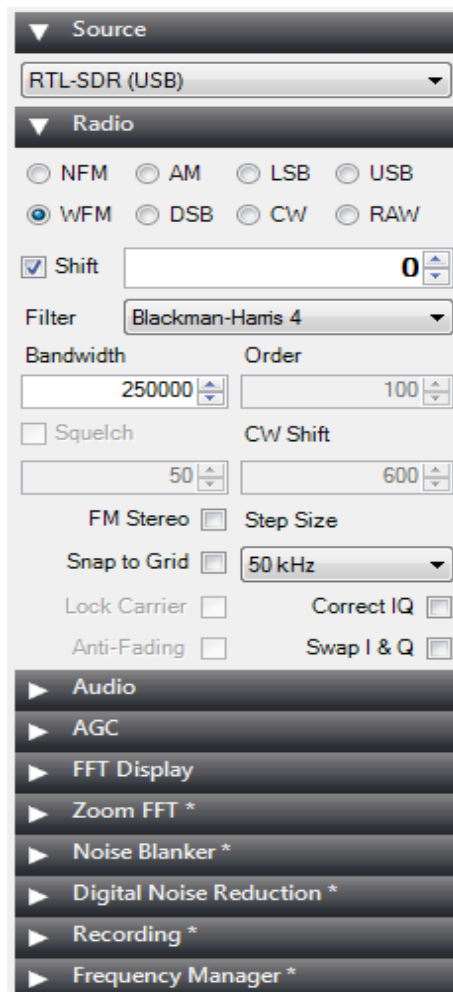
- Selección de comienzo de captura, frecuencia y volumen:



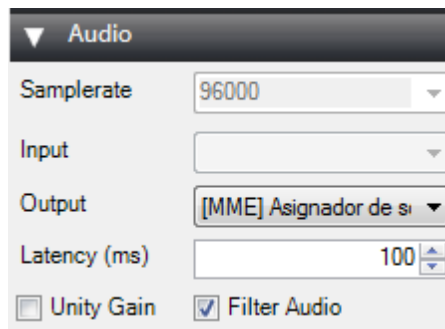
- Selección de equipo SDR a utilizar.



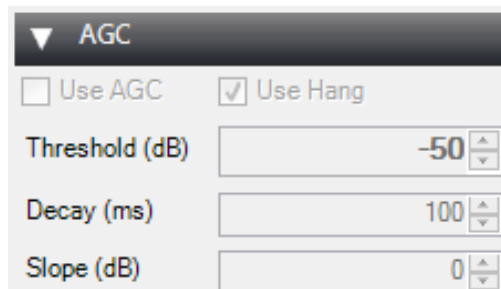
- Selección de tipo de modulación, filtro, correctores y ancho de banda:



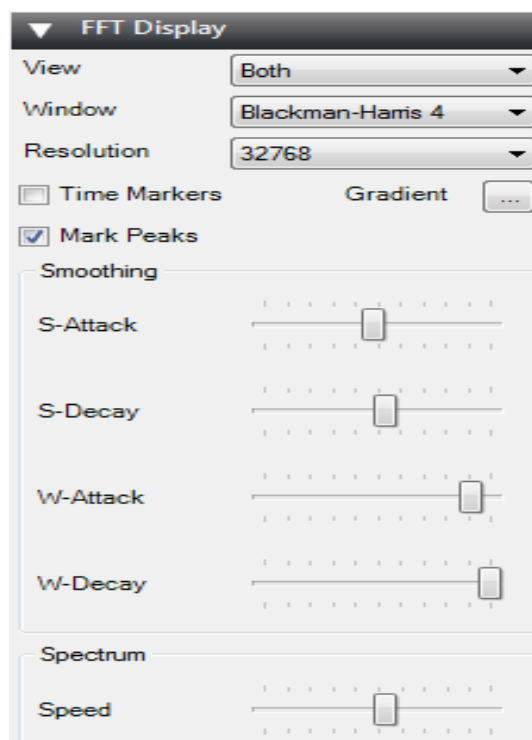
- Selección de parámetros de audio, con esta podemos controlar el volumen de sonido del receptor de forma independiente al volumen fijado en nuestro ordenador con el selector de nivel de audio, además podemos seleccionar la tasa de muestras de audio y activar el filtro de audio:



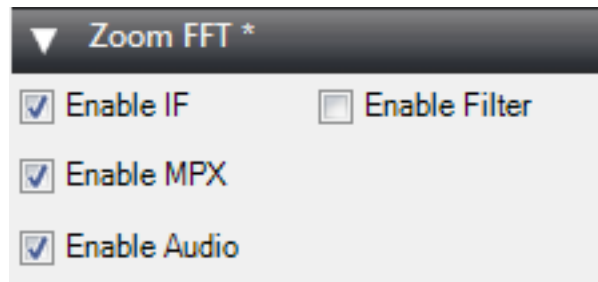
- Control del ACG (control automático de ganancia), esta opción permite que el software SDR# seleccione la ganancia del receptor con objeto de eliminar problemas de saturación de señal.



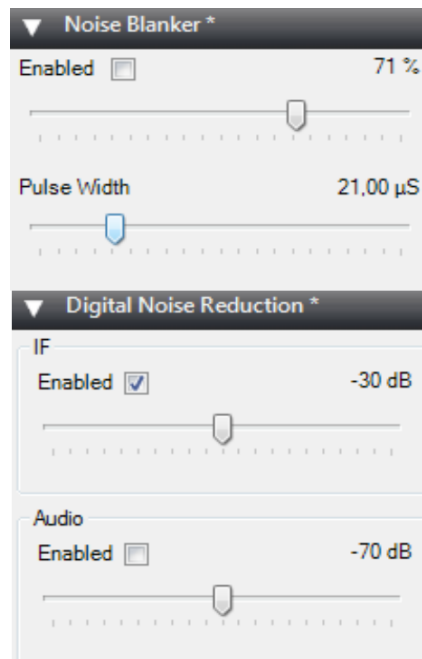
- Selección de pantalla de presentación de señales de radio recibidas:



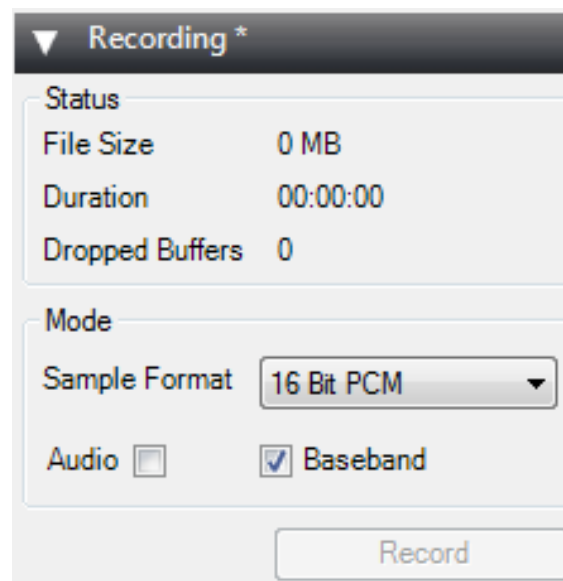
Gestión zoom FFT:



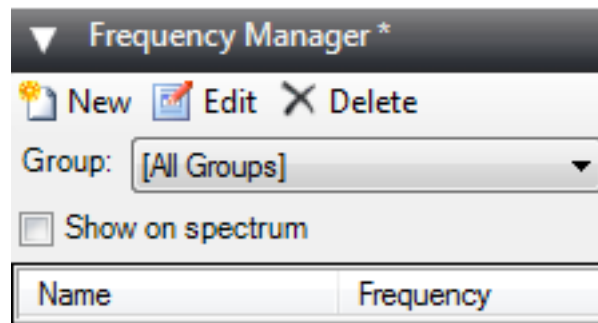
- Reductores de ruido de IF, Audio y digital:



- Control de grabación de muestras:



- Gestión de grupos de frecuencias:



En la zona de zona derecha de la pantalla tenemos 4 controles panel ajuste del zoom, contraste, alcance y offset de las señales mostradas.

Zona de visualización de señales (figura 7.18).

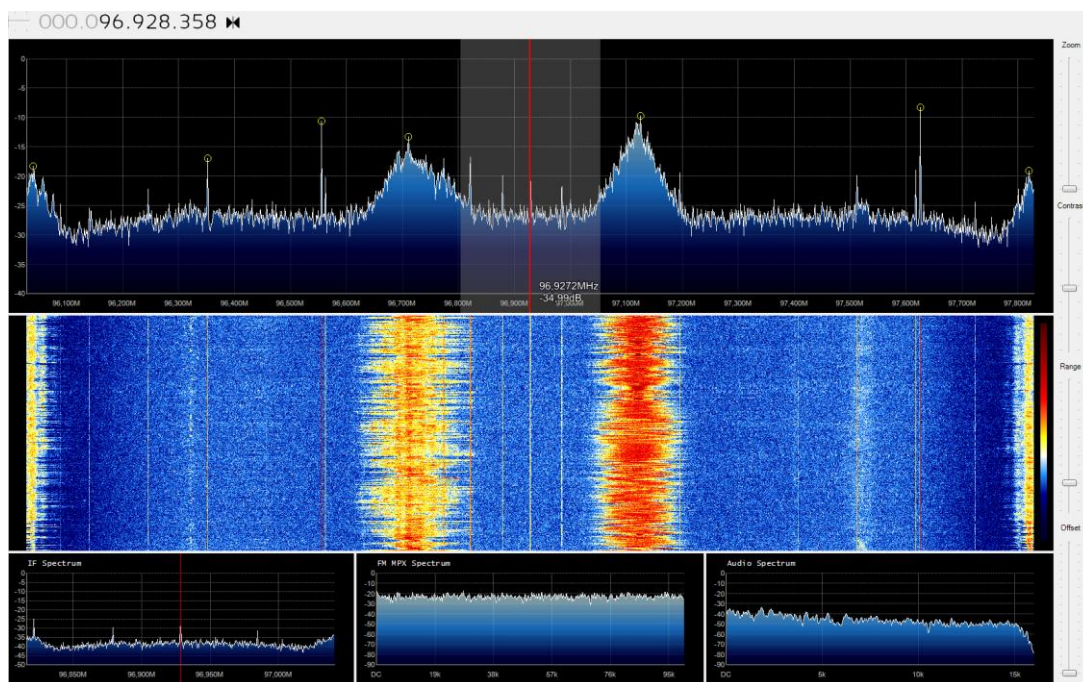


Figura 7.18.- Pantalla FFT del SDR#.

En esta pueden mostrar hasta 5 graficas, seleccionables desde el menú FFT Display.

- Analizador de espectro (figura 7.27). En esta visualizaremos el espectro recibido, indicando con una línea vertical la frecuencia central sintonizada y en gris el ancho de banda seleccionado.

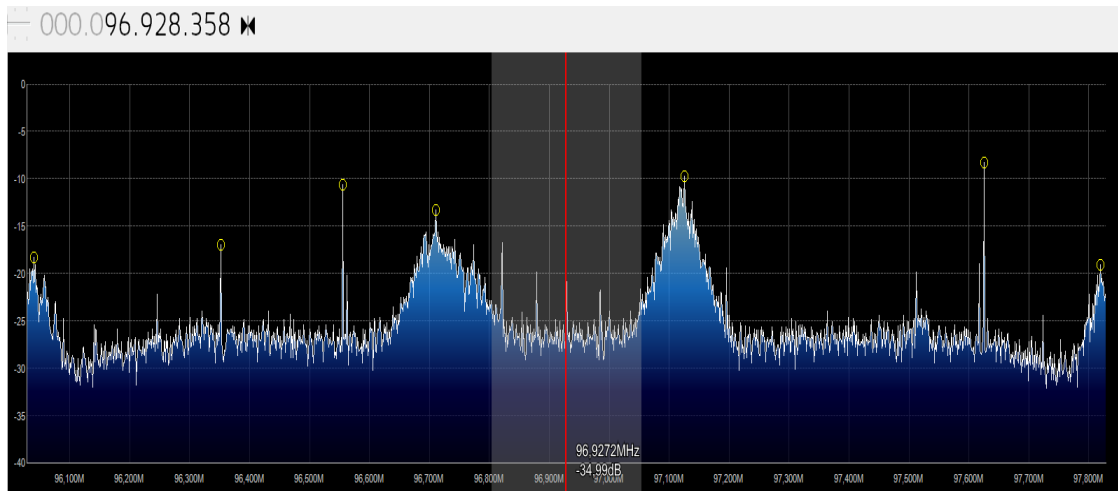


Figura 7.19.- Pantalla analizador espectro.

- Diagrama de cascada (figura 7.20). Donde se visualiza el nivel de la señal de cada frecuencia mediante color, a mayor nivel de señal degradada a color rojo y menor nivel degradada a color azul.

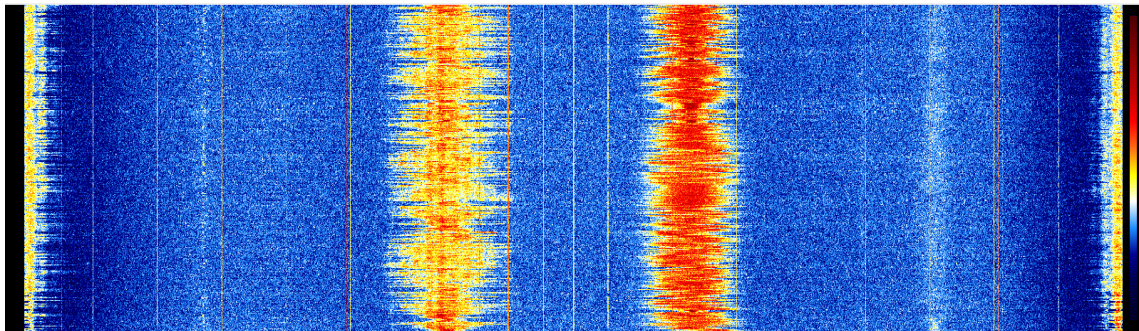


Figura 7.20.- Diagrama cascada de nivel.

- Analizador espectro de IF (figura 7.21).



Figura 7.21.- Analizador de espectro IF.

- Analizador de espectro para señal MPX FM o señal estéreo múltiplex (figura 7.22). La señal MPX es una señal que contiene las señales de audio Suma y Resta, además de otros servicios como pueden ser el RDS. Esta señal permite

modular todas estas señales bajo una única frecuencia portadora. La señal MPX tiene un ancho de banda de 100kHz.

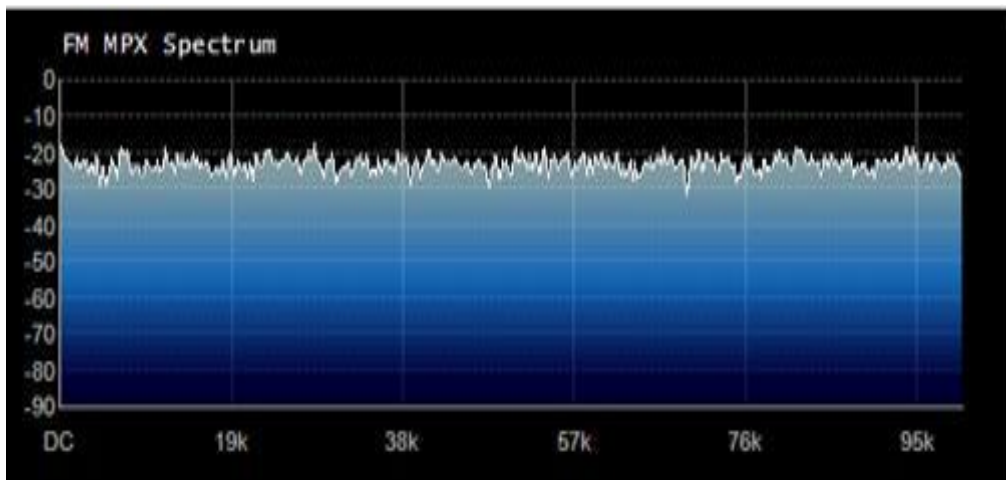


Figura 7.22.- Analizador de espectro FM MPX.

- Analizador de espectro señal audio (figura 7.23).

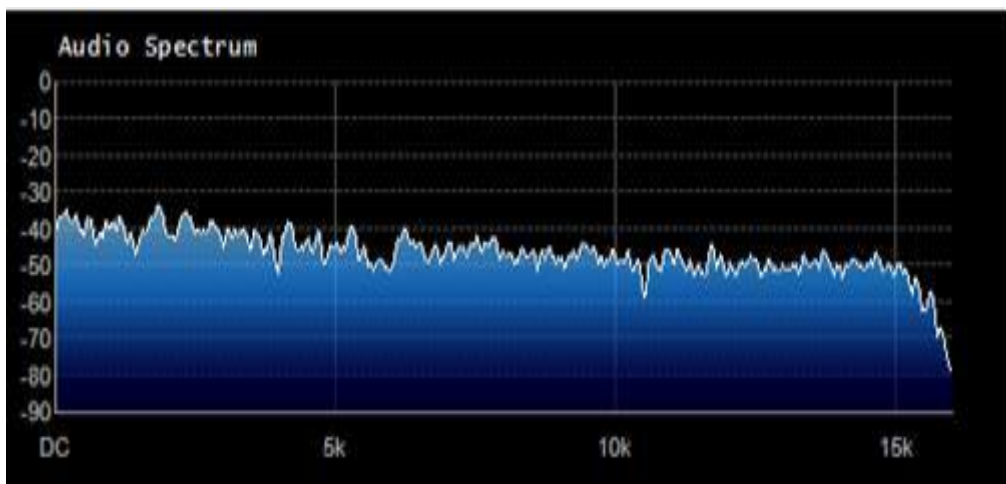


Figura 7.24.- Analizador de espectro audio.

7.2.2. ORBITRON.

El programa seleccionado para obtener las coordenadas de azimut y elevación de los objetos a estudiar es Orbitron (Stoff, 2015), con la información que obtenemos de Orbitron se orientaran las antenas automáticamente. Este es un software multiplataforma gratuito creado por Sebastián Stoff.

En su base de datos incluye varios cuerpos celestes, como son la Luna y el Sol y multitud de satélites artificiales que orbitan la Tierra, entre ellos la ISS.

A parte de presentar en pantalla los cuerpos a seguir (figura 7.25), también permite conectarse con varios modelos de controladores comerciales de posicionamiento de antenas.

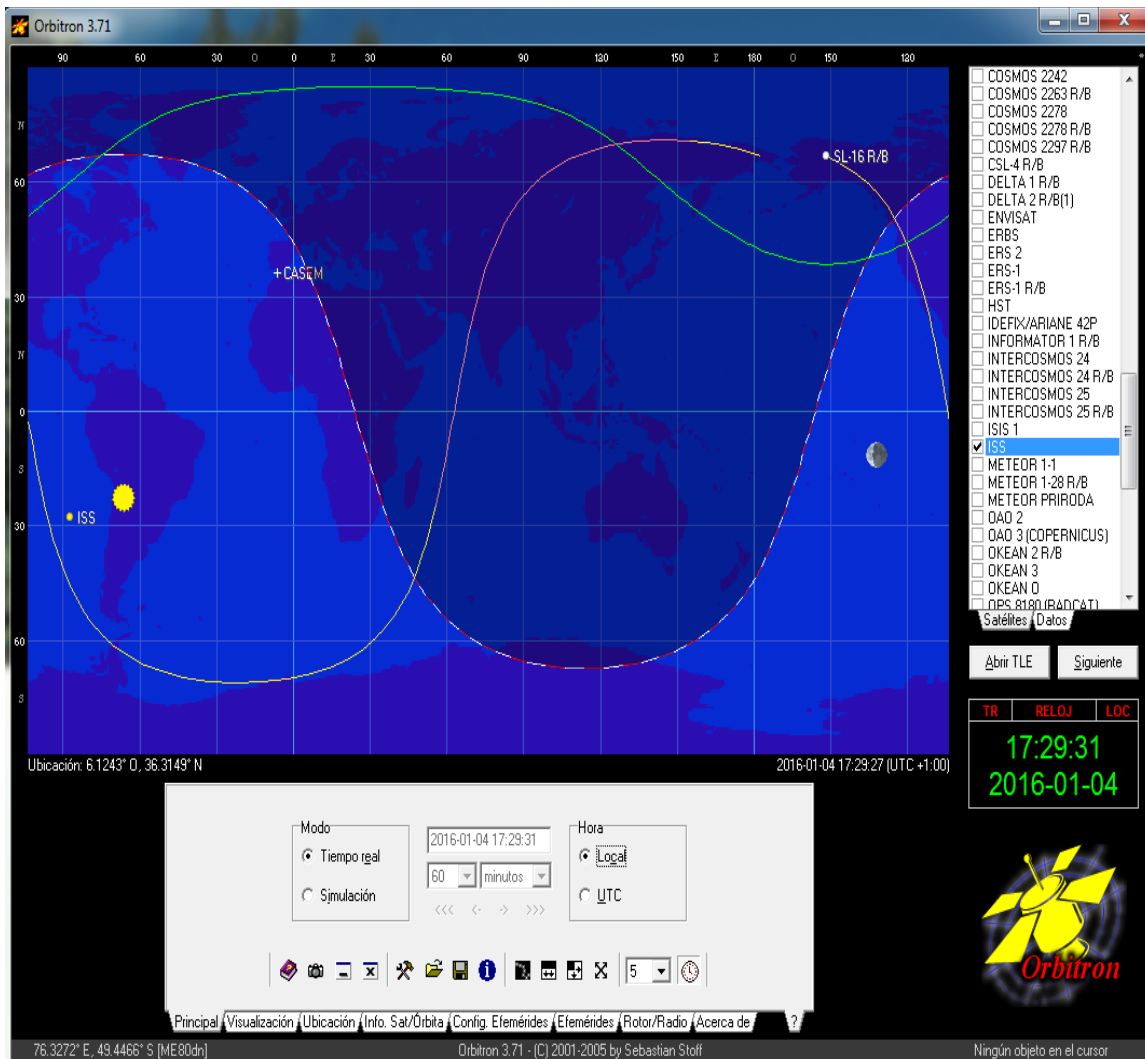


Figura 7.25.- Interface Orbitron.

Antes de comenzar a operar con este software debemos actualizar los TLE. Orbitron utiliza archivos que contienen los elementos orbitales de una gran cantidad de satélites artificiales, con estos archivos se traza la trayectoria del objeto sobre el cielo para las circunstancias locales. Pero debido a fenómenos como el de decaimiento orbital con el paso del tiempo, estos datos deben ser actualizados, para ello Orbitron trabaja con los archivos denominados TLE (Two Line Elements), estos poseen los datos necesarios para construir la órbita del satélite, para así poder determinar correctamente el paso de un objeto sobre un punto específico del planeta.

El formato TLE (Sur, 2015) (figura 7.26 y 7.27) consta de un código de tres líneas de 69 columnas de largo. La primera línea representa el nombre del objeto en órbita y las dos siguientes los elementos numéricos para construir la órbita.

```

Iridium 46
1 24905U 97043C 03029.77037232 +.00000191 +00000-0 +60972-4 0 00437
2 24905 086.3979 290.5337 0002724 058.5465 301.5990 14.34218966284994

Identificación internacional del objeto. Los primeros dos dígitos corresponden al año de lanzamiento. Los siguientes tres al número de lanzamiento del año. Las ultimas letras (pueden aparecer entre 1 y 3) corresponden a la pieza de lanzamiento.

```

Figura 7.26.- Ejemplo información TLE.

Fuente: *astrosurf.com*

```

Iridium 46
1 24905U 97043C 03029.77037232 +.00000191 +00000-0 +60972-4 0 00437
2 24905 086.3979 290.5337 0002724 058.5465 301.5990 14.34218966284994

Inclinación orbital (grados)

```

Figura 7.27.- Ejemplo información TLE.

Fuente: *astrosurf.com*

También es necesario indicar las coordenadas de la posición geográfica donde están instalado el punto de observación, en el caso de este trabajo se han introducido las coordenadas del Centro Superior de Estudios Marinos (CASEM), lugar donde se han instalado las antenas y el controlador de seguimiento para SDR:

- Longitud: 6.1243 O.
- Latitud: 36.3149 N (figura 7.28).

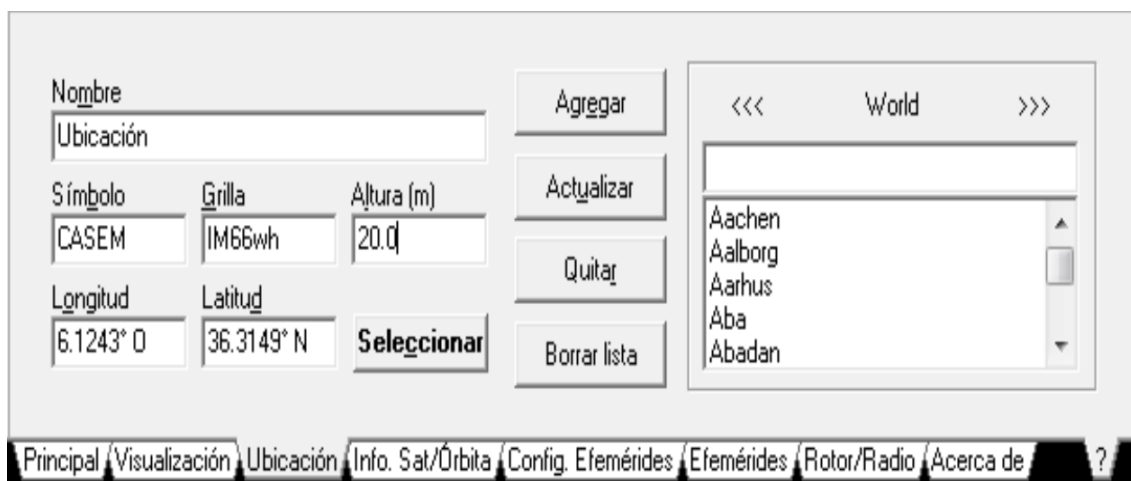


Figura 7.28.- Pantalla selección de ubicación.

Orbitron nos proporciona una amplia información sobre el objeto a seguir (figura 7.29).

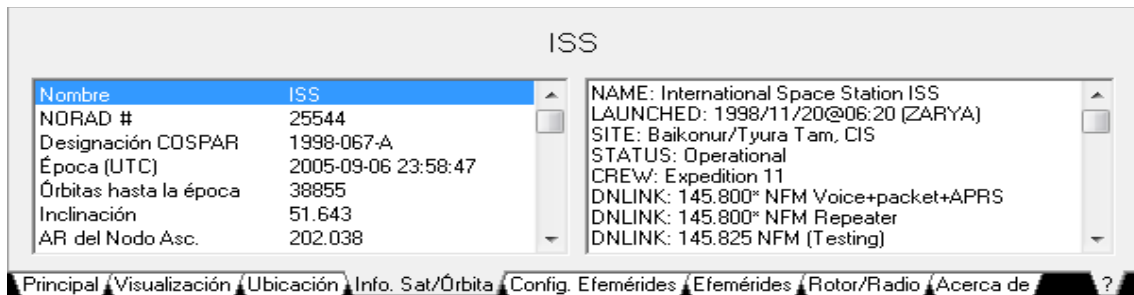


Figura 7.29.- Pantalla información satélite/orbita.

También nos permite configurar efemérides (valores que da las posiciones de los objetos astronómicos en el cielo en un momento o momentos dados) (figura 7.30). Para poder configurar una efeméride hay que introducir datos como son la hora, la altitud, el azimut y en ocasiones la magnitud.

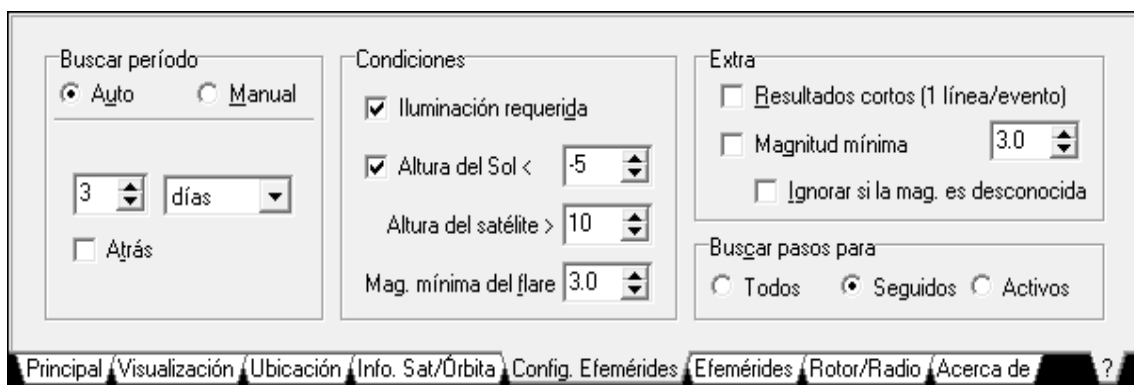


Figura 7.30.- Configuración de efemérides.

Una de sus opciones más interesantes que incorpora Orbitron es el poder comandar controladores comerciales de seguimiento de antenas (figura 7.31).



Figura 7.31.- Selección de driver de controlador.

En el mapa que presenta en pantalla Orbitron se muestran en su fondo los continentes, así como las líneas de paralelos y meridianos, también se puede observar una línea curva de color rojo y blanco, esta nos separa las partes que están siendo iluminadas por el Sol y que parte no, en otras palabras, que parte del globo es de día y que parte es de noche. La zona más oscura, comprende el área geográfica situada en el periodo nocturno.

La información de los satélites nos viene indicada con tres colores:

- Línea ovalada o circular de color verde, esta nos indica el área de cobertura del satélite.
- Línea amarilla, trayectoria del satélite en área iluminada por el Sol.
- Línea roja, trayectoria del satélite en la zona de la tierra en sombra.

Todo esto lo podemos observar, a modo de ejemplo, en la captura de pantalla realizada para el satélite SEASAT1 (figura 7.32):

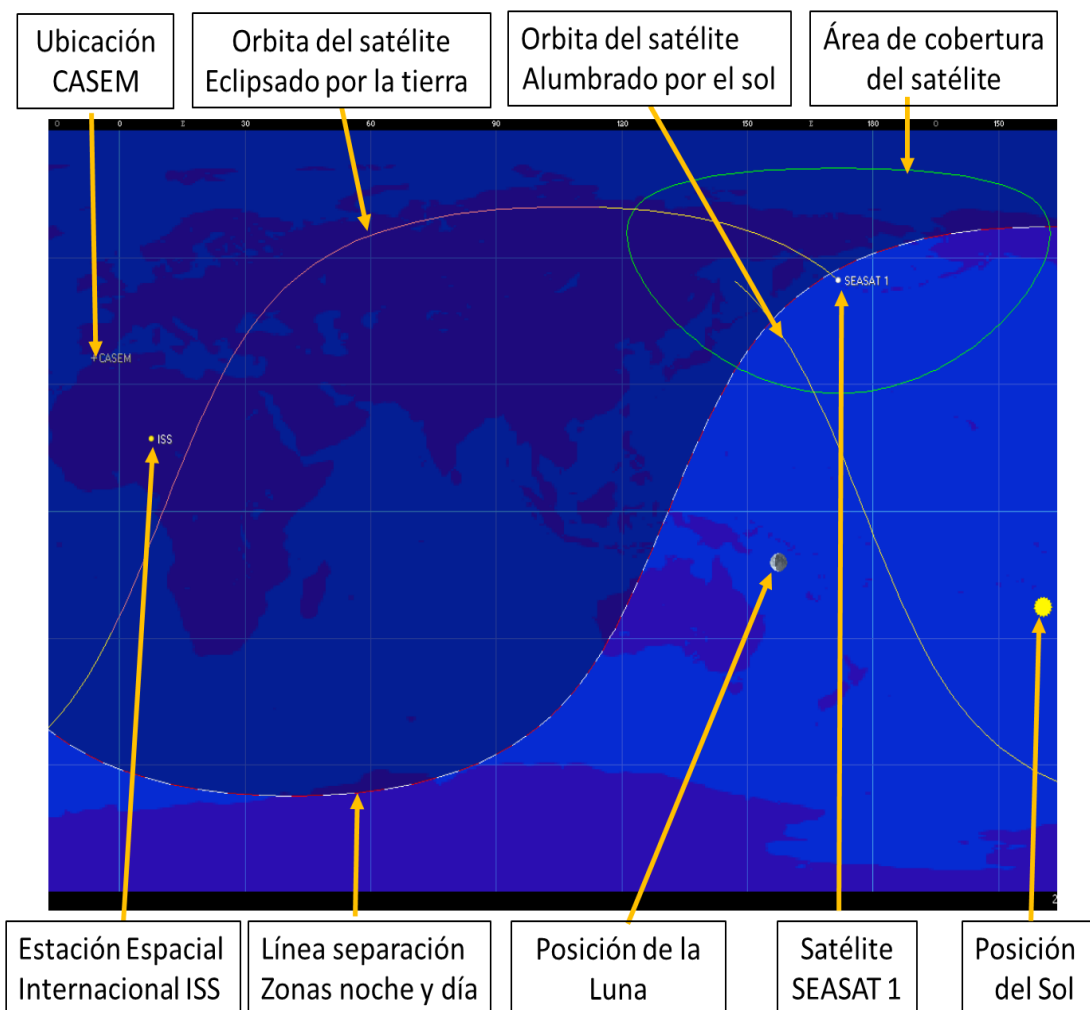


Figura 7.32.- Pantalla de visualización de orbitas de Orbitron.

7.2.3. REMOTE.

Como se ha indicado anteriormente Orbitron dispone de drivers para actuar con varios controladores comerciales, en el caso que nos ocupa en este trabajo, se ha creado un controlador no comercial incompatible a priori con Orbitron. Para solucionar este inconveniente se utiliza el interface de software creado por John.F.Drew (VK5DJ), llamado Remote.exe (Drew, 2015) (figura 7.33). Este software fue desarrollado con el asesoramiento de Sebastián Stoff, con objeto de conectar Orbitron a un controlador creado por John.F.Drew, basado en PIC.

Se han utilizado los protocolos de comunicaciones que ha suministrado John F Drew, para poder comunicar su software con el controlador desarrollado en este trabajo.

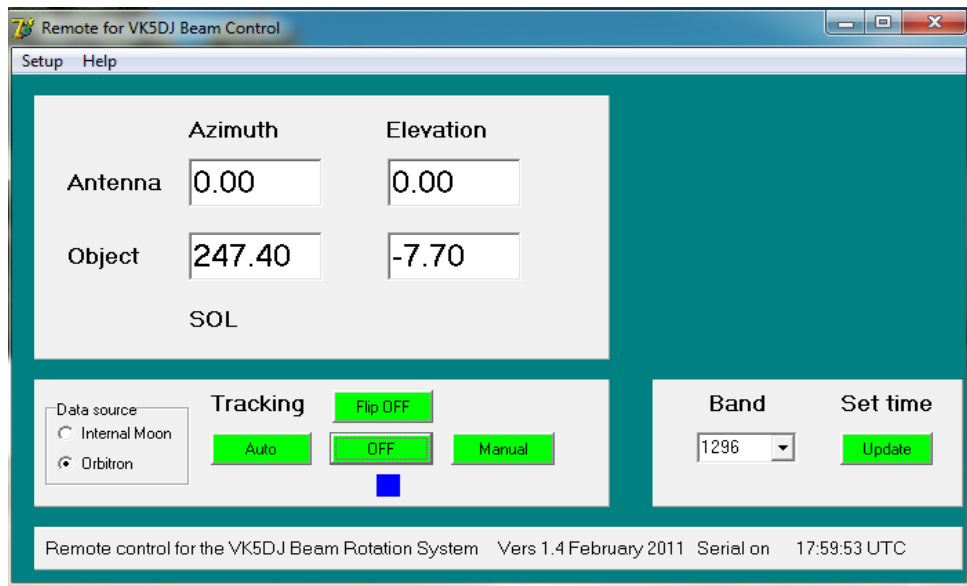


Figura 7.33.- Interface Orbitron VK5DJ.

Este interface nos permite tanto la conexión tanto por Internet como por comunicación serie (figura 7.34).

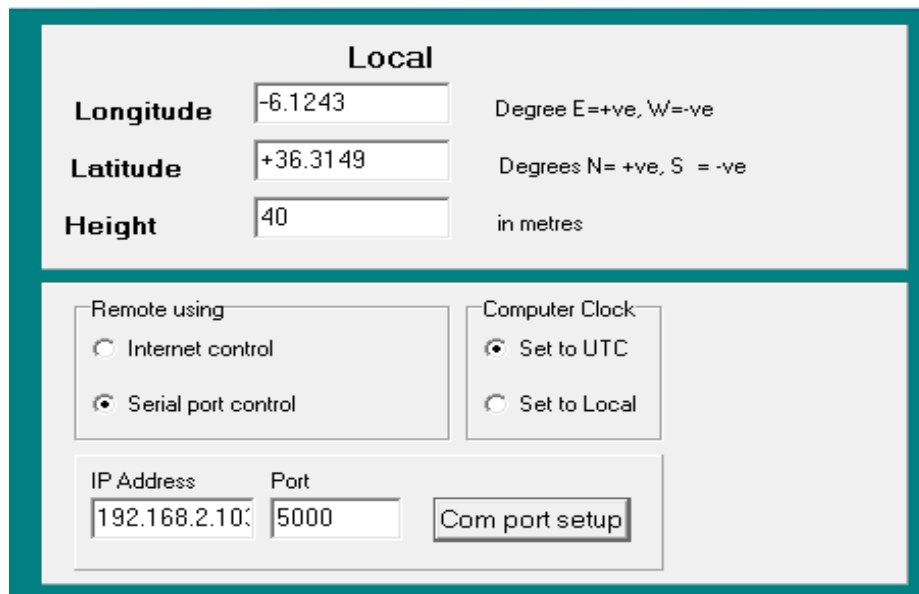


Figura 7.34.- Configuración de tipo de comunicaciones.

7.2.4. IDE ARDUINO.

La programación de Arduino se ha realizado en la versión 1.6.5 (Arduino, 2015) (figura 7.35). La plataforma Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el lenguaje de programación de alto nivel Processing y Wiring los cuales son similares a C++. Tanto Processing como Wiring son lenguajes de programación y entornos de desarrollo integrado de código abierto basado en Java de fácil utilización.



Figura 7.36.- IDE Arduino.

El IDE de Arduino permite de una manera sencilla e intuitiva la programación de las distintas variantes de tarjetas que constituyen esta plataforma. Consta de 5 partes diferenciadas (figura 7.37).

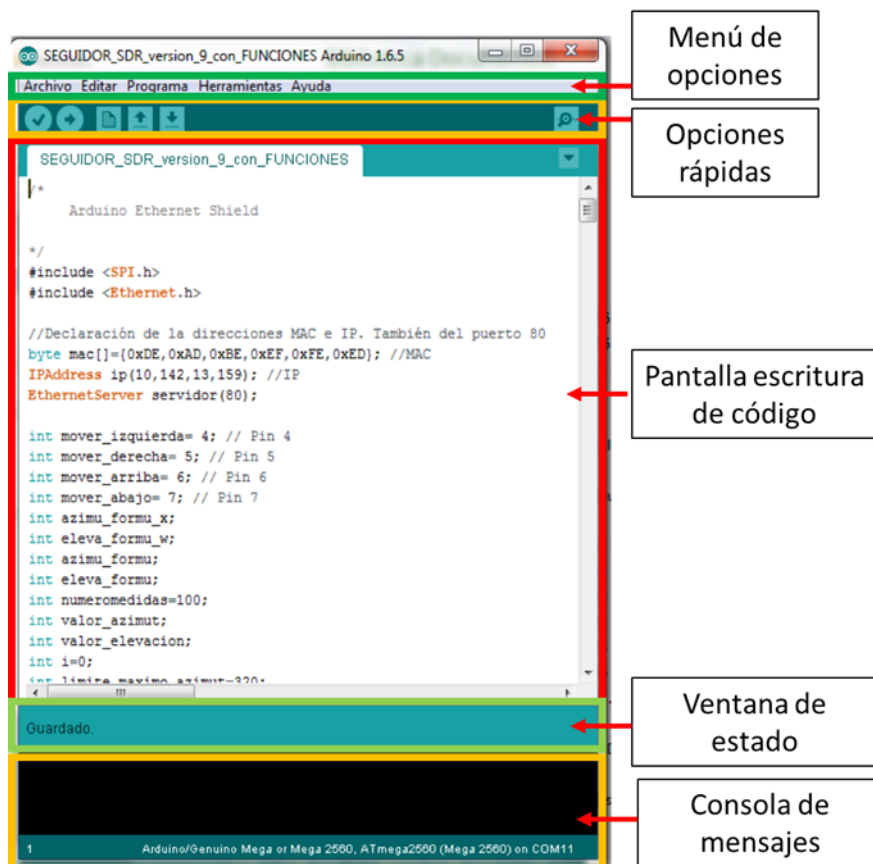


Figura 7.37.- IDE Arduino.

- Menú de opciones: aparte de opciones básicas como son la creación, guardado, verificación y compilación de ficheros, también nos permite en la pestaña de “Herramientas” (figura 7.38) la selección del modelo de Arduino a programar y del puerto de comunicaciones al que se conectara la tarjeta, además de la activación de un práctico monitor serie.

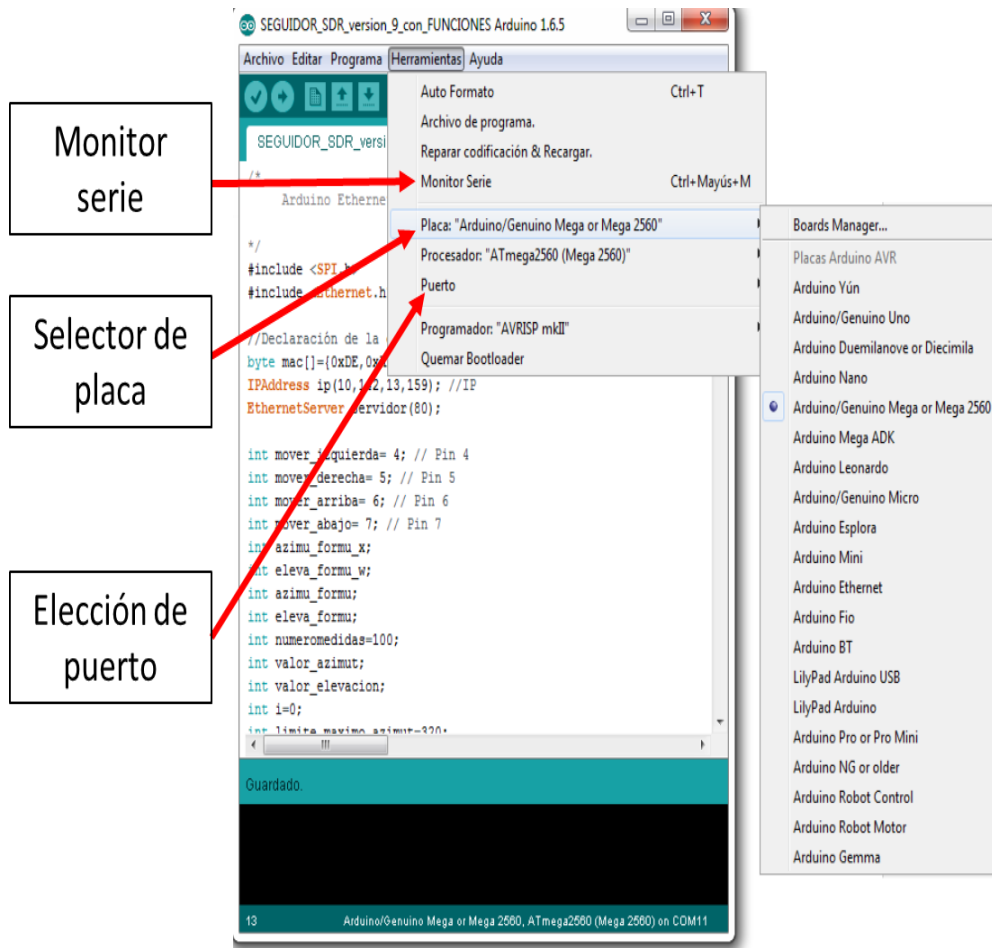


Figura 7.38.- Pestaña “Herramientas” IDE Arduino.

- Opciones rápidas: nos permite la verificación, subida, apertura y guardado rápido del programa.
- Pantalla de código: es el editor de texto donde se realiza la escritura del código.
- Ventana de estado: ofrece información de estado y errores.
- Consola de mensajes: en caso de errores de programación, nos muestra la línea donde se encuentra el error y el tipo de fallo.

8. DESARROLLO DE TRABAJO.

Este trabajo final de máster se ha dividido en dos partes fundamentales:

- Construcción y montaje de equipos.
- Programación del controlador de seguimiento de antenas.

8.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.

El sistema se ha dividido en 4 bloques diferenciados (figura 8.1):

- Bloque 1.- Controlador seguidor de antenas.
- Bloque 2.- Posicionamiento manual de antenas.
- Bloque 3.- Rotores y antenas.
- Bloque 4.- Equipos tratamiento de señal de radio recibida mediante SDR.

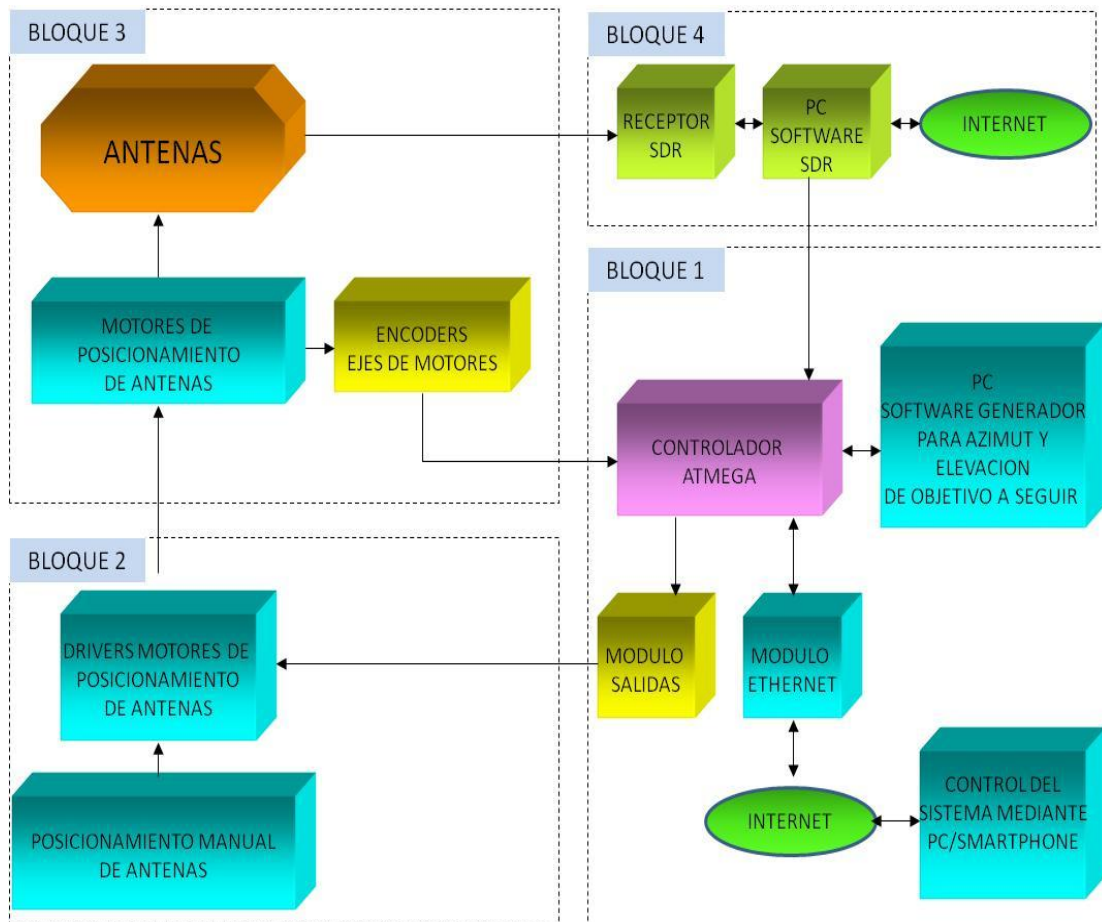


Figura 8.1.- Diagrama de bloques del sistema completo.



Figura 8.2.- Imagen del montaje final de los equipos del seguidor de antenas.

8.1.1.- BLOQUE 1.- CONTROLADOR SEGUIDOR DE ANTENAS.

La función de este equipo recibir las órdenes de posicionamiento de antenas mediante internet ya sea por ordenador, tablet o por teléfono móvil y activar los rotores del conjunto de antenas ajustando los parámetros de azimut y elevación de estos.

Lista de componentes principales utilizados en el proyecto:

- Arduino Mega 2560.
- Shield Ethernet W5100.
- Shield Proto V.5.
- Módulo de relés de 4 salidas.
- Módulo de relés de 2 salidas.
- Conversor TTL a USB.
- Fuente de alimentación de 9 VDC 800mA.
- Conector RJ45 hembra + conector RJ45 macho.
- Conector DB9 hembra + conector DB9 macho.
- Conector USB macho.
- Cable UTP Cat-6.
- Caja reutilizada de equipo UPS.

ELEMENTOS DEL SISTEMA.

Este equipo se ha diseñado tomando como base el micro controlador ATmega2560 el cual está apoyado para su funcionamiento por un total de 6 tarjetas sobre las que se detallara en los siguientes apartados. El diagrama de bloques del equipo es el siguiente: (figura 8.3).

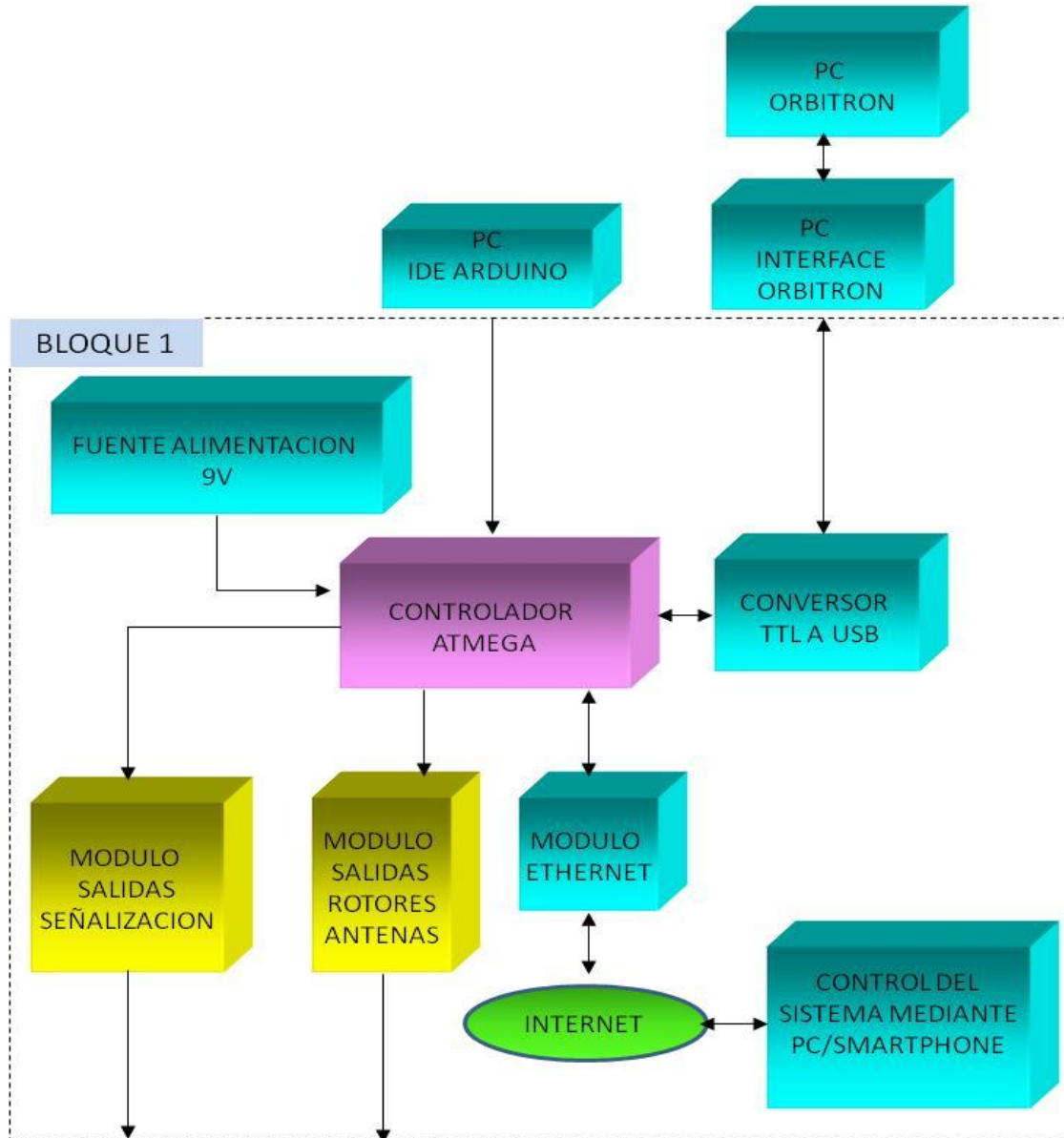


Figura 8.3.- Diagrama de bloques controlador seguidor de antenas.

Incorpora una fuente conmutada de 9 voltios y 800 mA (figura 8.4), con la que se alimenta a la tarjeta del micro controlador, las Shield de Ethernet y Proto y a las dos tarjetas de relés, con objeto de evitar la alimentación por el conector USB para no forzar el puerto del ordenador al que esté conectado.



Figura 8.4. Fuente alimentación de 9 voltios.

El núcleo del controlador es lo constituye un Arduino ATmega2560 (figura 8.5), al que se le ha conectado una Shield Ethernet W5100(figura 8.3), que permite crear un servidor de internet, con objeto de poder interactuar con el equipo desde cualquier ordenador o teléfono móvil que tenga acceso a internet.

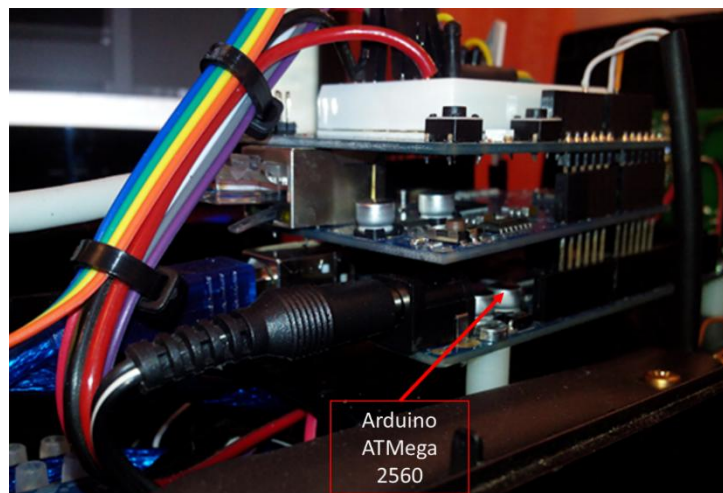


Figura 8.5. Arduino ATmega 2560.

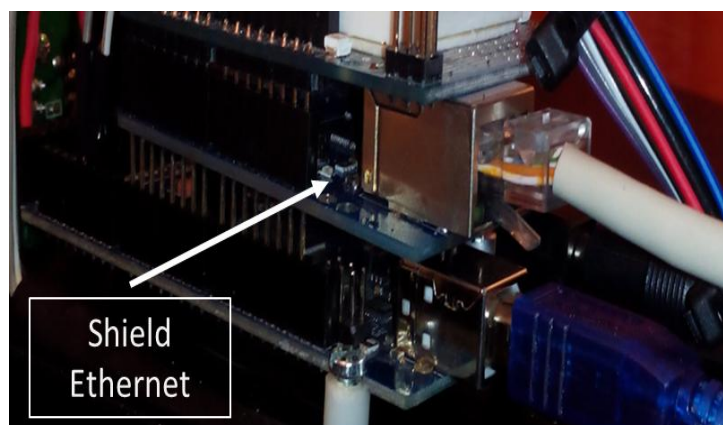


Figura 8.6. Imagen de Shield Ethernet W5100.

Para ello se solicitó al Area de Informatica de la Universidad de Cádiz una dirección IP propia para el equipo, concretamente la IP:10.142.13.159.

Con objeto de simplificar el cableado y permitir futuras ampliaciones o modificaciones se ha añadido la tarjeta Shield Proto V.5 (figura 8.7), esta tarjeta permite hacer prototipos de manera fácil y rápida, mediante el uso de la protoboard que lleva incorporada o con los pads para soldar que tiene en la tablilla.

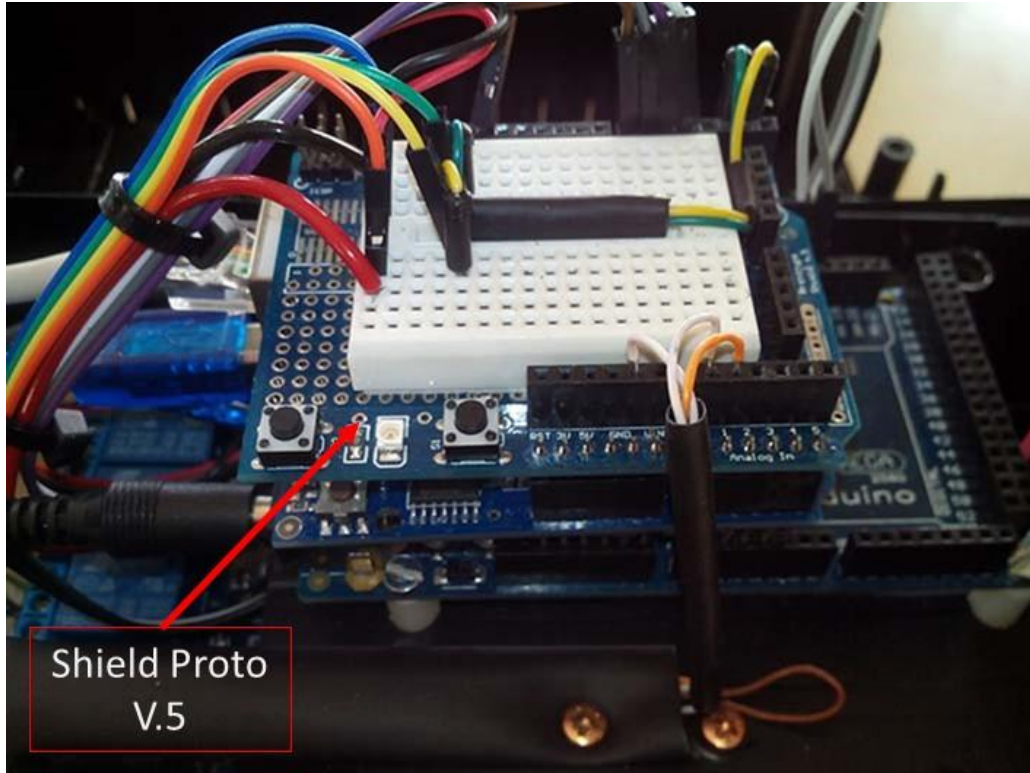


Figura 8.7. Shield Proto V.5.

Como características principales:

- Botón de reset.
- Conector para ICSP.
- Varios rieles de señal GND y +5V.
- Área de prototipos DIP para añadir circuitos integrados.
- Área de prototipos SOIC arriba del jack USB, para circuitos de hasta 14 pines SOIC.
- Protoboard de 2 bloques de 17 columnas por 5 filas, en total 170 sockets.
- Pulsador extra de 6mm.
- Led para pruebas.

El controlador seguidor de antena comanda 6 salidas, todas ellas mediante relés con objeto de proteger al microcontrolador y permitir un manejo de mayores intensidades.

Para ello monta dos tipos de tarjetas (figura 8.8):

- Tarjeta de 4 relés, con esta se gobiernan la activación de los movimientos de izquierda y derecha para el azimut y de subida y bajada para elevación de los rotores de antenas, mediante el control de una tensión continua de 24 voltios proporcionados por el controlador YAESU 5600.
- Tarjeta de 2 relés, encargados de activar avisos sonoros y luminosos cuando las antenas estén en movimiento.

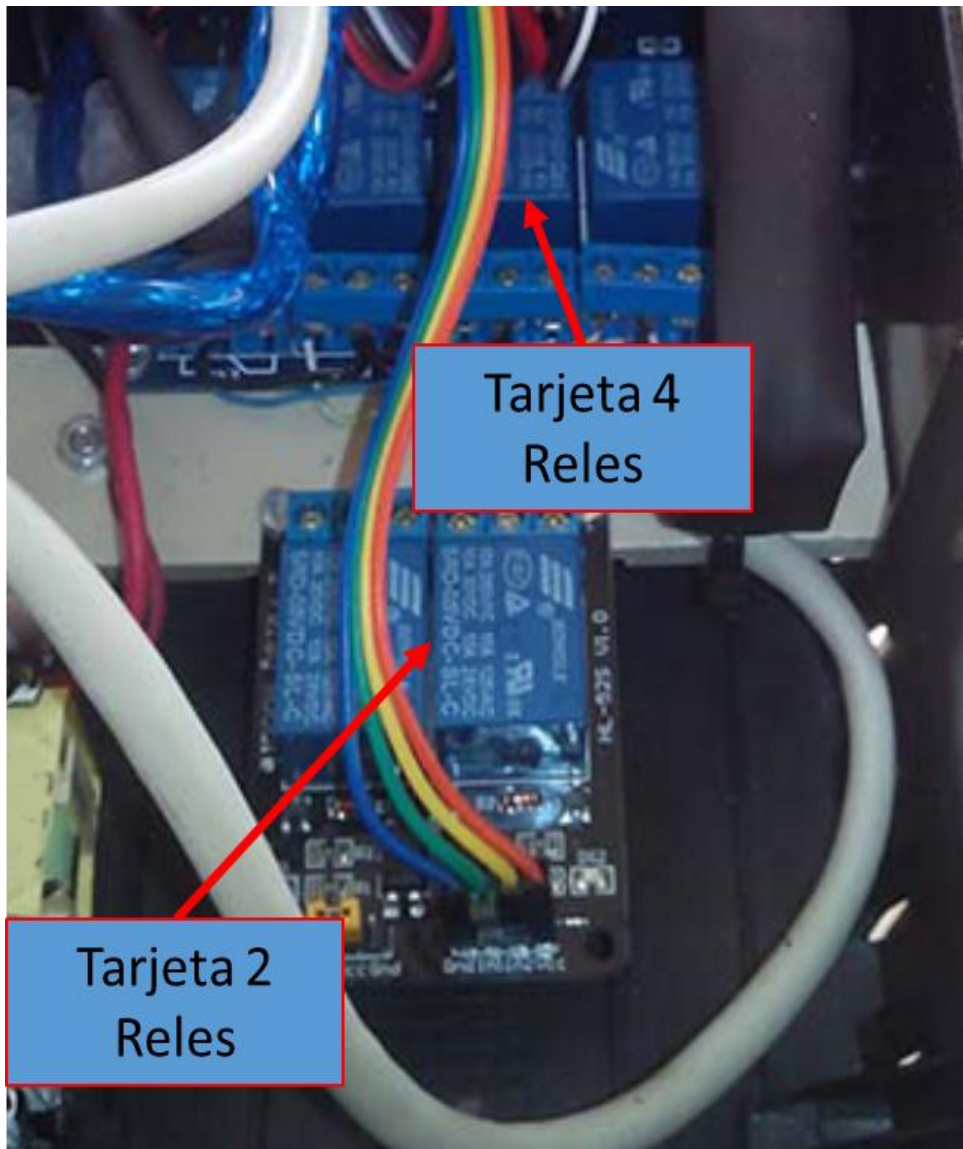


Figura 8.8. Tarjetas de relés.

Con objeto de dejar el puerto USB del Mega2560 solo para programación del equipo y para favorecer los nuevos desarrollos se ha incluido un módulo USB-TTL PL-303HXD (ProlificUSA, 2015) (figura 8.9), este crea un puerto COM virtual ideal para comunicar el PC con Pics , Atmegas u otros microcontroladores. Soporta RS232, RS422 y RS485 (Rev D)

Incorpora un fusible autoresettable de 500mA en la placa para que en caso de cortocircuito la corriente no exceda el límite soportado por el puerto USB.

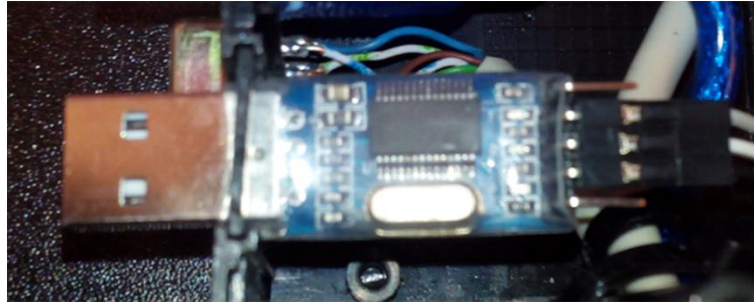


Figura 8.9. Módulo USB-TTL PL-303HXD.

CONEXIONADO.

.El equipo cuenta con los siguientes conectores, indicadores y elementos de corte:

Panel delantero (figura 8.10):

- Pulsador para corte de alimentación de Arduino.
- Led indicador de equipo en funcionamiento.



Figura 8.10.- Vista frontal del controlador seguidor de antenas.

Panel posterior (figura 8.11 y 8.12). Para que el equipo pueda interactuar con los dispositivos externos, (PC y controlador YAESU 5600) y con la red Internet se ha diseñado un panel posterior con los siguientes elementos:

- Interruptor para encendido con corte en fase y neutro.
- Base RJ45 hembra para red Ethernet.
- USB macho para conexión de Arduino al PC.
- USB para conexión de Arduino a Orbitron a través de conversor USB-TTL PL-303HXD.
- DB9 hembra para interconexión con controlador YAESU G5600.
- Base macho de red de 220 VAC para la alimentación del equipo.
- Base hembra para toma auxiliar de 220 VAC.

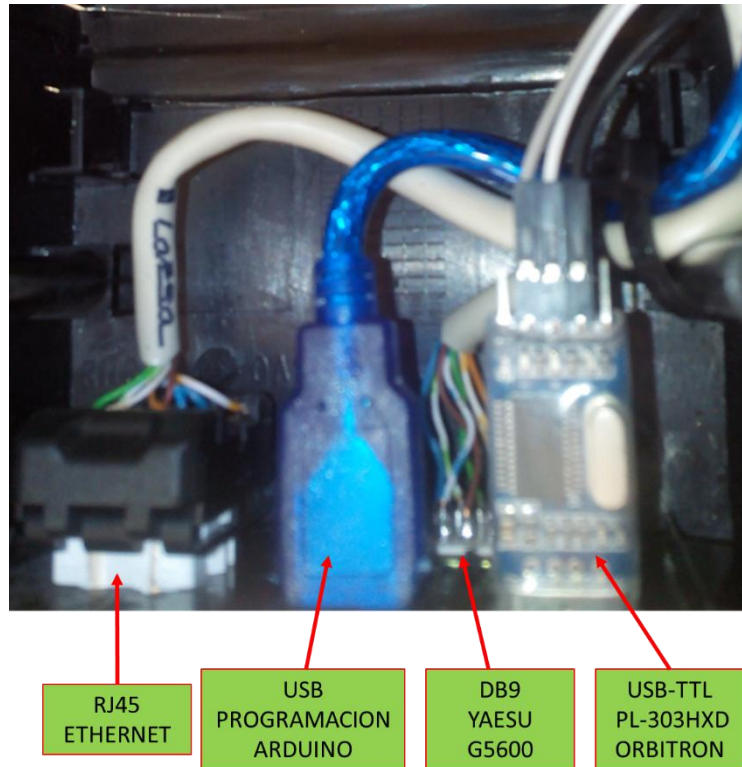


Figura 8.11. Conectores del controlador.

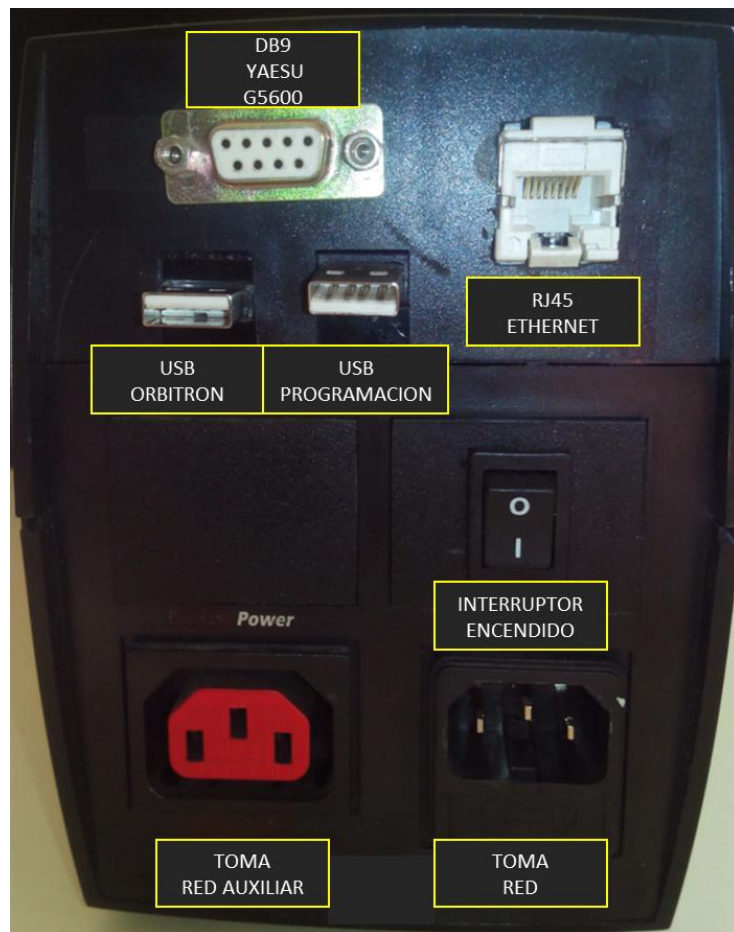


Figura 8.12. Parte posterior de conectores.

FUNCIONAMIENTO.

Como se ha dicho anteriormente este equipo permite comandar tanto al rotor de elevación como el rotor de azimut de las antenas. El interface de usuario es una página Web (figura 8.13) alojada en el microcontrolador, el cual actúa como servidor.

En la página de inicio podemos seleccionar la operación en modo manual o en modo seguidor automático. Además podemos visualizar los datos de elevación y azimut de la antena mediante lectura en la pantalla o por dos medidores gráficos.



Figura 8.13. Pantalla de inicio seguidor remoto de antenas.

En caso de seleccionar el modo manual (figura 8.14) entraremos en la siguiente pantalla:



Figura 8.14. Pantalla modo manual.

En esta tenemos dos modos de operación:

- Modo 1. Mediante cuatro pulsadores le indicaremos al controlador hacia donde queremos que se muevan los rotores. En este modo se han establecidos varias restricciones por:
 - Protección contra pulsación de las dos opciones de elevación o dos de azimut a la vez, en caso de estar activado una opción, al activar la contraria la primera se deshabilita.
 - Protección por límites superiores e inferiores de elevación y azimut. en caso de llegar a un límite, saldrá un aviso en pantalla y se parará el rotor.
- Modo 2. Si el usuario necesita que los rotores se posicionen en un ángulo determinado, cuentan con dos cuadros de formularios para introducir los valores. En este modo se han establecidos varias restricciones por:
 - Protección contra ordenes contraria entre pulsación en modo 1 y modo 2, para ello mientras este seleccionado un pulsador no se podrá activar el modo 2 y viceversa.

En el modo 1 al activarse cualquiera de los rotores, cambiara el color del pulsador correspondiente de color verde a color rojo (figura 8.15), también aparecerá un aviso en pantalla indicando que las antenas están en movimiento, además si estamos en el modo 2 (figura (8.16) en el aviso se informara de los grados a los que se dirige y si es un movimiento de elevación o azimut.



Figura 8.15. Pantalla modo 1 manual.

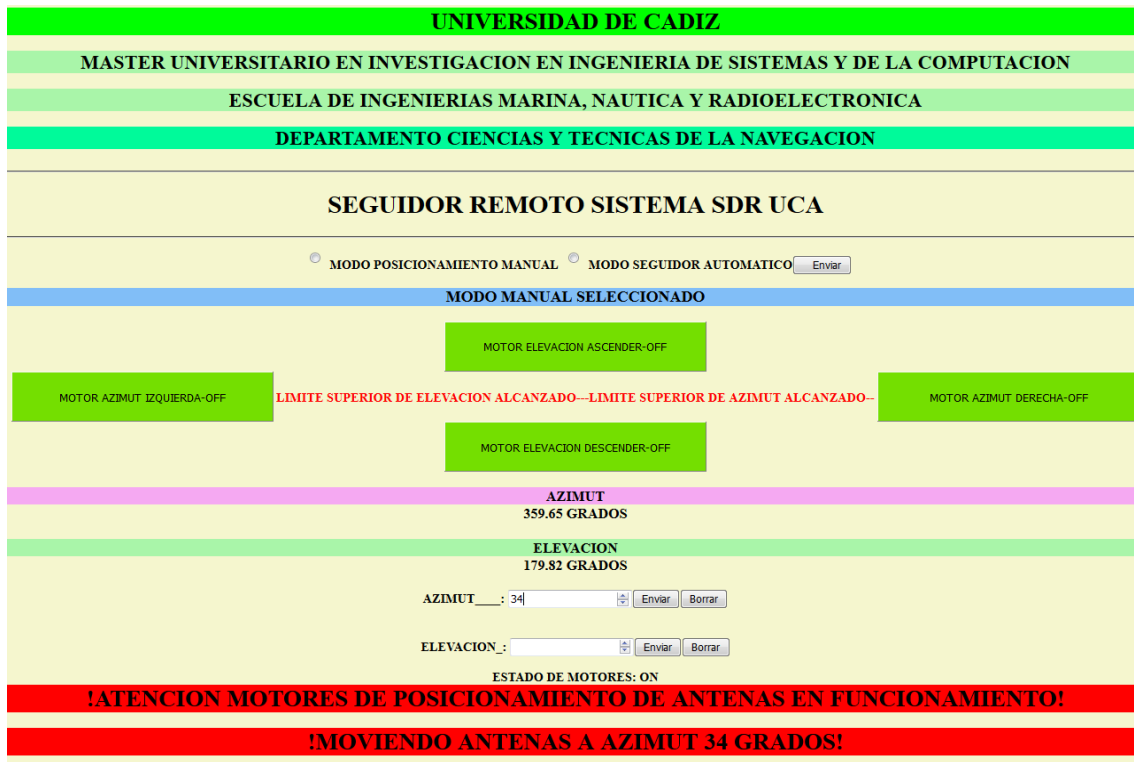


Figura 8.16. Pantalla modo 2 manual.

Si se selecciona modo seguidor automático (figura 8.17), el controlador seguidor de antena comenzara a tomar los datos de azimut y elevación proporcionados por el programa Orbitron a través del Interface Orbitron. Los datos que entregara este programa corresponderán al satélite artificial o al cuerpo celeste (Luna, Sol) seleccionado por el usuario.

La selección del objeto a seguir la realizara el usuario configurando las opciones correspondientes en el software Orbitron.



Figura 8.17. Pantalla modo seguidor automático.

En este modo a parte de mostrarse en pantalla la posición de la antena, también se mostrará los datos de azimut y elevación proporcionados por el Interface Orbitron.

Cuando seleccionamos los distintos modos u opciones, se envía al microcontrolador las peticiones a través de código HTML. Así le llegarán las peticiones del modo de trabajo, el rotor a activar o el ángulo deseado. Con estas peticiones el microcontrolador activará los distintos relés, los cuales atacan al controlador YAESU G5600 por medio del cable conectado al conector DB9 del controlador seguidor de antena.

Tanto las salidas para control de rotores como las entradas con las tensiones procedentes de los potenciómetros de posición de los rotadores pasan por el conector DB9 situado en la parte trasera del controlador.

Como se ha indicado anteriormente los rotores de antena G550 y G650, incorporan cada uno de ellos un potenciómetro en su interior que varía a la vez que lo hace el ángulo de posición del rotor. Le aplicamos una tensión de 5 voltios a estos potenciómetros y la tensión de sus cursores se aplican a las entradas analógicas A0 y A1 del ATmega2560.

Por todo lo anterior el código del programa del controlador es una unión de código en HTML y en lenguaje de programación de Arduino.

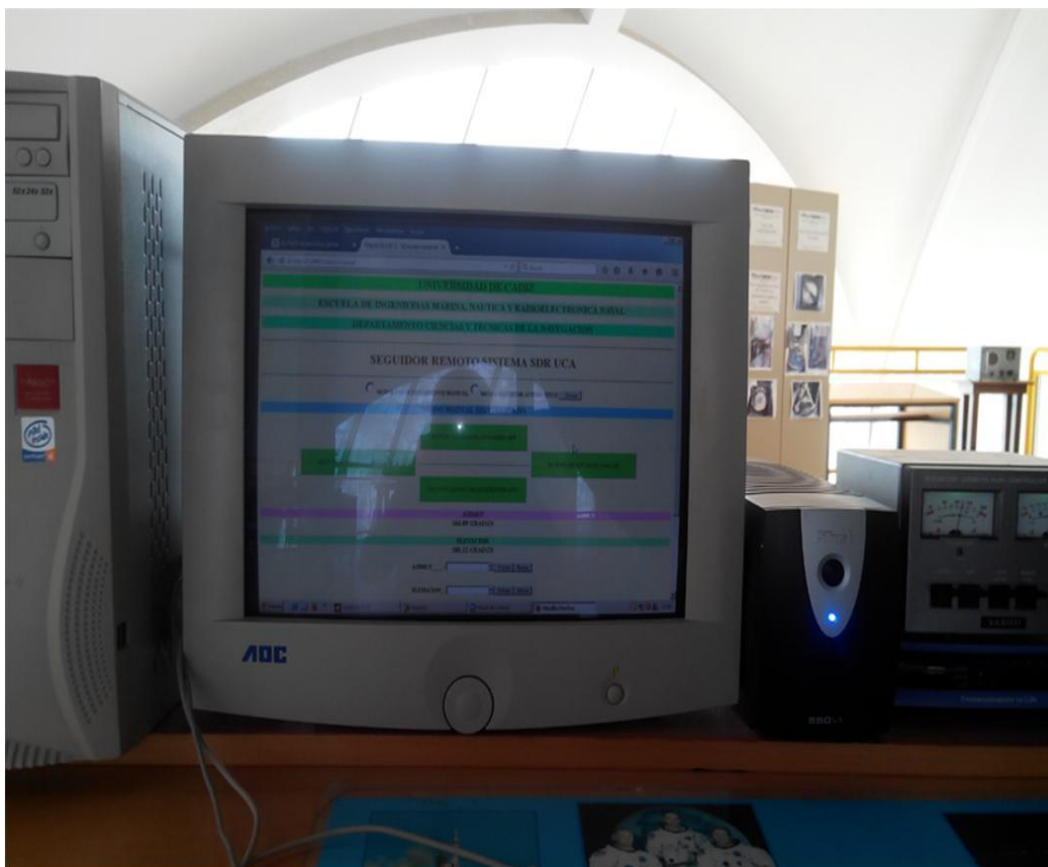


Figura 8.18. Imagen del equipo en funcionamiento.

8.1.2.- BLOQUE 2.- POSICIONAMIENTO MANUAL DE ANTENAS.

El controlador seguidor de antenas esta interconectado al controlador G5600 de YAESU, este constituye la parte principal de este segundo bloque. Este equipo se encarga de convertir la tensión de red de 220 VAC a 24 VDC para la activación de los rotores G550 y G650 de YAESU. También tiene una salida de 6 VDC (ajustable) para alimentar a los potenciómetros de ángulo de posición que instalan los dos rotores.

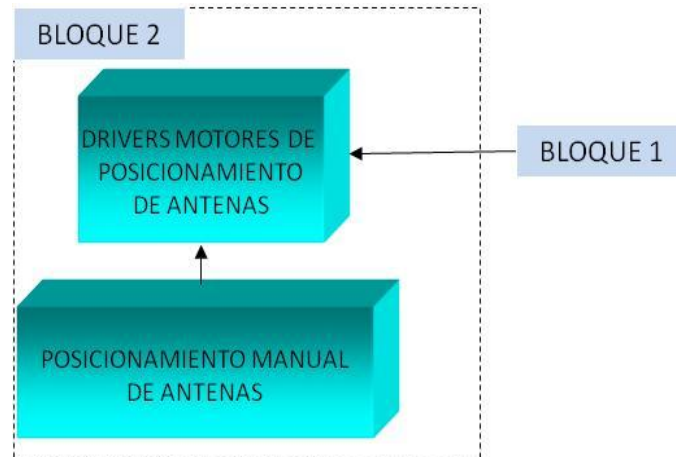


Figura 8.19. Diagrama de bloques posicionamiento manual de antenas.

Aunque el controlador seguidor de antena realizado para este proyecto está capacitado para el control de los rotores, se ha decidió dejar intercalado en el sistema el controlador de YAESU, por varias razones:

- Aprovechar las dos fuentes de alimentación de 24 VDC y 6VDC que incorpora para alimentar rotores y potenciómetros de ángulo de posición.
- Servir como equipo redundante para ajustes y protección de los rotores.
- Disponer de una botonera que permite el control manual de la posición de antenas (figura 8.20).

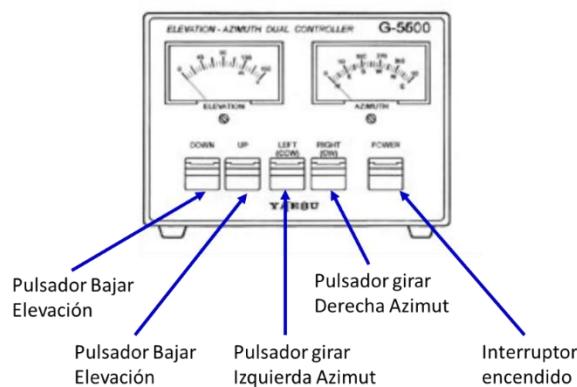


Figura 8.20. Botonera YAESU G5600.

Este equipo forma parte del demostrador de conceptos de radiofrecuencia EAC-10.

El conexionado del equipo (figura 8.21) consiste en:

- Bornera con manguera de 6 hilos conectado a bornera del rotor de Azimut.
 - 1 cable para activación de rotor derecha.
 - 1 cable para activación de rotor izquierda.
 - 1 cable de masa.
 - 3 cables para potenciómetro de ángulo de posición del rotor.
- Bornera con manguera de 6 hilos conectada a bornera del rotor de Elevación.
 - 1 cable para activación de rotor subir.
 - 1 cable para activación de rotor bajar.
 - 1 cable de masa.
 - 3 cables para potenciómetro de ángulo de posición del rotor.
- Conector DIN de 8 pines para interconexión con el controlador seguidor de antenas.
- Cable de alimentación.



Figura 8.21. Panel posterior YAESU G5600, conectado.

PUESTA EN MARCHA.

Para poder utilizar este equipo se tuvo que reparar el controlador G5600, en el punto 8.3 se detallara la avería y la reparación.

El siguiente paso fue comprobar las tensiones máximas de los potenciómetros de ángulos de posición azimut y elevación de antenas (figura 8.22), comprobando que estas estaban cercanas a 6 voltios, por lo que se ajustaron, de modo que estas tensiones tuvieran un valor máximo de 5 voltios con objeto de no dañar al microcontrolador ATmega. Estas tensiones se aplican a las entradas analógicas A0 y A1 de la tarjeta Arduino.

Se ajustaron los fondos de escala de los indicadores del G5600 para que coincidieran con el nuevo voltaje de 5 voltios.

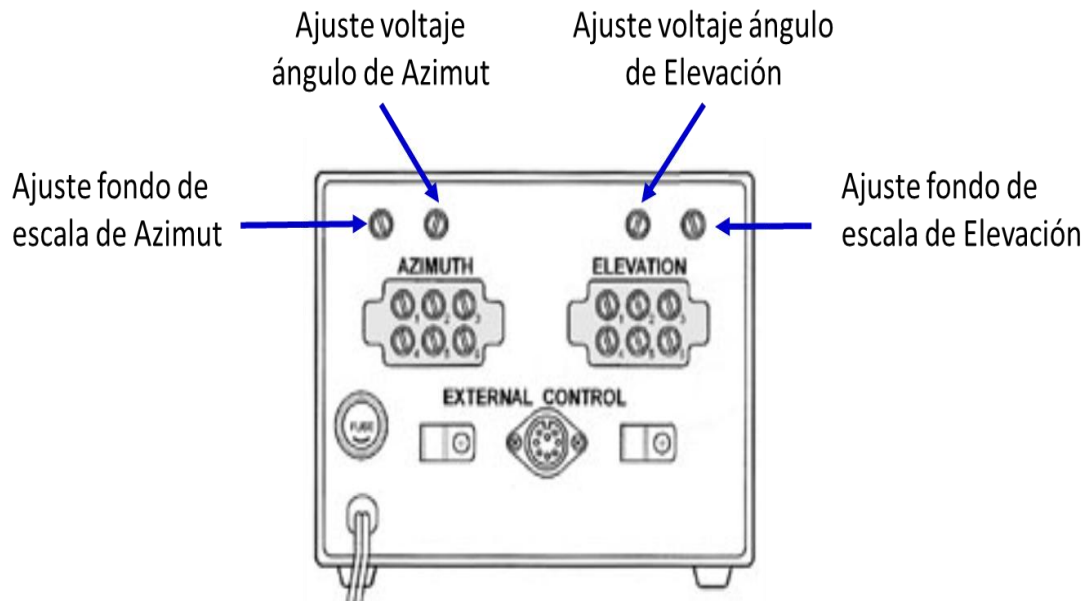


Figura 8.22. Panel posterior YAESU G5600.

Para interconectar el controlador G5600 con el controlador de seguimiento de antenas, se realizó un cable con un conector DIN macho de 8 pines para el extremo del G5600 y con un conector DB9 para el extremo del controlador creado en este proyecto, mientras que el G5600 estaba ya conectado a los rotores mediante dos mangueras de 6 cables (figura 8.23 y 8.24).

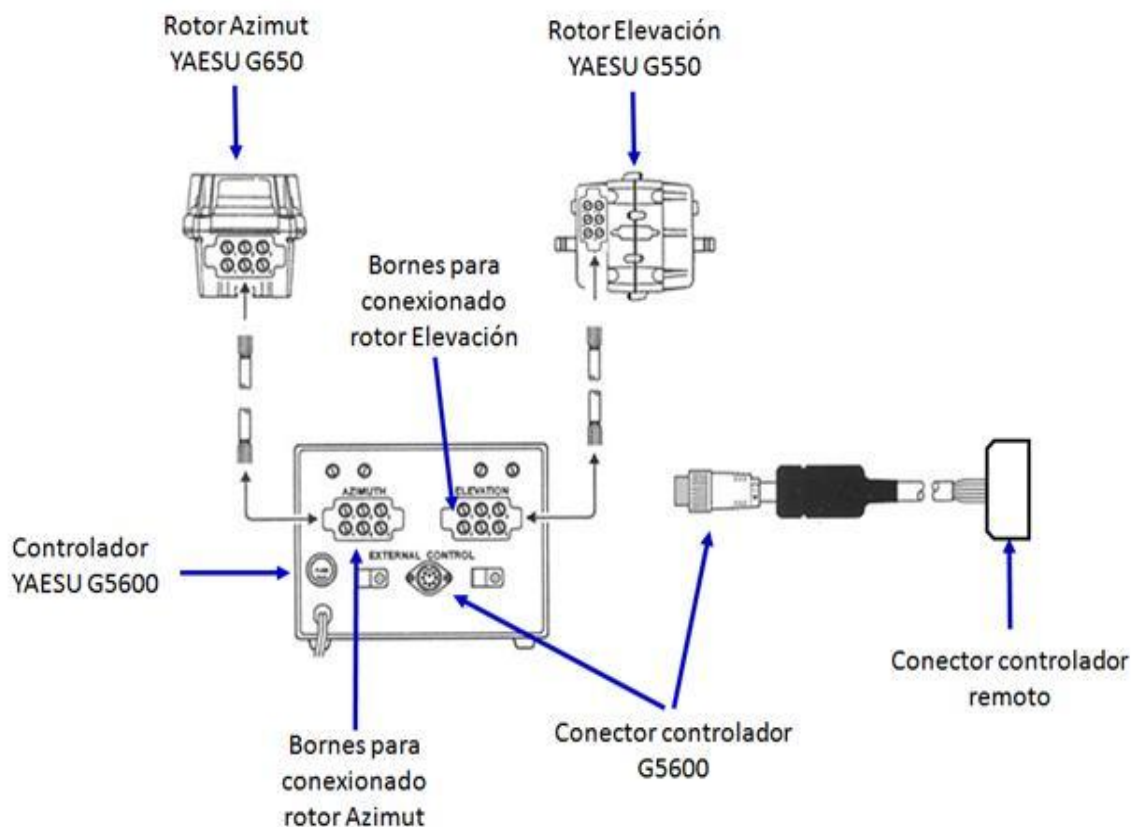


Figura 8.23. Conexionado YAESU G5600.

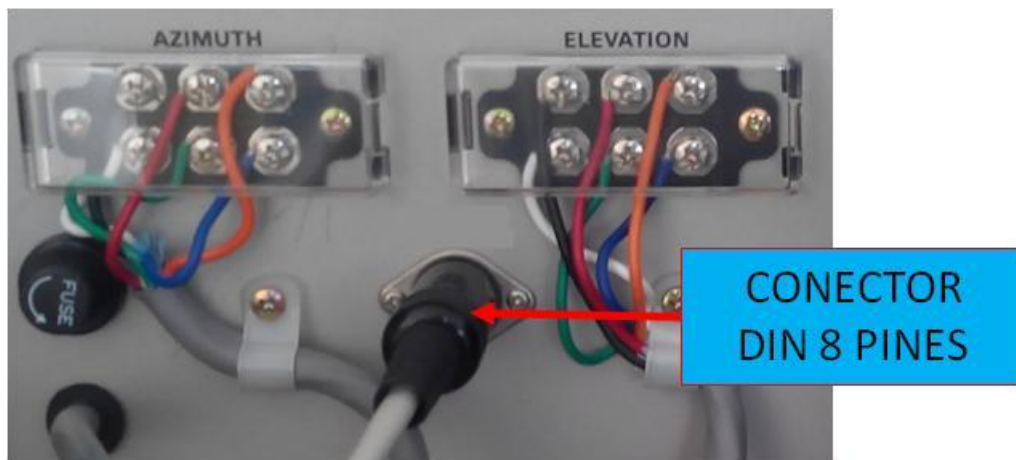


Figura 8.24. Conexionado YAESU G5600.

8.1.3.- BLOQUE 3.- ROTORES Y ANTENAS.

Las órdenes recibidas por el controlador seguidor de antenas a través del internet o por el controlador G5600 comandan al conjunto de antenas del demostrador de conceptos EAC-10 perteneciente al Grupo de Investigación TIC 191, de Señales, Sistemas y Comunicaciones Navales, del Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación, activando los dos rotores YAESU G550 y G650 que forman parte del demostrador, estos posicionan las antenas con los ángulos de azimut y elevación solicitados por el usuario.

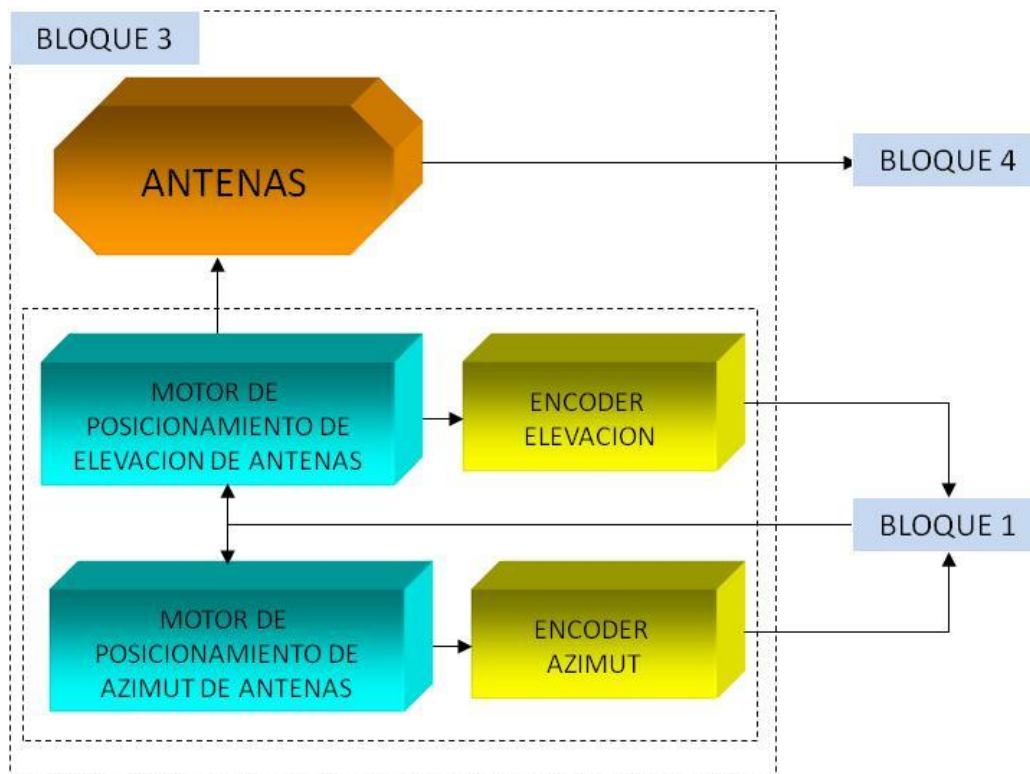


Figura 8.25. Diagrama de bloques de apartado de rotores y antenas.

El conjunto de antenas está situado en la cúpula del Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos (CASEM) del Campus de Puerto Real, con objeto de estar protegidas del viento.

El conjunto de antenas del demostrador de conceptos EAC-10 se puede dividir en dos partes:

- Rotores de azimut y elevación.
- Antenas.

Estos elementos están ubicados en la cúpula del Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos (figuras 8.26 y 8.27).

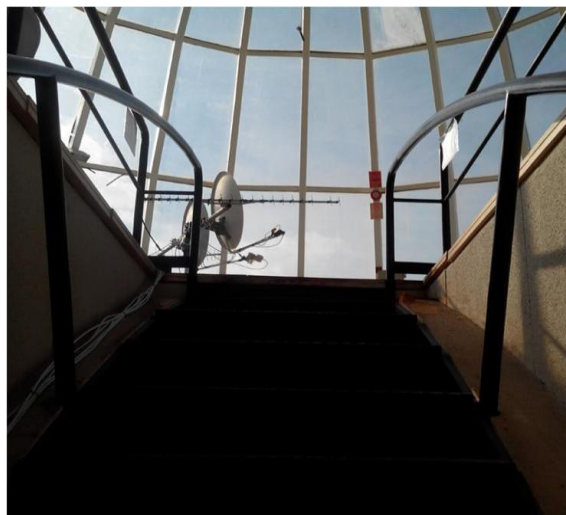


Figura 8.26. Acceso cúpula del CASEM.



Figura 8.27. Vista de cúpula del CASEM.

Como se ha indicado anteriormente el rotor de azimut (G650) está instalado sobre un mástil tubular, mientras el rotor de elevación (G550) están montado sobre el G650 (figura 8.28).

El Rotor G650 consta de un tubo pasante que da soporte a las seis antenas que hay montadas en la actualidad.

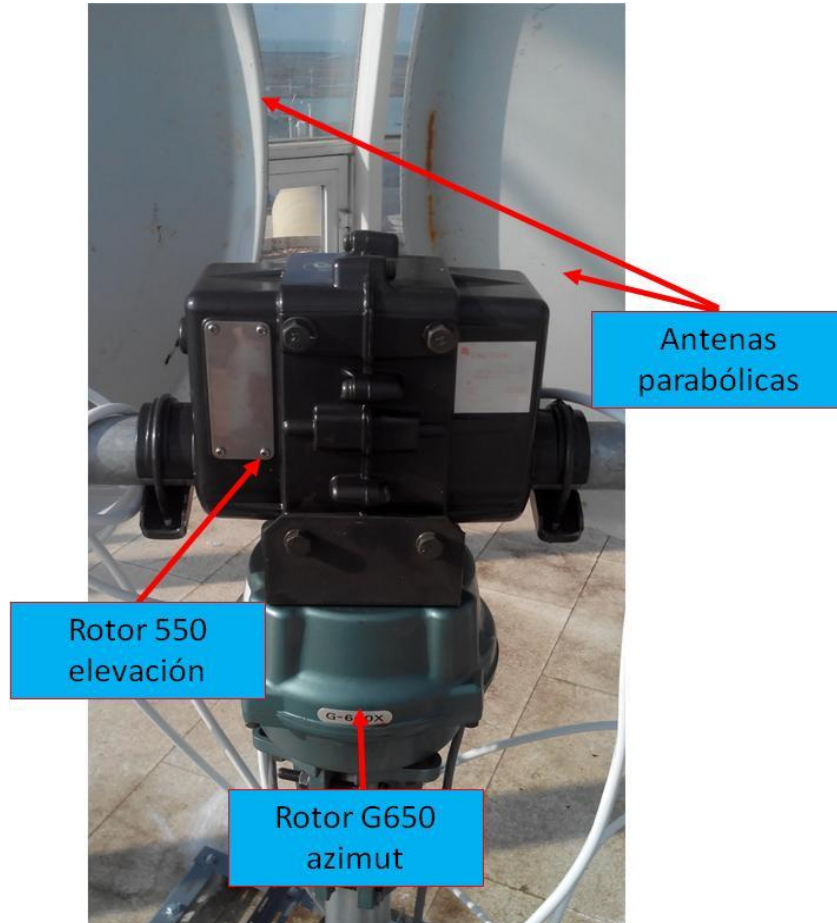


Figura 8.28. Diagrama de bloques de apartado de rotores y antenas.

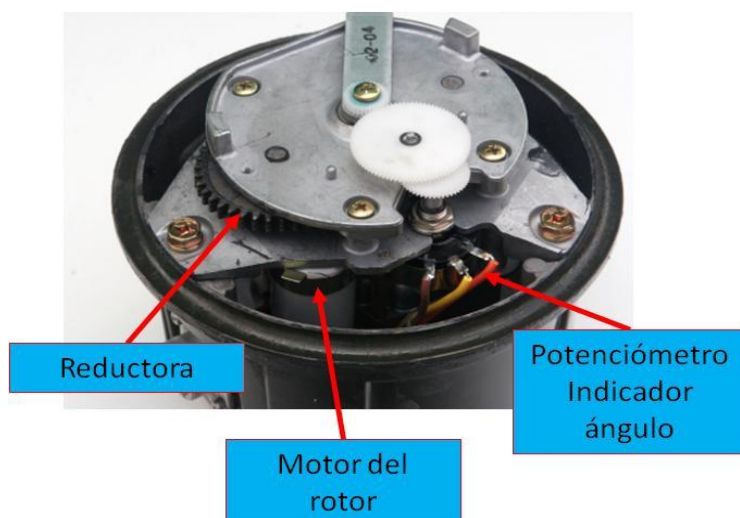


Figura 8.29. Interior rotor G650.

Actualmente el demostrador de conceptos de radiofrecuencia EAC-10 (figura 8.30), monta las siguientes antenas:

- Antena Yagi-Uda de 21 elementos para la frecuencia de 1420 MHz.
- Antena Logaritmo periódica de 15 elementos para las frecuencias de 200 a 800 MHz.
- Antena parabólica Offset con LNB de la Banda Ku (12 a 18 GHz) y dipolo cerrado de 1420 MHz en su foco.
- Antena parabólica Offset con LNB de la Banda C (3,7 y 4,2 GHz y desde 5,9 hasta 6,4 GHz) y dipolo cerrado de 406 MHz.

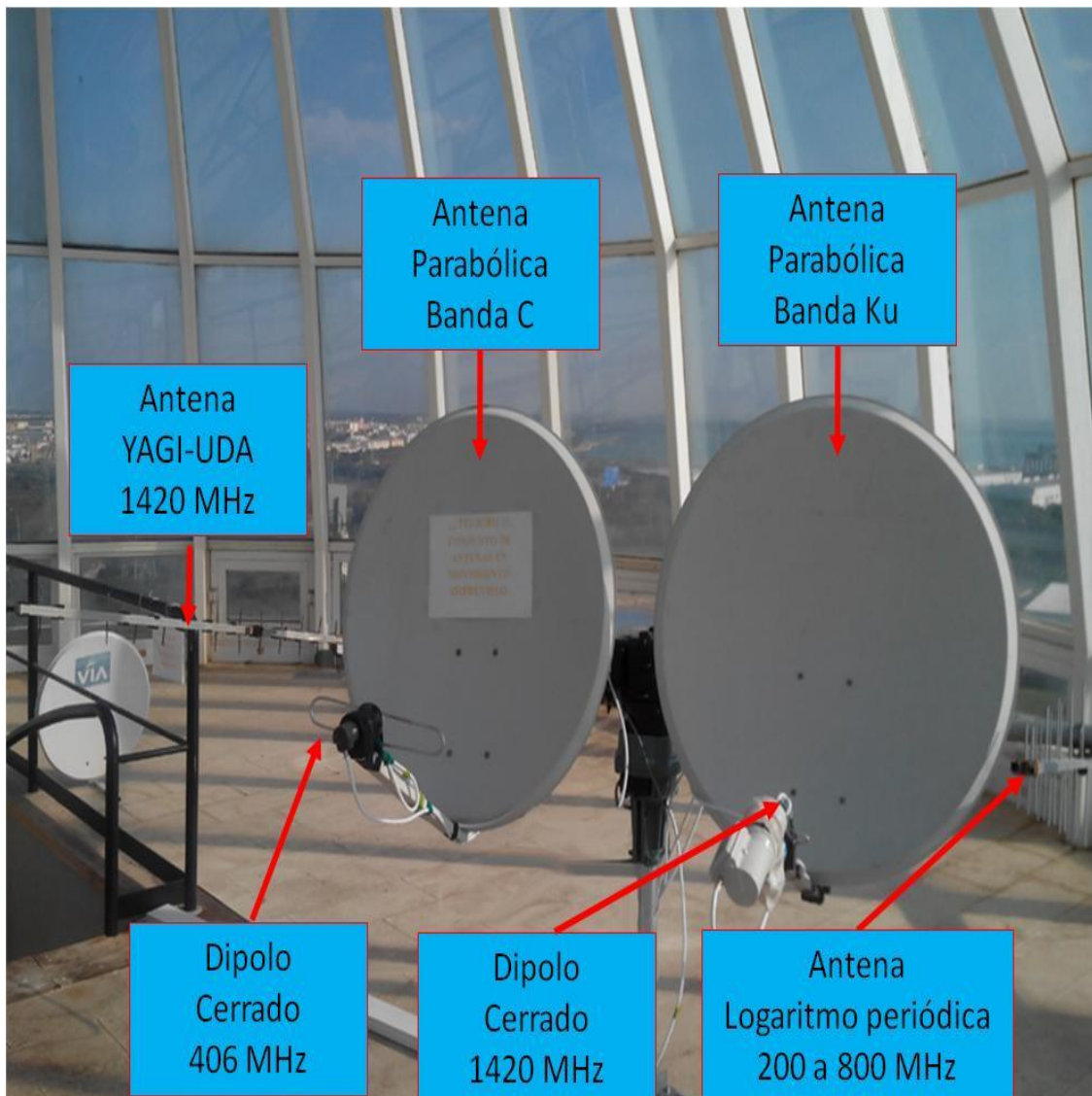


Figura 8.30. Antenas del demostrador de conceptos de radiofrecuencia EAC-10.

8.1.4.- BLOQUE 4.- EQUIPOS PARA TRATAMIENTO DE SEÑAL DE RADIO RECIBIDA MEDIANTE SDR.

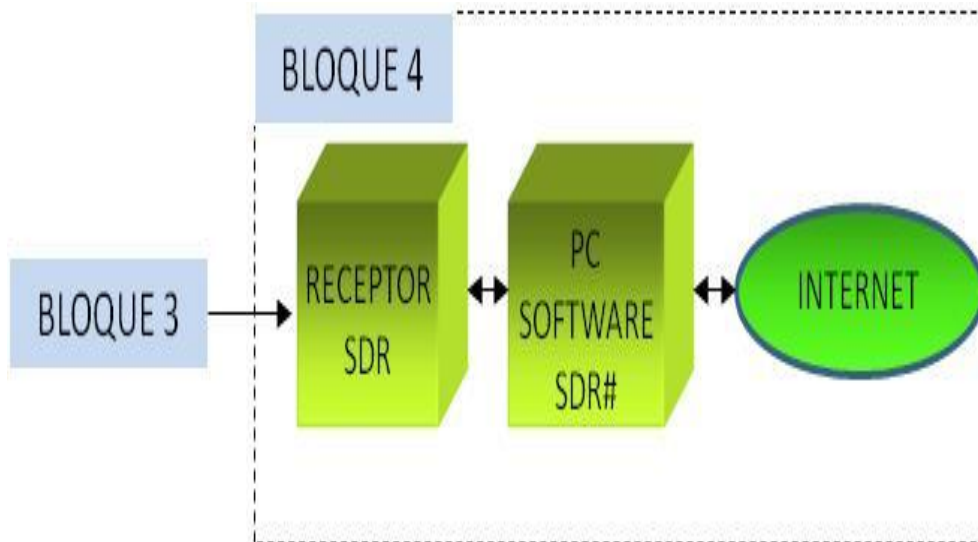


Figura 8.31. Diagrama de bloques componentes del receptor SDR.

Este cuarto bloque engloba el equipamiento necesario para la utilización de las técnicas SDR, constituyendo como principales elementos los receptor SDR y el software de recepción SRD# (SDRSharp).

Receptores SDR.-

Se han utilizado dos dispositivos SDR:

- RTL-SDR modelo BlazeVide HDTV.
- FUNCUBE PRO V1.1.

RTL SDR BlazeVide HDTV

Como se ha indicado anteriormente, uno de los objetivos de este proyecto es trabajar con un equipo hardware de bajo coste, por esto se utilizara un dispositivo que integre el chip RTL 2832U. El dispositivo RTL-SDR seleccionado es el modelo BlazeVide HDTV (figura 8.32), el cual es un receptor HDTV genérico económico, con un coste de solo 7 euros. El pack (figura 8.33) incluye:

- Dispositivo receptor para HDTV.
- Disco con software de drivers y programa de recepción DTV.
- Antena.
- Mando a distancia

De este pack solo se utilizara el receptor para HDTV para adecuarlo al sistema SDR.



Figura 8.32. Dispositivo BlazeVide HDTV.



Figura 8.33. Pack receptor HDTV USB.

Se ha seleccionado este dispositivo por disponer en su diseño de:

- Chip demodulador RTL2832U (figura 8.36).
- Chip sintonizador R820T (figura 8.36).

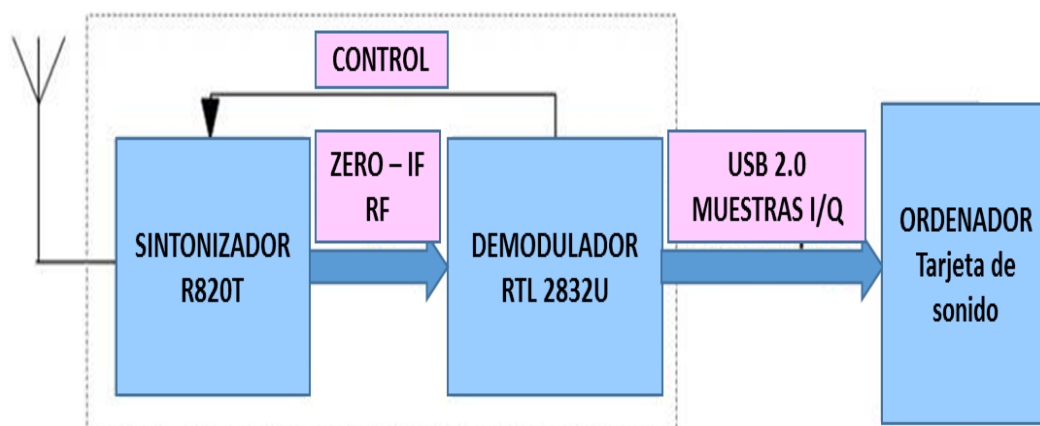


Figura 8.34.- Diagrama de bloques receptor SDR de bajo coste.

Al montar el BlazeVide HDTV el componente de sintonización Rafael Micro R820T (sintonizador más utilizado actualmente), nos permite trabajar con las frecuencias de recepción comprendidas entre 24MHz a 1,766 GHz. Con la capacidad de

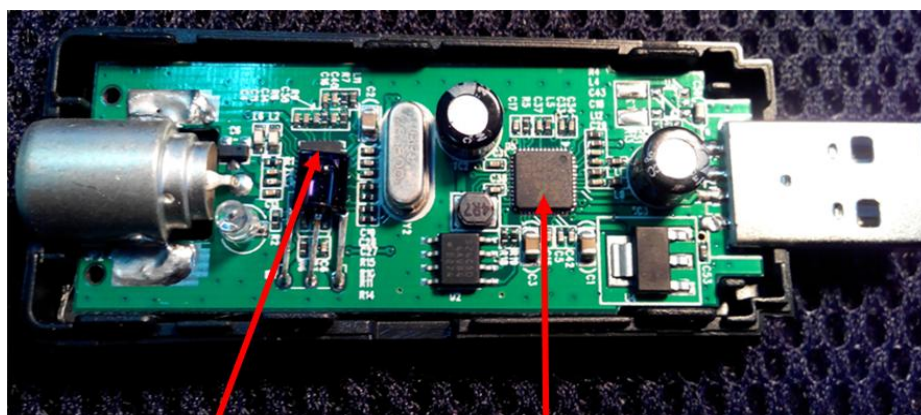
recibir dentro del intervalo comprendido de 24MHz a 1,766 GHz en un ancho de banda de 2,5 MHz.

La demodulación a banda base se lleva a cabo por el RTL2832U. Incorpora un ADC (Analog-to-Digital Converter) avanzado. Este chip cuenta con algoritmos patentados por Realtek. La demodulación desde banda base a señal de voz de datos se lleva a cabo utilizando la tarjeta de sonido del PC mediante software instalado en el ordenador. Las funciones principales del RTL2832U son:

- Actuar como demodulador de la señal recibida.
- Muestreador de la señal demodulada.
- Establecer la conexión entre el PC y el dispositivo receptor mediante una interfaz USB para conexión al ordenador.



- Figura 8.35. Interior BlazeVide HDTV.



Sintonizador
R820T
(bajo fototransistor)

Demodulador
RTL2832U

- Figura 8.36. Disposición de componentes de RTL y Tuner.

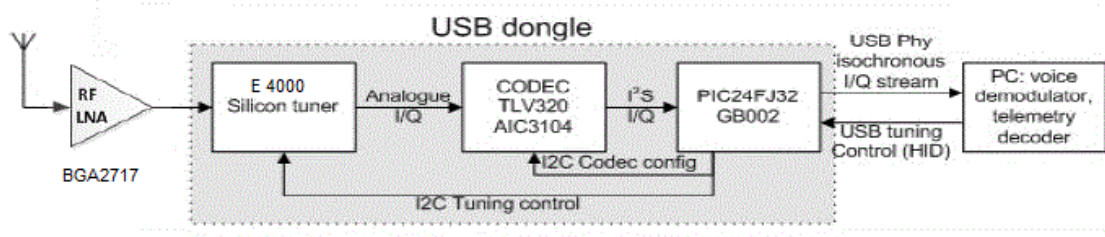
FUNCUBE PRO V1.1.

Para llevar a cabo una valoración del dispositivo de bajo coste BlazeVide HDTV, se ha comparado con el FUNCUBE PRO (figura 8.37), este es un receptor de coste intermedio (210 euros).



Figura 8.37.- FUN Cube Pro

Como se ha comentado anteriormente, FUN CUBE PRO cubre la gama de frecuencias comprendidas entre 64 y 1700 MHz. Para ello monta un Silicon Tuner E4000 como sintonizador. Además contiene el convertor A/D con un sampling rate de 96KHz (Audio Codec TLV320AIC3104), por lo que no necesita ninguna tarjeta de sonido.



*Figura 8.38.- Diagrama de bloques FUN Cube Pro
Fuente: PY4ZBZ.*

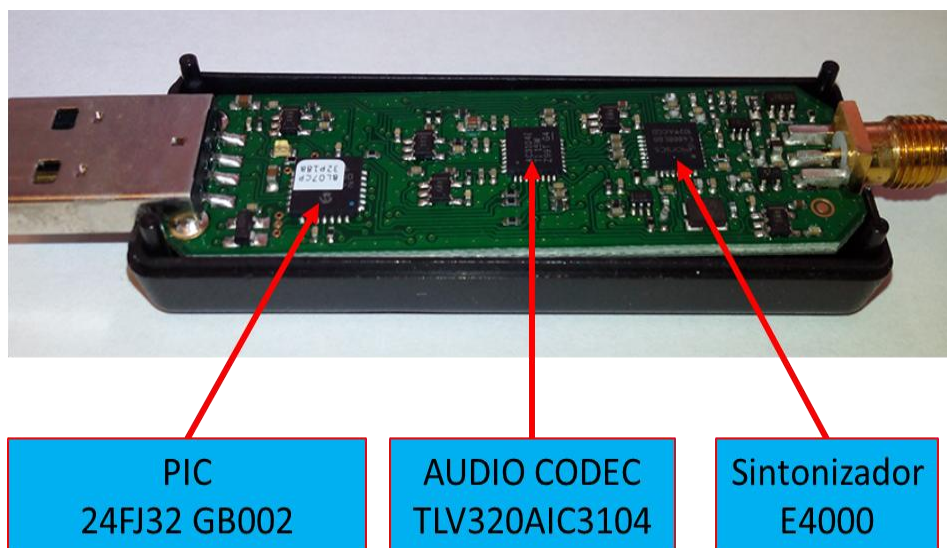
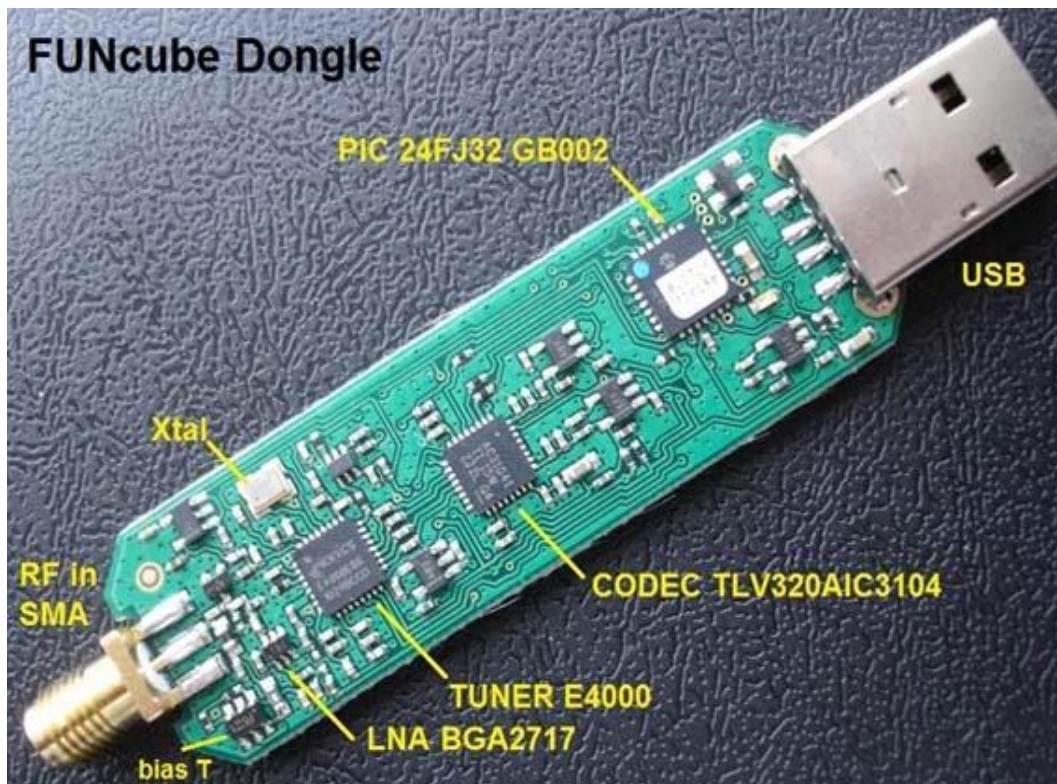


Figura 8.39.- Disposición de componentes principales.

Aunque según fabricante su banda de recepción va de 64-1700 MHz, entre 1100 y 1270 MHz no funciona correctamente. Al utilizar una frecuencia de muestreo de 96 kHz, esto le permite ver una banda de un ancho 96 kHz. Utiliza un microcontrolador PIC 24FJ32GB002 de 16 bit que corre el bootloader y el firmware con la aplicación que se comunica con el PC a través del puerto USB, tanto para el control del dispositivo como el bitstream de audio y controla las funciones del E4000 y el codec de audio a través del bus I2C.



*Figura 8.40.- FUN Cube Pro
Fuente: tetra.osmocom.org.*

DIFERENCIAS PRINCIPALES ENTRE RTL 2832U Y FUNCUBE PRO.

Ancho de banda de recepción:

RTL 2832U: 24MHz a 1,766 GHz.

FUNCUBE PRO: 64-1700 MHz, entre 1100 y 1270 MHz no funciona correctamente.

Ancho de banda de recepción simultaneo:

RTL 2832U: 2,5 MHz.

FUNCUBE PRO: 96 KHz.

Existen una gran cantidad de programas para trabajar mediante SDR, entre otros ese encuentra Spectravue, Spectrumlab o Digipan, aunque para este trabajo se ha utilizado la utilidad el SDR#.

Como se ha indicado en capítulos anteriores SDR# es una utilidad gratuita que permite interactuar con el RTL-SDR.

Antes de poder operar con SDR# se debe instalar la utilidad ZADIG (Zadig, 2015), esta se encarga instalar los driver necesarios para poder acceder a un gran número de dispositivos por el puerto USB.

Para ello en la instalación solo hay que seleccionar el dispositivo USB con ID: 0BDA-2838-00 (figura 8.41).

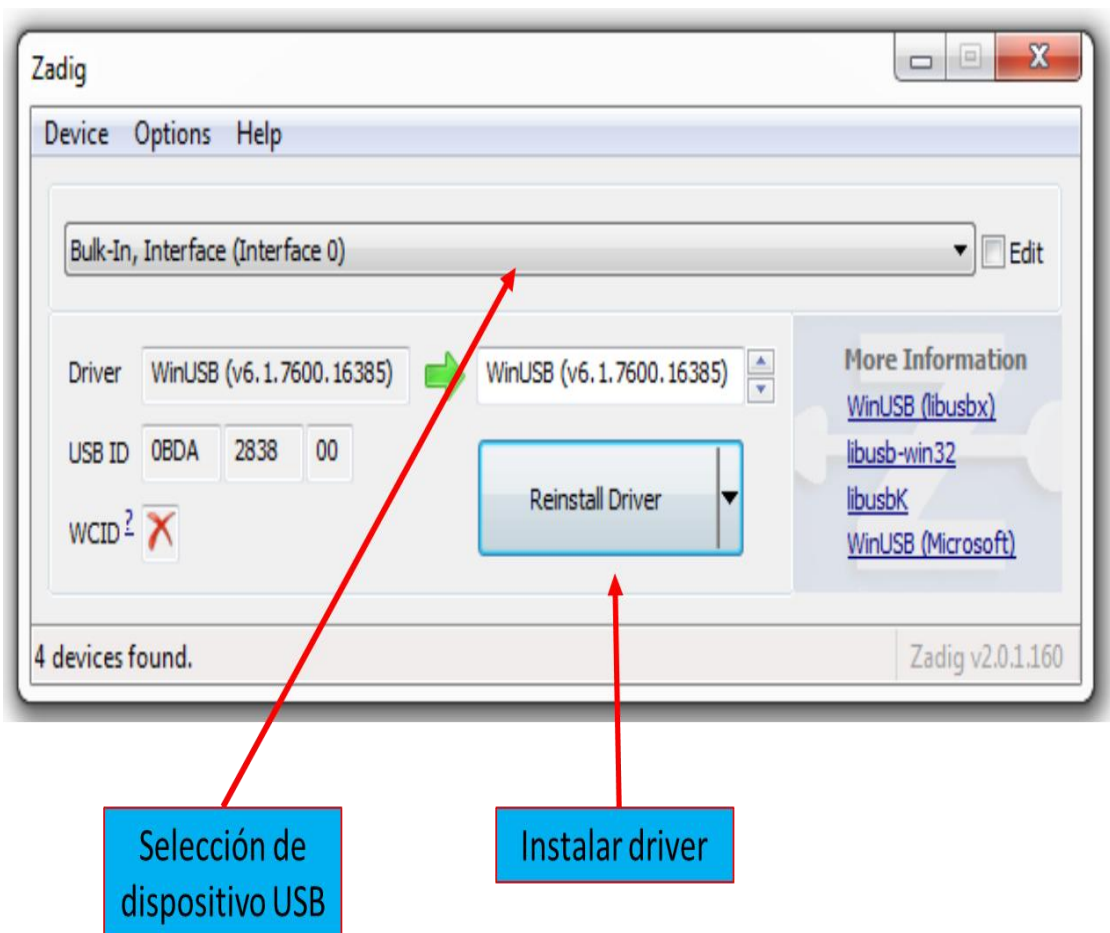
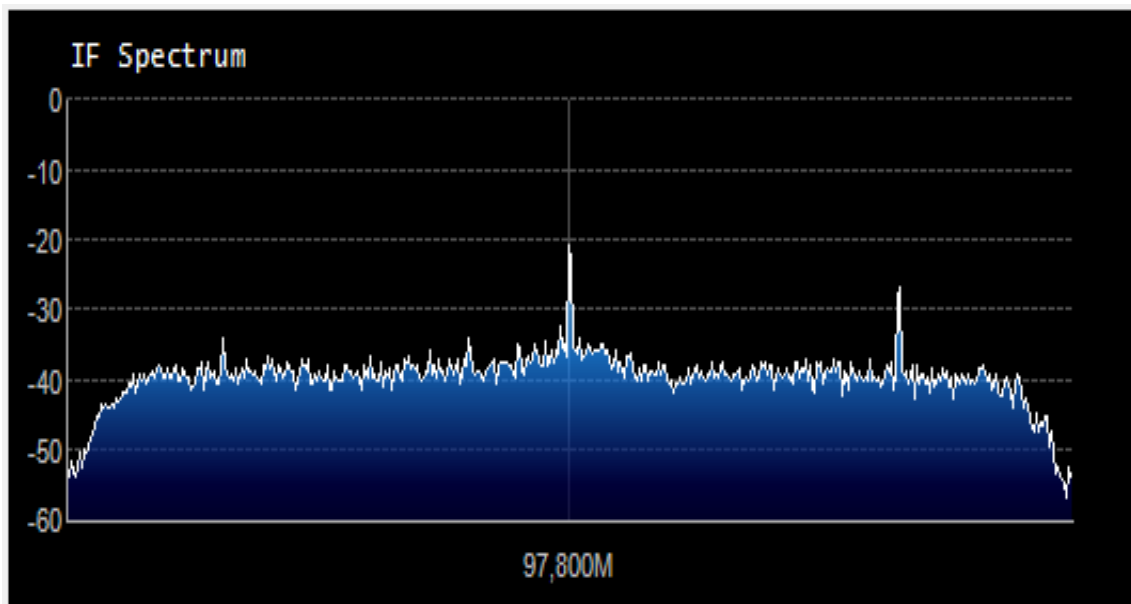
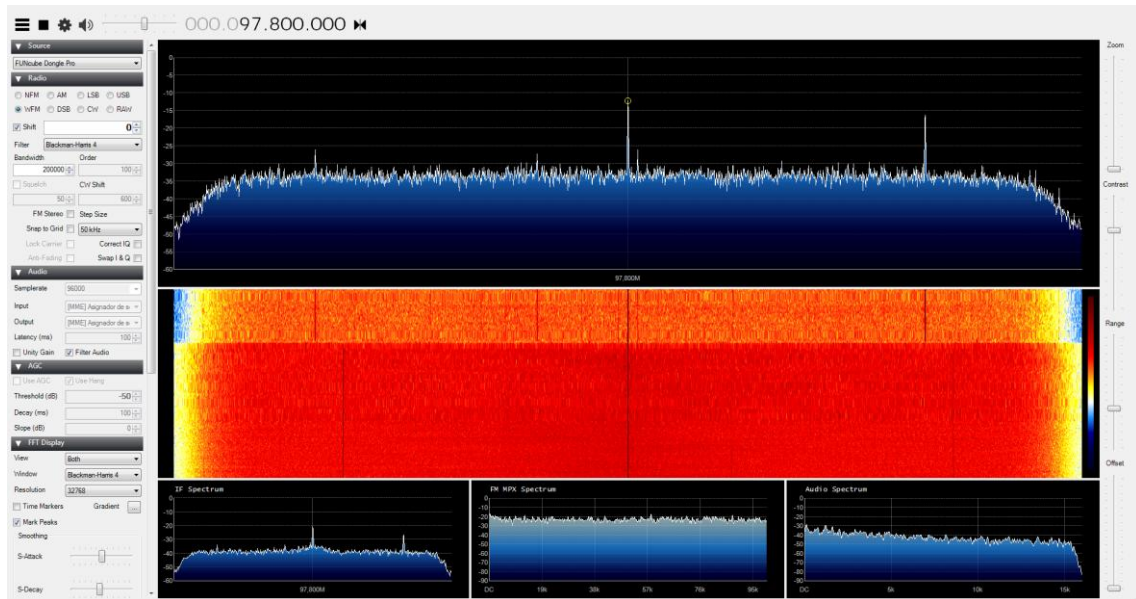


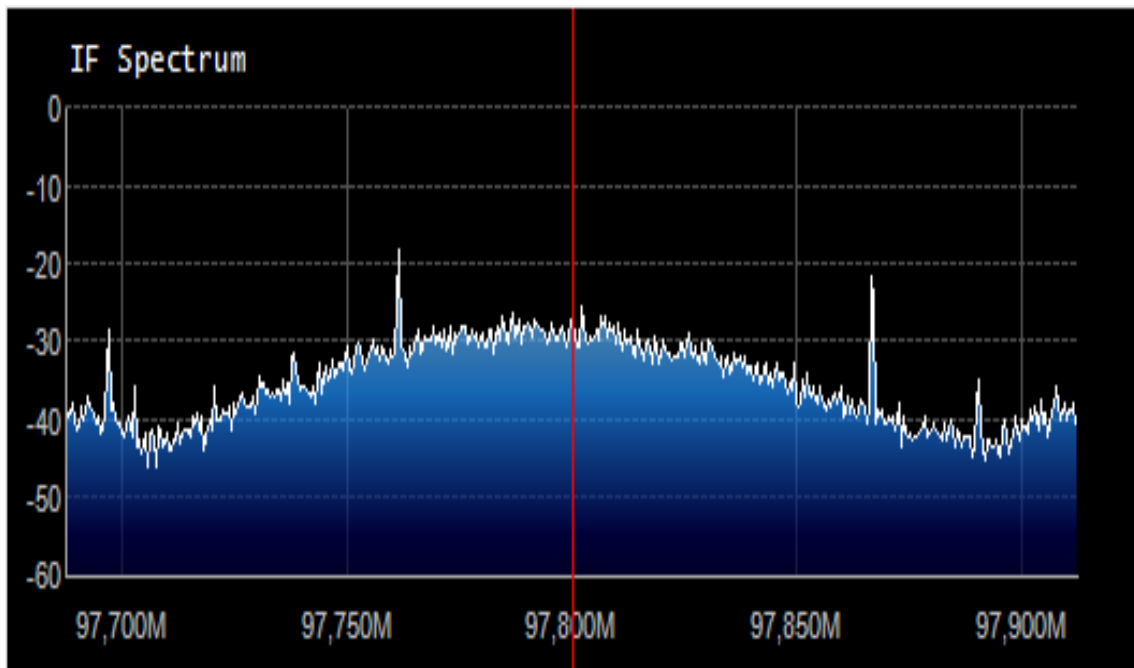
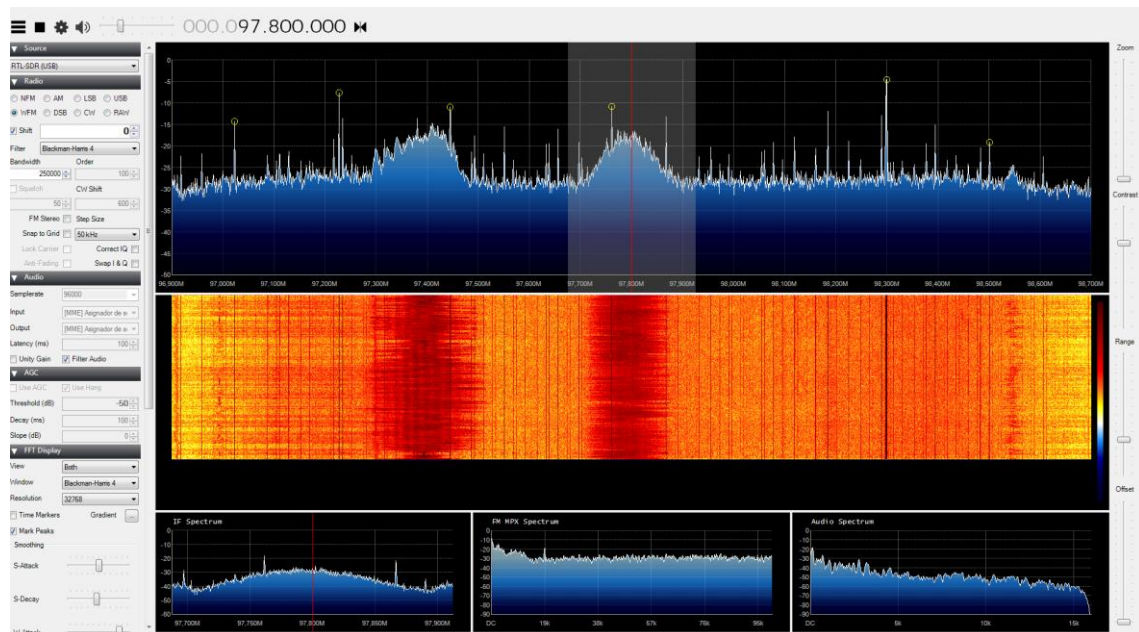
Figura 8.41.- Instalación driver con ZADIG.

Una vez instalado los driver y el SDRSHARP, se tomaron varias capturas de las mismas para observar el comportamiento de los dos dispositivos, comprobando como el RTL nos permite escanear un ancho de banda 25 veces mayor al FUNCUBE PRO, pero también se observa como para la frecuencia central la ganancia del FUNCUBE es sensiblemente mayor.

RECEPTOR FUNCUBE PRO.- RECEPCION EMISORA DE RADIO BANDA FM.

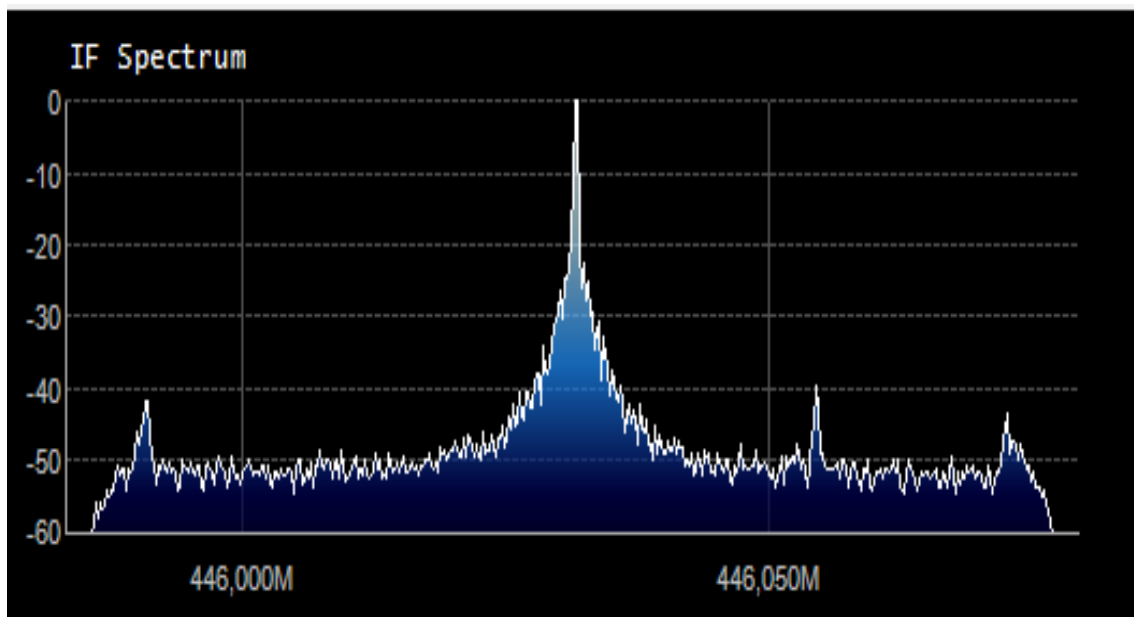
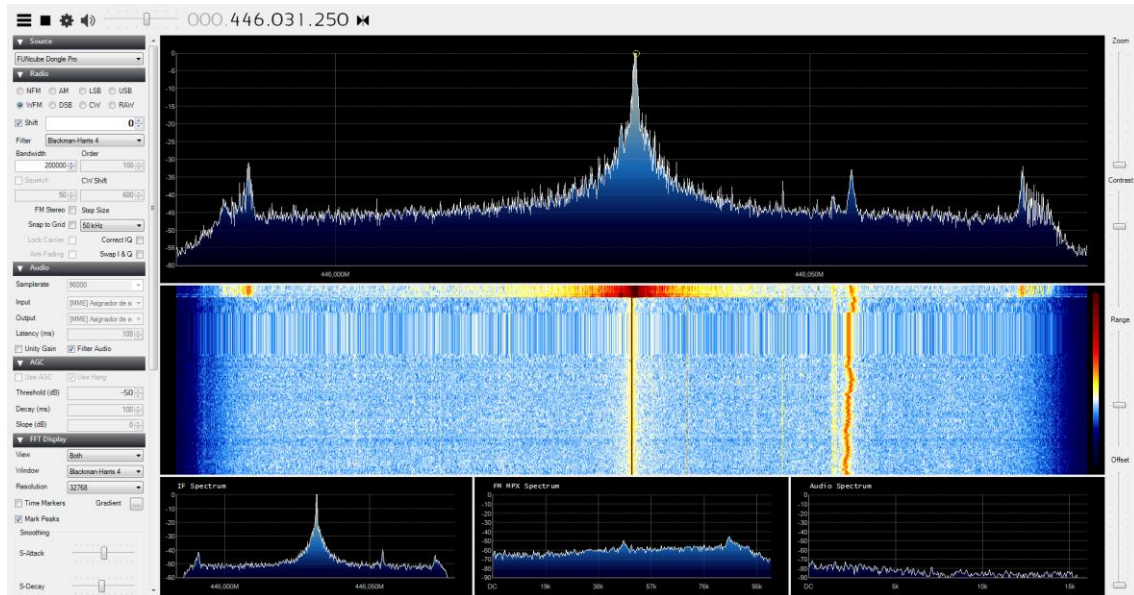


RECEPTOR RTL 2832U.- RECEPCION EMISORA DE RADIO BANDA FM.



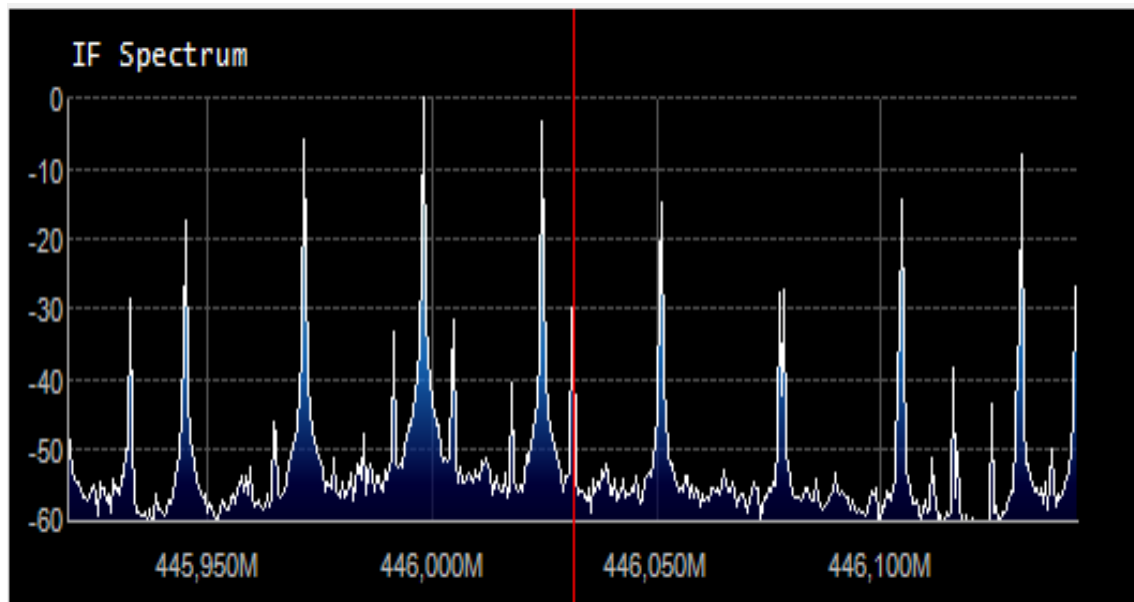
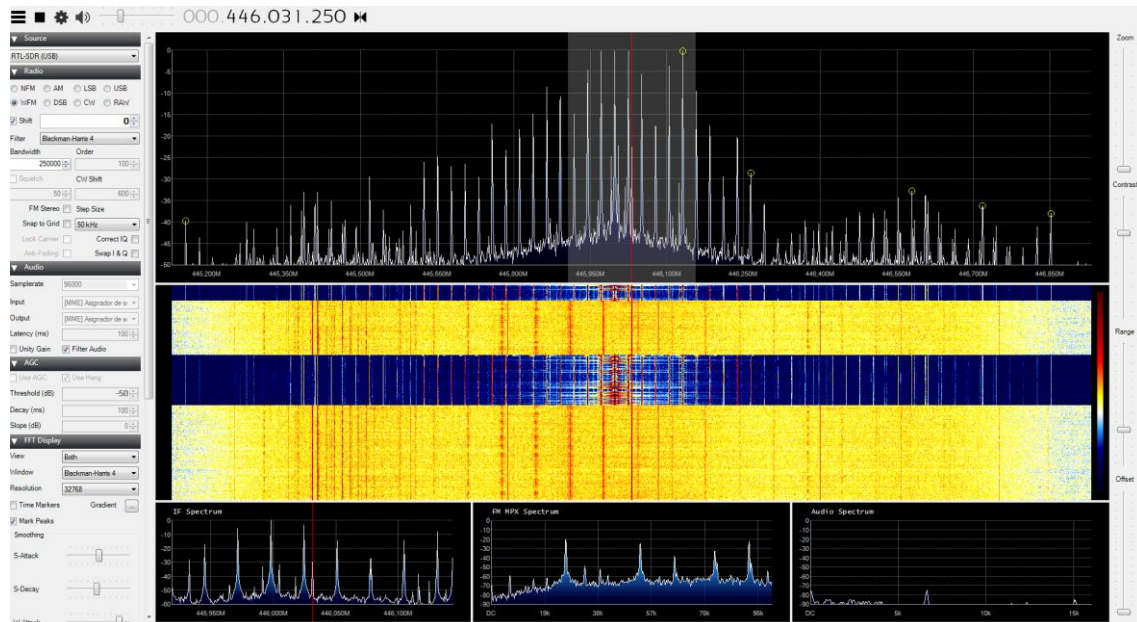
RECEPTOR FUNCUBE PRO.- RECEPCION FRECUENCIA 443,03125 MHZ.

Esta frecuencia corresponde al canal 3 de las frecuencias libres utilizadas para PMR (*Personal Mobile Radio*) en la banda de UHF.



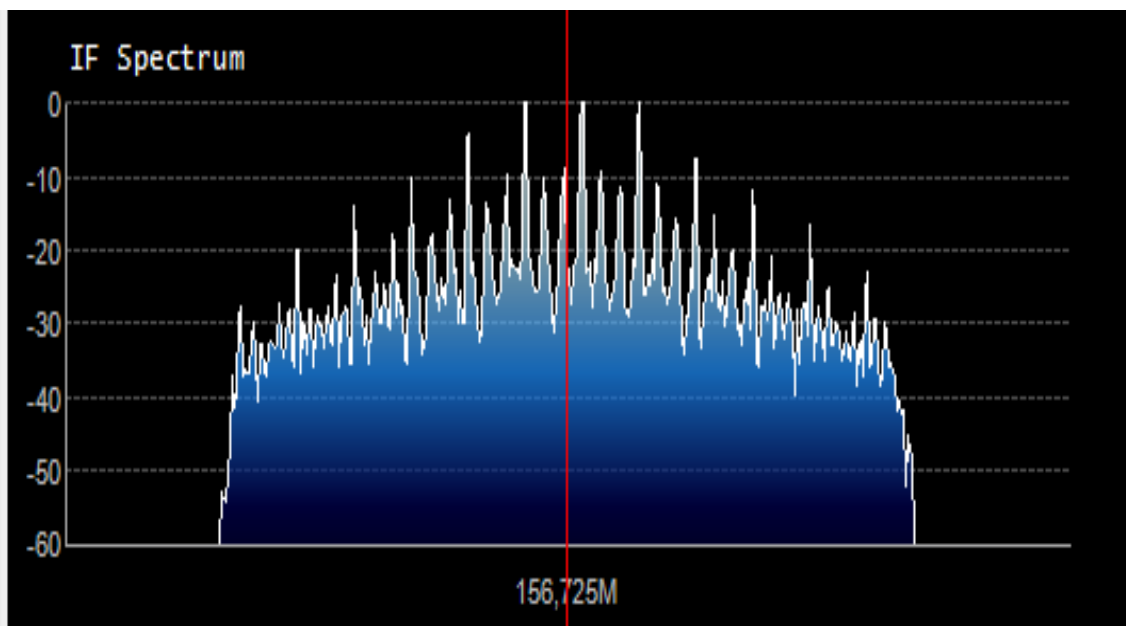
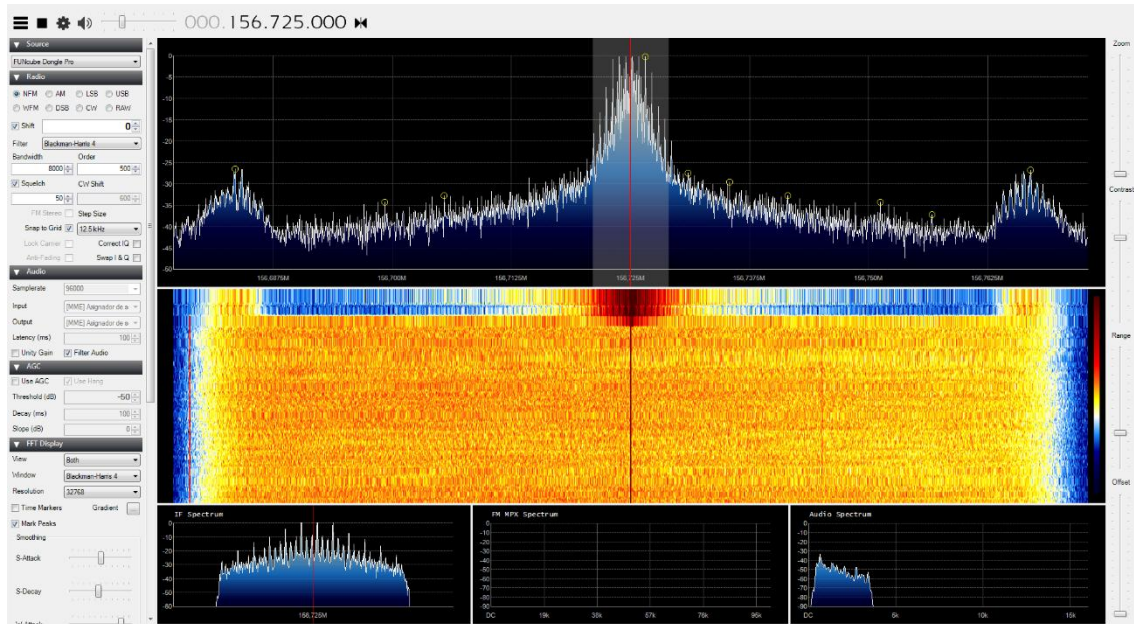
RECEPTOR RTL 2832U.- RECEPCION FRECUENCIA 443,03125 MHZ.

Esta frecuencia corresponde al canal 3 de las frecuencias libres utilizadas para PMR (*Personal Mobile Radio*) en la banda de UHF.



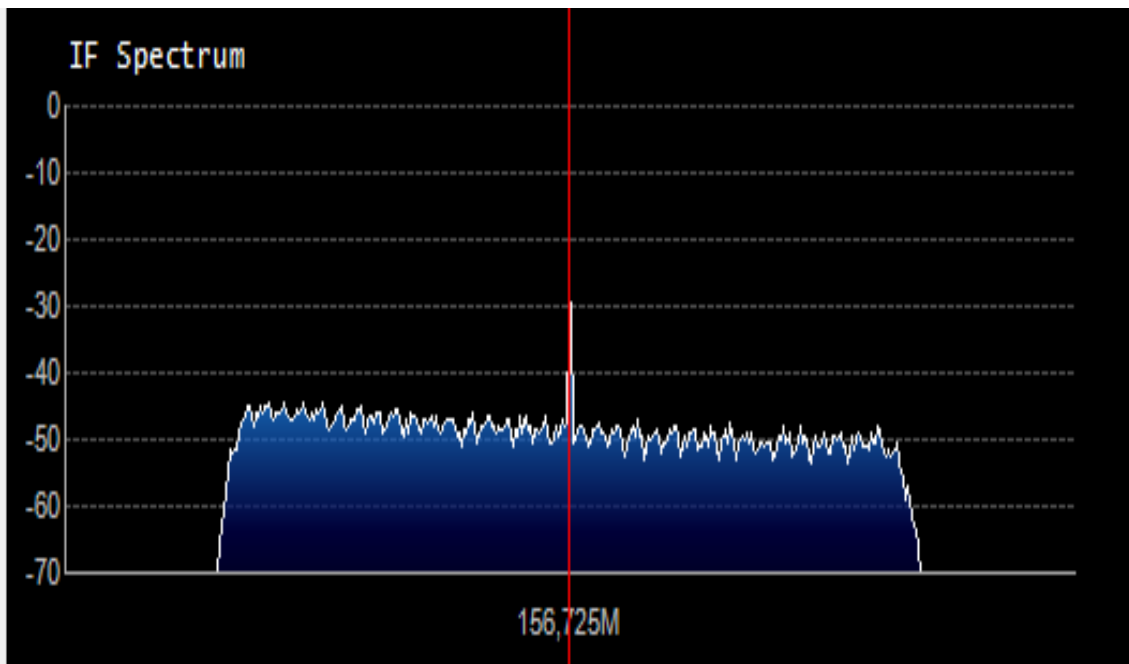
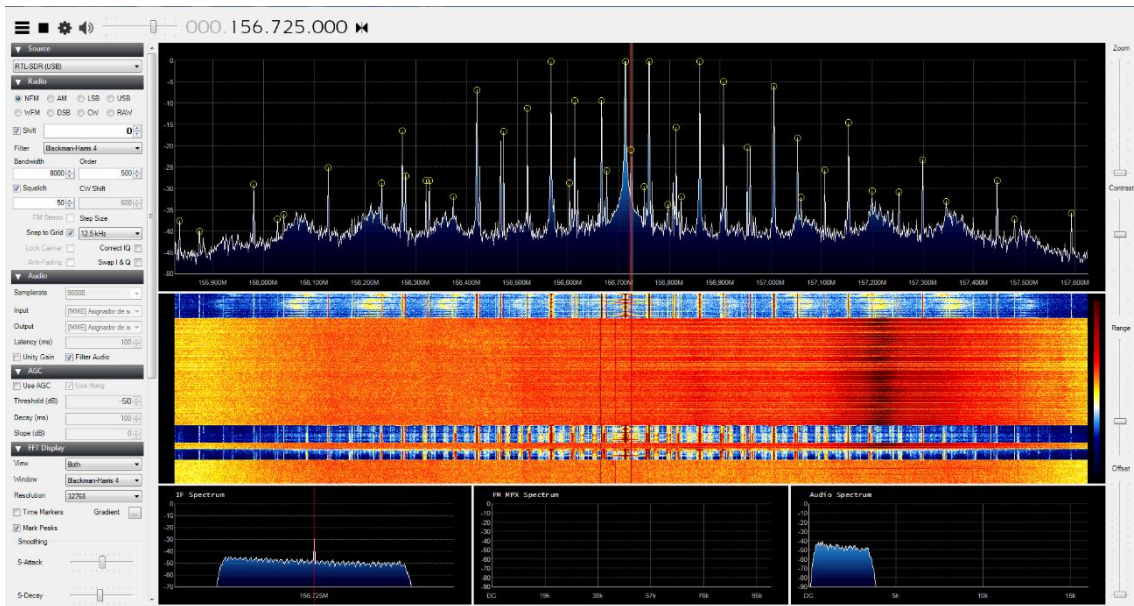
RECEPTOR RTL 2832U.- RECEPCION FRECUENCIA 156.725 MHZ.

Esta frecuencia corresponde al canal 74 de la banda marina de VHF.



RECEPTOR FUNCUBE PRO.- RECEPCION FRECUENCIA 156,725 MHZ.

Esta frecuencia corresponde al canal 74 de la banda marina de VHF.



8.2. OBSTACULOS SUPERADOS.

A lo largo del desarrollo de este trabajo se han tenido que superar varios obstáculos no previstos:

- Reparación de ordenador principal del sistema.
- Reparación de controlador YAESU.
- Acometida de cable UTP para dar servicio de internet en la ubicación del controlador seguidor de antenas.

8.2.1. REPARACION ORDENADOR.

El ordenador utilizado (figura 8.42) para soportar la instalación los distintos programas de ordenador, como son Orbitron, Interface Orbitron y SDR#, los cuales son necesarios para este proyecto, es uno de los PC utilizado para el demostrador de conceptos de radiofrecuencia EAC-10.

Este equipo después de haber estado trabajando correctamente, comenzó a fallar, su fallo dependía del tiempo de encendido y de la hora del día. El fallo se mostraba sobretodo en el arranque con una sucesión de pitidos cortos continuos.

Para el diagnóstico de la avería se tuvo en cuenta el hecho de que la avería dependía de la hora del día, la causa real era el incremento de la temperatura ambiente al mediodía en la ubicación donde están los equipos.

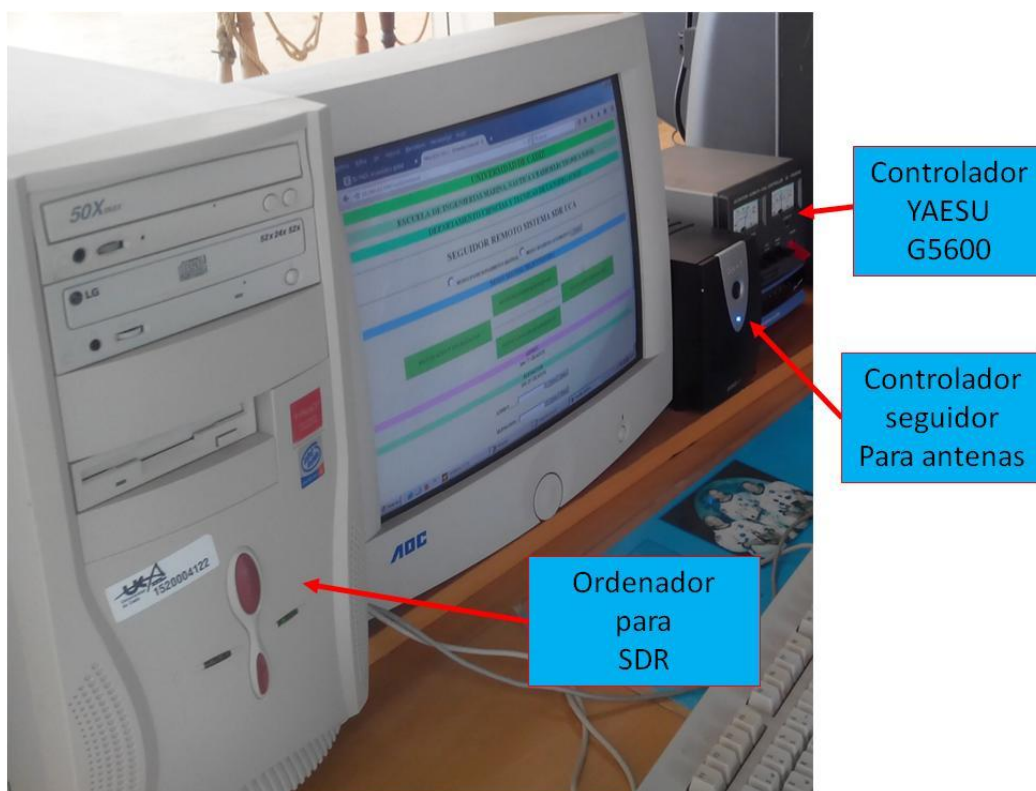


Figura 8.42. Equipos para recepción de SDR.

Sabiendo que el fallo dependía de la temperatura ambiente, o del tiempo de encendido del PC, se priorizaron las actuaciones por:

- Medición de tensiones de la fuente de alimentación.
- Comprobación de los componentes de la placa base GIGABYTE 8IEML-T cercanos a la CPU, ya que esta es la zona de la placa que alcanzan mayor temperatura. Encontrándose dos condensadores 3300 micro faradios y 6,3 voltios defectuosos, concretamente C119 y C124 (Figuras 8.43y 8.44).

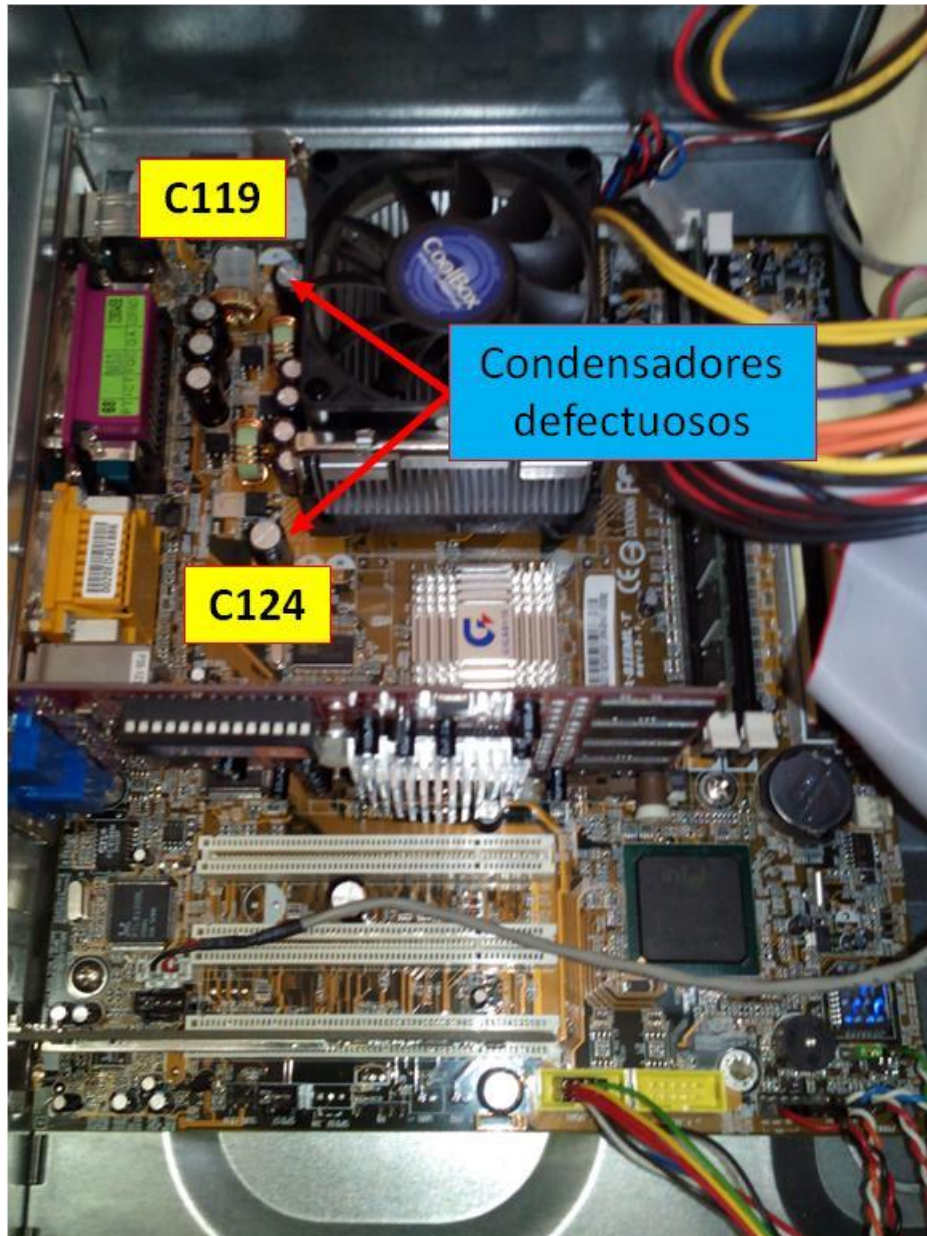


Figura 8.43. Localización defectuosos.



Figura 8.44. Localización condensadores C119 y C124.

8.2.2. REPARACION DE CONTROLADOR YAESU G5600.

Para poder utilizar este equipo se tuvo que reparar debido a que no realizaba el movimiento del rotor de azimut hacia la derecha.



Figura 8.45. Interior G5600.

Para reparar la avería, se comprobó el cableado desde el rotor hasta el controlador G5600, al comprobar su correcto montaje se diagnosticó la causa mediante estudio de su esquema eléctrico y el seguimiento de tensiones del circuito asociado a azimut-derecha, esta se debía a soldadura fría entre una de las patillas de la resistencia R30 del controlador con la el pad de soldadura de la placa, esto provocaba que el colector de Q7 quedara sin tensión de polarización (figuras 8.46 y 8.47).

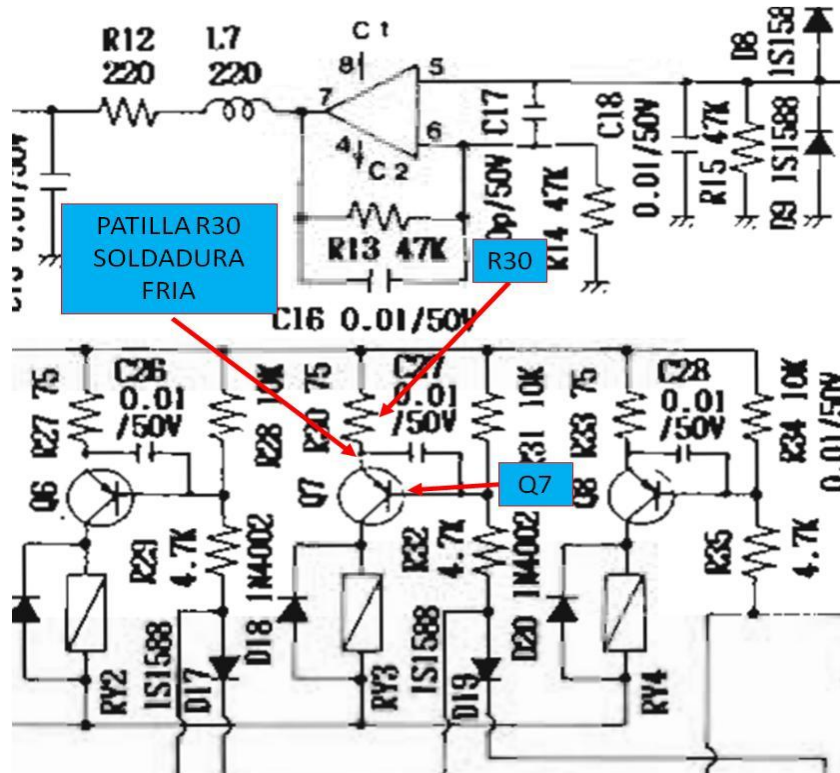


Figura 8.46. Fallo en rotor-derecha, esquemático G5600.

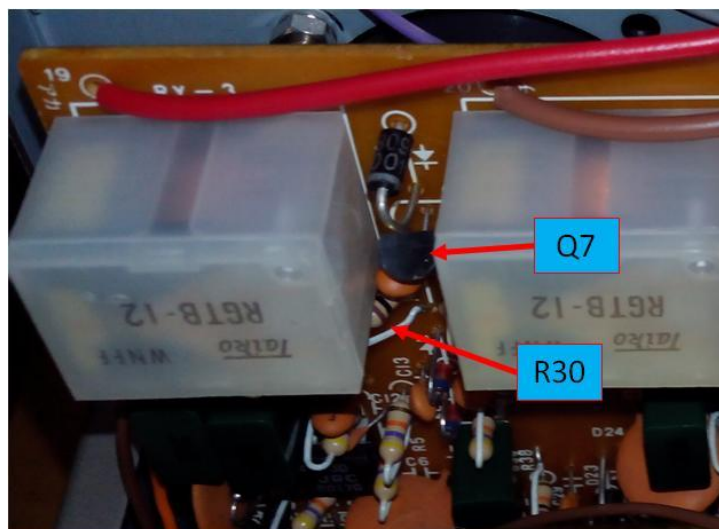


Figura 8.47. Fallo en rotor-derecha, placa componentes G5600.

8.2.3. ACOMETIDA DE CABLE UTP PARA ETHERNET.

La necesidad de tener acceso a la red internet oblige a montar una tarjeta WIFI en el PC utilizado en el proyecto, concretamente una GIGABYTE 802.11 b/j (figura 8.48).

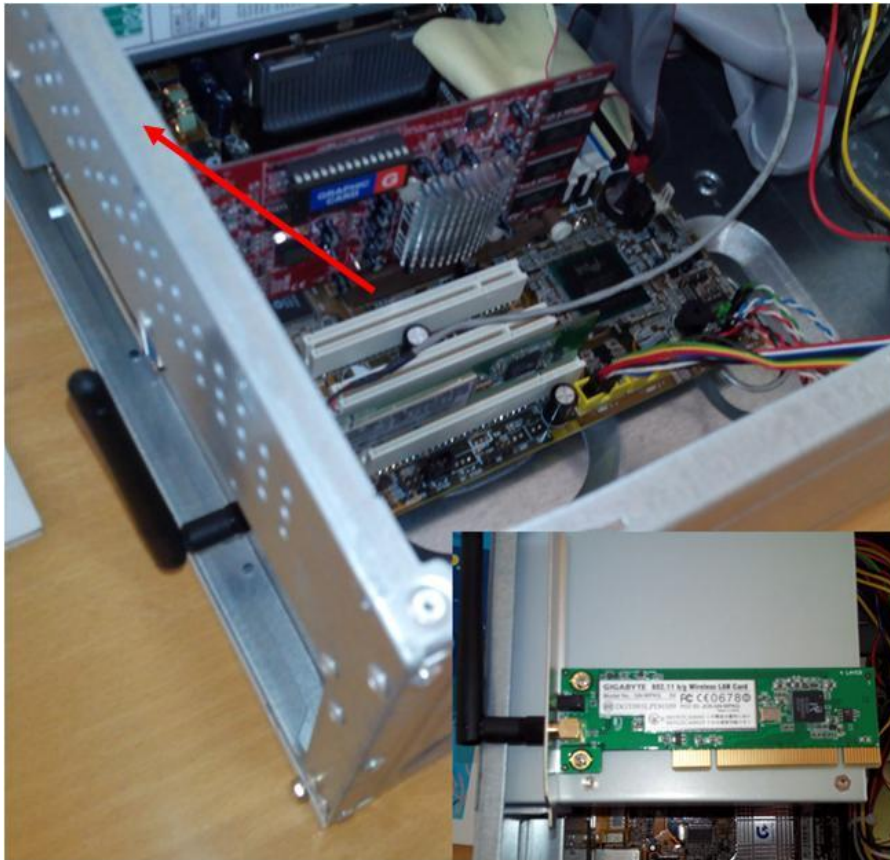


Figura 8.48. Instalación tarjeta GIGABYTE 802.11 b/j.

Una vez instalada la tarjeta y sus driver se comprueba como la señal WIFI apenas llega a la planta donde están ubicados todos los equipos de este proyecto, por lo que se decidió tirar una acometida de cable UTP CAT6 desde un punto de red de Ethernet de la planta inferior.

Después de estudiar todas las alternativas, se decide desestimar la opción de pasar el cable entre plantas por los huecos habilitados para ello, ya que esto implicaría meter una acometida superior a los 40 metros aprox. de cable, 17 metros por el falso techo, 3 por corrugado de pared y 20 metros por canaleta de cable, opción que implica atenuación de la señal y posibles problemas en la recepción de esta.

La opción elegida consistió en conectar el cable de red en una roseta (R1-P9-15) de la planta inferior (figura 8.49), y pasar un nuevo cable desde esta hasta una nueva roseta en la planta superior (figura 8.50). Para ello se procedió a taladrar un orificio de 12 mm de diámetro y 54 cm de longitud en el piso de hormigón armado.

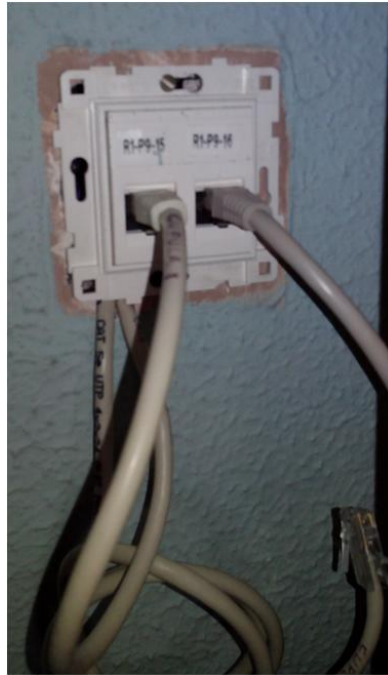


Figura 8.49. Roseta planta inferior toma R1-P9-15.



Figura 8.50. Roseta planta superior.

Con esta opción el cable de acometida de red Ethernet queda con una longitud de 5,5 metros aproximadamente, de los cuales 3 metros se han pasado por el tubo corrugado existente en la pared de la planta baja, 1 metro por el falso techo, 0,54 metros por la entreplanta de hormigón y 1 metro por canaleta, finalizando con la instalación de una nueva roseta para conector RJ45 en la planta superior (figura 8.51).

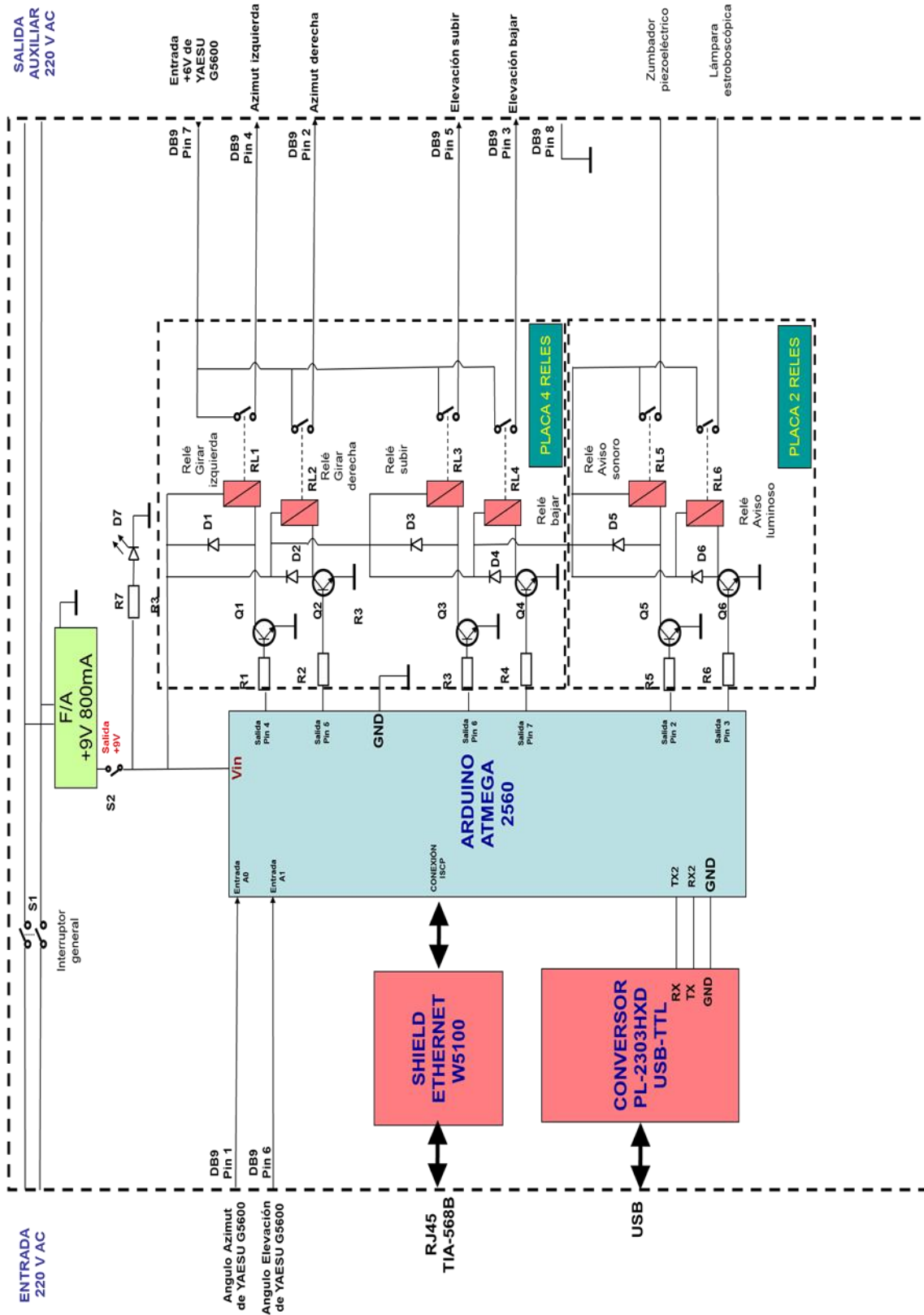


Figura 8.51. Acometida cable UTP planta superior (tapa de canaleta retirada para la imagen).

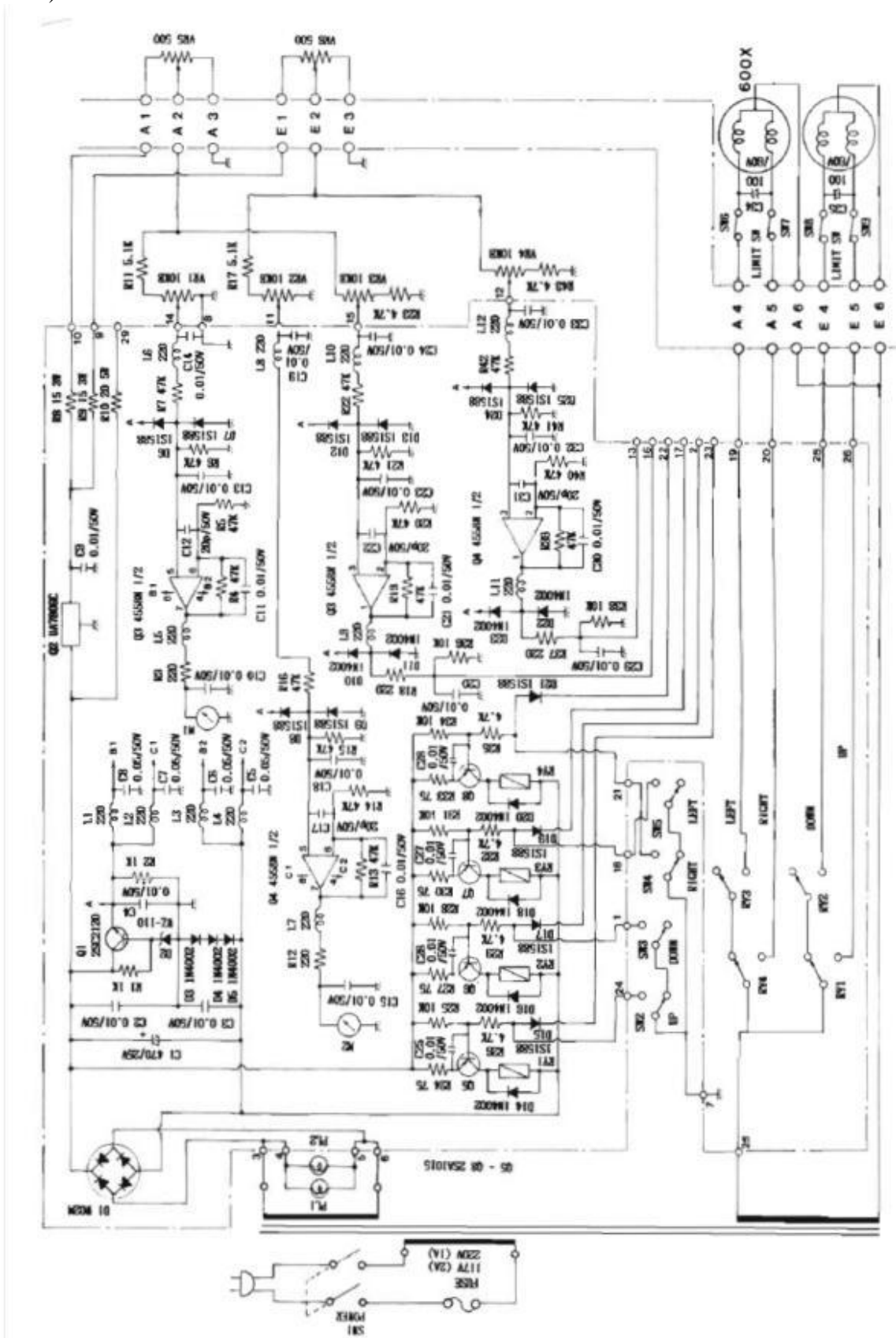
Gracias a la realización de esta acometida de cable UTP, se ha conseguido dotar de servicio de red Internet a la planta superior del núcleo del CASEM. Servicio que pueden utilizar estudiantes e investigadores para sus proyectos.

8.3. ESQUEMAS.

Esquema eléctrico del controlador seguidor de antenas (fuente propia):



Esquema eléctrico del controlador YAESU 5600 (Yaesu, Instruction manual G5600, 2015):



8.4. SOFTWARE.

El software creado para el controlador seguidor de antenas de este proyecto, consta de 520 líneas de código aproximadamente y está escrito en dos lenguajes de programación diferentes:

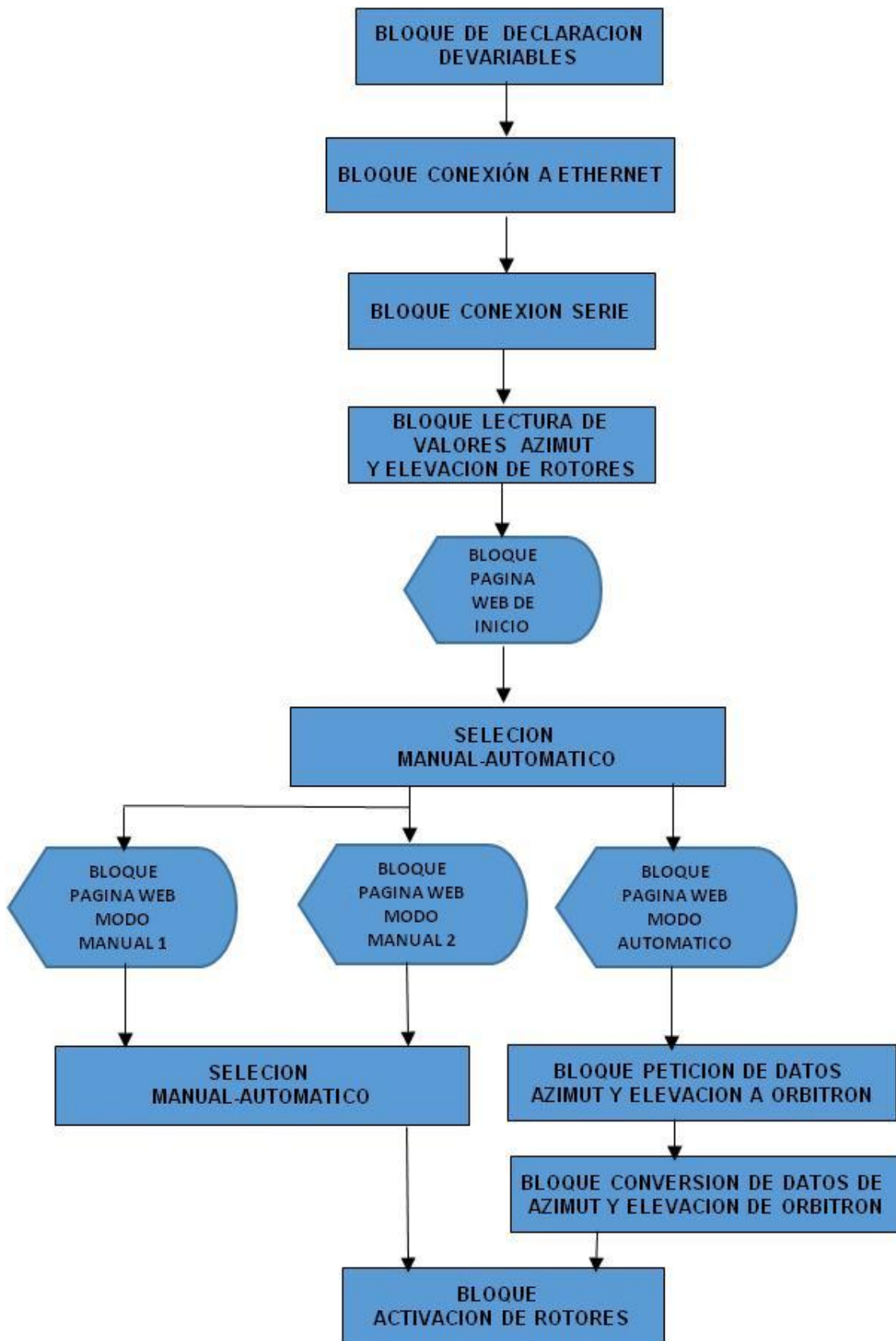
- Código en lenguaje de Arduino para control de variables y opciones, al que se añadió cuatro funciones para mejorar la respuesta del equipo. Constituye la estructura y el núcleo del programa.
- Código en HTML para el servidor. Con este se han llevado a cabo las distintas páginas que forman la web. Incluye los distintos formularios para obtener las órdenes del usuario y los visualizadores para conocer los ángulos de elevación y azimut proporcionados por los dos rotores de antenas y por el programa Orbitron, a través del Interface Orbitron cuando esta seleccionada la opción de modo seguimiento o automático.

El código HTML se subdivide en 2 partes:

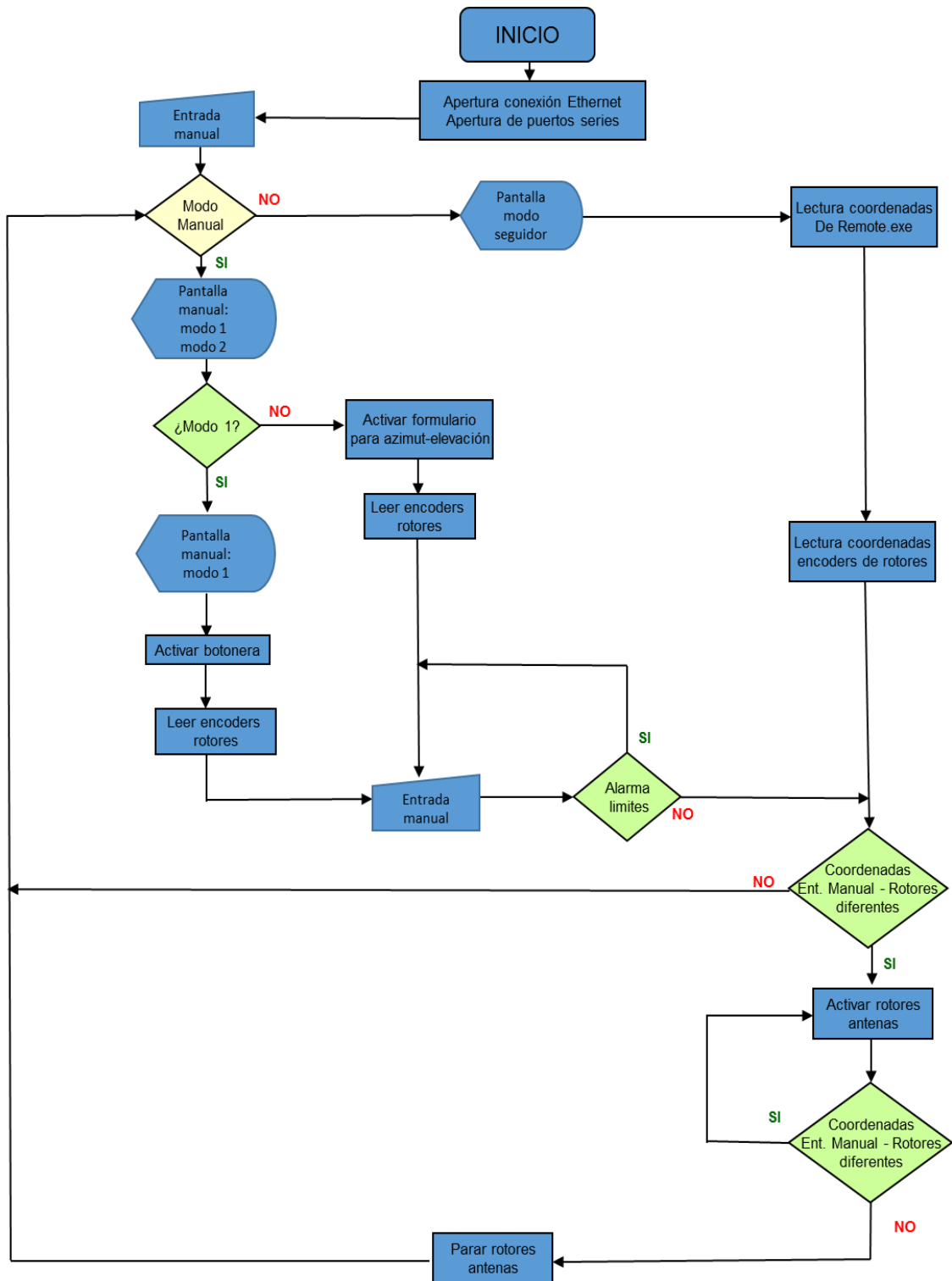
- Modo manual, subdividido en dos modos :
 - Modo manual 1. Permite la activación de los rotores mediante la activación de cuatro botones, que corresponden a :
 - Azimut-izquierda.
 - Azimut-derecha.
 - Elevación-subir.
 - Elevación-bajar.
 - Modo manual 2. Mediante dos formularios permite introducir las coordenadas concretas en las que se quiere posicionar las antenas.
- Modo seguidor. Este modo se encarga de la petición de las coordenadas tanto de elevación como de azimut a Orbitron a través de comunicación serie y del posicionamiento de las antenas mediante la activación y parada de los dos rotores.

A continuación se muestran las partes más importantes del programa:

8.4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SOFTWARE.



8.4.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SOFTWARE.



8.4.3. SOFTWARE.

Abrimos conexión de Ethernet, indicando la IP que tiene el equipo para actuar como servidor. Mientras estamos conectados leemos las cadenas mandadas por HTML. También indicamos que la pantalla se refresque cada 4 segundos.

```
//Declaración de la direcciones MAC e IP. También del puerto 80
byte mac[]={0xDE,0xAD,0xBE,0xEF,0xFE,0xED}; //MAC
IPAddress ip(192,168,2,177); //IP
EthernetServer servidor(80);
```

Declaración
direccion IP

```
void setup()
{
```

```
Serial2.begin(9600);
```

```
Ethernet.begin(mac, ip); //Inicializamos con las direcciones asignadas
servidor.begin();
```

```
digitalWrite(mover_isquierda,HIGH);
digitalWrite(mover_derecha,HIGH);
digitalWrite(mover_arriba,HIGH);
digitalWrite(mover_abajo,HIGH);
state="OFF";
}
```

Void Setup
Puerto serie y
ethernet

```
void loop()
```

```
{
```

```
EthernetClient cliente= servidor.available();
```

```
if(cliente)
{
boolean lineaenblanco=true;
while(cliente.connected())//Cliente conectado
{
if(cliente.available())
{
char c=cliente.read();
if(readString.length()<30)
{
readString.concat(c);
readString
}
if(c=='\n' && lineaenblanco)//Si la petición HTTP ha finalizado
{
```

Void loop

```
String value="";
cliente.println("HTTP/1.1 200 OK");
cliente.println("Content-Type: text/html");
cliente.println("Connection: close");
closed after completion of the response
cliente.println("Refresh: 4");
cliente.println();
```

Lectura
Datos de
ethernet

Código de comienzo de la página WEB. Esta parte del software está programada en HTML. Se incluyen las líneas de títulos de la página WB.

```

cliente.println("<html>");
cliente.println("<head>");

cliente.println("                <div
style='background-color: #00FF00;text-align: center;font-size:
30px'><span><b>UNIVERSIDAD DE CADIZ</span></div><br>");
cliente.println("                <div
style='background-color: #A9F5A9;text-align: center;font-size:
25px'><span><b>MASTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACION EN INGENIERIA DE
SISTEMAS Y DE LA COMPUTACION</span></div><br>");
cliente.println("                <div
style='background-color: #A9F5A9;text-align: center;font-size:
25px'><span>ESCUELA DE INGENIERIAS MARINA, NAUTICA Y RADIOELECTRONICA
</span></div><br>");

cliente.println("                <div
style='background-color: #00FA9A;text-align: center;font-size:
25px'><span>DEPARTAMENTO CIENCIAS Y TECNICAS DE LA
NAVEGACION</big></b></span></div>");
cliente.println("                <div
style='background-color: #A9F5A9;text-align: center;font-size:
25px'><span> </span></div>");
cliente.println("                <div
style='background-color: #00FA9A;text-align: center;font-size:
25px'><span> </big></b></span></div><br>");
cliente.println("                <div style='text-align:
center;'>");
cliente.println("<hr>");
cliente.println("                <h1>SEGUIDOR REMOTO
SISTEMA SDR UCA</h1>");
cliente.println("<hr>");
cliente.print("<b>");

```


Apertura
pagina
WEB

Barras y titulos
de pagina WEB

Mediante un formulario HTML se selecciona el modo de trabajo:

- Modo manual, mediante el cual posicionaremos las antenas en los puntos de azimut y elevación deseado.
- Modo manual, mediante este modo se tomara los valores de azimut y elevación entregados por Orbitron con objeto de hacer subimiento orbital de una fuente de radiofrecuencia.

Formulario para la selección de modos:
-Manual.
-Automatico.



```
cliente.print("<form action='' method='get'>");
cliente.print("<input type='radio' name='modos' style='color: #FF0000;
font-size: 25px; width:30Px;height:30px' value='manual'>MODO
POSICIONAMIENTO MANUAL");
cliente.print("<input type='radio' name='modos' style='background-
color:#74DF00; font-size: 25px; width:30px; height:30px'
value='automa'>MODO SEGUIDOR AUTOMATICO");
cliente.print("<input type=submit value='  Enviar'>");
cliente.print("</form>");
cliente.print(value);
```

Pantalla de Modo Automático

```

if (modos == "automa")
{
cliente.print("<div style='background-color: #81BEF7;text-align:
center;font-size: 20px'><span><b>MODO AUTOMATICO
SELECCIONADO</span></div><br>");
cliente.print("<br>");
cliente.print("<div style='background-color: #81BEF7;text-align:
center;font-size: 20px'><span><b>SEGUIMIENTO AUTOMATICO POR
COORDENADAS PROPORCIONADAS POR ORBITRON</span></div><br>");
cliente.print("<br>");
cliente.print("</form>");
cliente.print("<br>");

```

Presentación en pantalla de azimut de proporcionados por Orbitron

```

cliente.println("                <div style='background-
color: #F5A9F2;text-align: center;'><big><b><span>AZIMUT
ORBITRON</span></div>");
cliente.print(azimut_seguidor_numerico);
cliente.println("                GRADOS");

```

Presentación en pantalla de elevación proporcionados por Orbitron

```

cliente.println("                <div style='background-
color: #A9F5A9;text-align: center;'><span>ELEVACION
ORBITRON</span></div>");
cliente.print(elevacion_seguidor_numerico);
cliente.println("                GRADOS");
cliente.println("                </big><b>");
cliente.print("<br><br></br>");
}

```

```

if (modos=="manual" )
{
cliente.print(" <div style='background-color: #81BEF7;text-align:
center;font-size: 20px'><span><b>MODO MANUAL
SELECCIONADO</span></div><br>");
cliente.println("<br>");
if (digitalRead(mover_arriba)==HIGH)
{
cliente.println("<input type=submit value= 'MOTOR ELEVACION ASCENDER-
OFF' style='background-color:#74DF00; font-size: 15px;
width:330px;height:65px' onClick=location.href='./?MOTOR=5\''>");
}
if (digitalRead(mover_arriba)==LOW)
{
cliente.println("<input type=submit value= 'MOTOR ELEVACION ASCENDER-
ON' style='background-color:#FE2E2E; font-size: 15px;
width:330px;height:65px' onClick=location.href='./?MOTOR=6\''>");
}
cliente.println(" <br>");
if (digitalRead(mover_isquierda)==HIGH)
{
cliente.println("<input type=submit value= 'MOTOR AZIMUT IZQUIERDA-
OFF' style='background-color:#74DF00; font-size: 15px;
width:330px;height:65px' onClick=location.href='./?MOTOR=1\''>");
}
if (digitalRead(mover_isquierda)==LOW)
{
cliente.println("<input type=submit value= 'MOTOR AZIMUT IZQUIERDA-
ON' style='background-color:#FE2E2E; font-size: 15px;
width:330px;height:65px' onClick=location.href='./?MOTOR=2\''>");
}

if (digitalRead(mover_derecha)==HIGH)
{
cliente.println("<input type=submit value= 'MOTOR AZIMUT DERECHA-OFF'
style='background-color:#74DF00; font-size: 15px;
width:330px;height:65px' onClick=location.href='./?MOTOR=3\''>");
}
if (digitalRead(mover_derecha)==LOW)
{
cliente.println("<input type=submit value= 'MOTOR AZIMUT DERECHA-ON'
style='background-color:#FE2E2E; font-size: 15px;
width:330px;height:65px' onClick=location.href='./?MOTOR=4\''>");
}
cliente.println(" <br>");

if (digitalRead(mover_abajo)==HIGH)
{
cliente.println("<input type=submit value= 'MOTOR ELEVACION DESCENDER-
OFF' style='background-color:#74DF00; font-size: 15px;
width:330px;height:65px' onClick=location.href='./?MOTOR=7\''>");
}
if (digitalRead(mover_abajo)==LOW)
{
cliente.println("<input type=submit value= 'MOTOR ELEVACION DESCENDER-
ON' style='background-color:#FE2E2E; font-size: 15px;
width:330px;height:65px' onClick=location.href='./?MOTOR=8\''>");
}
cliente.println("<br>");
}
}

```

Creación de
Botonera en
modo Manual

Cambio de
color del botón
A VERDE

Cambio de
color del botón
A ROJO

Visualización de grados de azimut del rotor

```

cliente.println("                                <br />");
cliente.println("                                <div style='background-
color: #F5A9F2;text-align:
center:'><big><b><span>AZIMUT</span></div>");
cliente.print(valor_azimut_medio);
cliente.println("                                GRADOS");
cliente.println("                                <br />");

```

Visualización de grados de elevación del rotor

```

cliente.println("                                <br />");
cliente.println("                                <div style='background-
color: #A9F5A9;text-align: center;'><span>ELEVACION</span></div>");
cliente.print(valor_elevacion_medio);
cliente.println("                                GRADOS");
cliente.println("                                </big><b>");
cliente.print("<br>");
//-----

```

Leer datos entregados por formularios

```

// VER SI TENEMOS UNA ENTREGA DE AZIMUT O ELEVACION
int asimu_formu_x = readString.indexOf("x");
int eleva_formu_w = readString.indexOf("w");

// POSICION FINAL DONDE ACABA EL NUMERO ENTREGADO POR EL FORMULARIO
int asimu_fin_formu = readString.indexOf("H");
int eleva_fin_formu = readString.indexOf("H");

//VALOR ENTREGADO EN MODO TEXTO POR EL FORMULARIO
asimu_autom = readString.substring(asimu_formu_x+2, asimu_fin_formu);
eleva_autom = readString.substring(eleva_formu_w+2, eleva_fin_formu);

//VALOR ENTREGADO POR EL FORMULARIO CONVERTIDO DE TEXTO A NUMERICO
float asimu_autom_numerico=asimu_autom.toInt();
float eleva_autom_numerico=eleva_autom.toInt();

//VALOR TEXTO POR EL FORMULARIO AZIMUT-ELEVACION
String texto_azimu = readString.substring(asimu_formu_x-12,
asimu_formu_x+1);
String texto_eleva = readString.substring(eleva_formu_w-12,
eleva_formu_w+1);

//VALOR TEXTO POR EL FORMULARIO MODOS
modos_estado_anterior=opcion;
String orden = readString.substring(6, 11);
opcion = readString.substring(12, 18); //
if (orden == "modos")
{
modos = opcion;
}
if (orden=="modos" && opcion!=modos_estado_anterior)
{
digitalWrite(mover_isquierda,HIGH);
digitalWrite(mover_derecha,HIGH);
digitalWrite(mover_arriba,HIGH);
digitalWrite(mover_abajo,HIGH);
state="OFF";
}
}

```

Si en la cadena esta "x" es azimut

Si en la cadena esta "y" es elevacion

Modo
Automático o
Manual

Calculo de valores de azimut con mejora de medidas

```
long valor_azimut_acumulado=0;
float valor_azimut_medio;
for (i=0; i<numeromedidas; i++)
{
int valor_azimut = analogRead(A0);
valor_azimut_acumulado=valor_azimut_acumulado+valor_azimut;
}
delay (10);

//Calculo de valor medio

valor_azimut_medio=valor_azimut_acumulado*0.3515625/numeromedidas; //
360° entre 1024 pasos =0.3515625
return valor_azimut_medio;

}
float lectura_encoder_elevacion()
{
```

Calculo de valores de elevación con mejora de medidas

```
long valor_elevacion_acumulado=0;
float valor_elevacion_medio;
for (i=0; i<numeromedidas; i++)
{
int valor_elevacion = analogRead(A1);
valor_elevacion_acumulado=valor_elevacion_acumulado+valor_elevacion;
}
delay (10);

//Calculo de valor medio

valor_elevacion_medio=valor_elevacion_acumulado*0.17578125/numeromedid
as; // 180° entre 1024 pasos =0.17578125
return valor_elevacion_medio;
}
```


Función para control de azimut En modo Automático

```
void motor_azimut (float asimu_autom_numerico , float
valor_azimut_medio)

{
while (int (asimu_autom_numerico)>int(valor_azimut_medio+1))
{
digitalWrite(mover_isquierda,HIGH);
delay(200);
digitalWrite(mover_derecha,LOW);
state="ON";
valor_azimut_medio = lectura_encoder_azimut();
}

while (int (asimu_autom_numerico)<int(valor_azimut_medio-1))
{
digitalWrite(mover_derecha,HIGH);
delay(200);
digitalWrite(mover_isquierda,LOW);
state="ON";
valor_azimut_medio = lectura_encoder_azimut();
}

if (int (asimu_autom_numerico)==int(valor_azimut_medio))
{
digitalWrite(mover_derecha,HIGH);
delay(200);
digitalWrite(mover_isquierda,HIGH);
state="OFF";
}
}
```

Función para control de elevación en modo Automático

```
valor_elevacion_medio)

{
while (int (eleva_autom_numerico)<int(valor_elevacion_medio-1))
{
digitalWrite (mover_arriba, HIGH);
delay(200);
digitalWrite (mover_abajo, LOW);
state="ON";
valor_elevacion_medio = lectura_encoder_elevacion();
}

while (int (eleva_autom_numerico)>int(valor_elevacion_medio+1))
{
digitalWrite (mover_abajo, HIGH);
delay(200);
digitalWrite (mover_arriba, LOW);
state="ON";
valor_elevacion_medio = lectura_encoder_elevacion();
}

if (int (eleva_autom_numerico)==int(valor_elevacion_medio))
{
digitalWrite (mover_abajo, HIGH);
delay(200);
digitalWrite (mover_arriba, HIGH);
state="OFF";
}
}
```

Movimiento de Rotores

```
int MOTOR = readString.indexOf("MOTOR");
```

Izquierda

```
if ((readString.substring(MOTOR, MOTOR+7)=="MOTOR=1") && (valor_azimut_medio > limite_minimo_azimut))
{
    digitalWrite(mover_derecha, HIGH);
    delay(200);
    digitalWrite(mover_izquierda, LOW);
    state="ON";
}
if ((readString.substring(MOTOR, MOTOR+7)=="MOTOR=2") || (valor_azimut_medio < limite_minimo_azimut))
{
    digitalWrite(mover_izquierda, HIGH);
    state="OFF";
}
```

Derecha

```
if ((readString.substring(MOTOR, MOTOR+7)=="MOTOR=3") && (valor_azimut_medio < limite_maximo_azimut))
{
    digitalWrite(mover_izquierda, HIGH);
    delay(200);
    digitalWrite(mover_derecha, LOW);
    state="ON";
}
if ((readString.substring(MOTOR, MOTOR+7)=="MOTOR=4") || (valor_azimut_medio > limite_maximo_azimut))
{
    digitalWrite(mover_derecha, HIGH);
    state="OFF";
}
```

Subir

```
if ((readString.substring(MOTOR, MOTOR+7)=="MOTOR=5") && (valor_elevacion_medio < limite_maximo_elevacion))
{
    digitalWrite(mover_abajo, HIGH);
    delay(200);
    digitalWrite(mover_arriba, LOW);
    state="ON";
}
if ((readString.substring(MOTOR, MOTOR+7)=="MOTOR=6") || (valor_elevacion_medio > limite_maximo_elevacion))
{
    digitalWrite(mover_arriba, HIGH);
    state="OFF";
}
```

Bajar

```
if ((readString.substring(MOTOR, MOTOR+7)=="MOTOR=7") && (valor_elevacion_medio > limite_minimo_elevacion))
{
    digitalWrite(mover_arriba, HIGH);
    delay(200);
    digitalWrite(mover_abajo, LOW);
    state="ON";
}
if ((readString.substring(MOTOR, MOTOR+7)=="MOTOR=8") || (valor_elevacion_medio < limite_minimo_elevacion))
{
    digitalWrite(mover_abajo, HIGH);
    state="OFF";
}
```

Datos procedentes de puerto serie

```
if (modos == "automa")
{
  Serial2.println("A");
  delay(1000);
  if(Serial2.available()) //Nos dice si hay datos dentro del buffer
  {
    memset(respuesta, 0, sizeof(respuesta));

    while(Serial2.available()>0)

    {

      respuesta_completa=respuesta;
    }
    posicion=0;
  }
  String respuesta_recortada = respuesta_completa.substring(3, 30);
  for (int i = 0; i < respuesta_recortada.length(); i++)
  {
    if (respuesta_recortada.substring(i, i+1) == " ")
    {
      azimut_seguidor_numerico = respuesta_recortada.substring(0,i).toInt();
      azimut_seguidor_numerico=azimut_seguidor_numerico/100;
      elevacion_seguidor_numerico =
      respuesta_recortada.substring(i).toInt();
      elevacion_seguidor_numerico=elevacion_seguidor_numerico/100;
      if (elevacion_seguidor_numerico>360)
      {
        elevacion_seguidor_numerico=360-elevacion_seguidor_numerico;
      }
      if (elevacion_seguidor_numerico<0)
      {
        elevacion_seguidor_numerico=elevacion_seguidor_numerico+90;
      }
      break;
    }
  }
  azimu_autom_numerico=azimut_seguidor_numerico;
  eleva_autom_numerico=elevacion_seguidor_numerico;
  modos="automa";
}
```

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Este proyecto ha sido presentado en el III Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad, celebrado en el Centro Universitario de la Defensa de Marín, Escuela Naval Militar (Mascareñas y Pérez-Iñigo C. P., 2015), los días 19 y 20 de noviembre de 2015, como parte del Demostrador de Conceptos de Radiofrecuencia en V-U-SHF mediante equipos SDR.

Los campos de aplicación de los receptores SDR permiten su uso en multitud de aplicaciones como radioastronomía, recepción de satélites artificiales, radiolocalización, servicio móvil marítimo, servicio móvil aéreo, bandas abiertas y aficionados, radiodifusión, señales de radar banda x, servicio móvil terrestre, televisión vía satélite

Uno de los usos más interesantes que se puede dar al controlador seguidor de antenas, es el estudio de cuerpos celestes. Para ello es imprescindible conocer órbita del astro a observar. Las alternativas que se estudiaron para el cálculo de las orbitas fueron las siguientes:

- Realizar el posicionamiento de las antenas mediante el cálculo orbital por medio del microcontrolador, esto conlleva una serie de inconvenientes, ya que para cada astro debemos conocer distintos parámetros como son *azimut* y *elevación* (Javeriana, 2015). Como ejemplo indicar que para poder hacer el seguimiento solar harían falta calcular: *declinación*, *ángulo diario*, *elevación*, *azimut*, *hora solar*, *ángulo horario*, además de saber el *día*, *hora actual*, *nº de día Juliano* (Anexo 5).
- Obtener la información de azimut y elevación de aplicaciones que ya realizaran el cálculo.

Se eligió esta segunda opción ya que amplía en gran medida las posibilidades y capacidades del equipo, aunque esto ha obligado a obtener esta información de software que no han sido creados para poder suministrarla..

Para recibir las fuentes radiofrecuencia en las que se debe utilizar el sistema de posicionamiento se debe añadir el error de los equipos. Aunque el controlador seguidor de antenas basado en un Arduino tiene una resolución de 0,33°, en las distintas pruebas se ha conseguido situar las antenas con un error que ha sido determinado por los potenciómetros de los rotores, según las especificaciones de YAESU para los rotores G550 y G600 el error puede estar en torno a un 4%,

10. CONCLUSIONES.

En este trabajo se ha abordado temas tan dispares y a la vez complementarios como han sido:

- Radioastronomía.
- Comunicaciones por radio.
- Antenas.
- Arduino.
- Programación IDE.
- Programación en HTML.

- Comunicaciones serie.
- Electrónica.
- Diagnóstico de averías en equipos electrónicos.

Se ha conseguido el objetivo principal del trabajo, consistente en la creación de un equipo capaz de posicionar conjuntos de antenas, concretamente las que forman parte del demostrador de conceptos de radiofrecuencias EAC-10 situado en la cúpula del Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos (CASEM) del Campus de Puerto Real.

Este equipo es una potente herramienta para que tanto investigadores como estudiantes, puedan adentrarse en el estudio de cualquier tipo de señal de radiofrecuencia, tanto señales de fuentes fijas como aquellas de fuentes móviles contempladas por la aplicación Orbitron. El controlador seguido de antenas, se ha diseñado para que permita modificaciones que mejoren o amplíen las prestaciones del sistema.

Se ha trabajado con dos dispositivos SDR, comprobando como el RTL-2832U de bajo coste, solo un 4% del coste del FUNCUBE PRO o menos del 1% del valor de un PERSEUS, permite ofrecer unas posibilidades elevadas a investigadores para diseñar campos de estudio de fuentes de radio.

Los obstáculos e imprevistos encontrados, han retrasado la fecha de finalización del proyecto y han impedido profundizar en la toma de datos con los receptores, pero esto no impide el comprobar, con las pruebas llevadas a cabo, como los dispositivos de SDR-RTL de bajo coste son un elemento altamente atractivo y didáctico para acercar el campo de estudio de la radiofrecuencia y por tanto de los equipos de radio a estudiantes de cualquier tipo de ingeniería relacionada con las telecomunicaciones o la electrónica.

11. TRABAJOS FUTUROS.

Con objeto de mejorar la precisión del sistema una de las líneas de actuación consistiría en la sustitución de los potenciómetros de los rotores encargados de indicar las medidas de grados de azimut y elevación del conjunto de antenas, por los datos proporcionados por circuitos integrados tipo encoders magnéticos rotativos como pueden ser el AS-5040 o MA3-10. De esta manera se podría disminuir el error actual de 4% hasta un 0,1%.

Sería interesante el montaje de varios sistemas de antenas telecontroladas situadas en los distintos campus universitarios de la UCA. De este modo se pueden hacer estudios comparativos de las señales de radiofrecuencia recibidas. El diseño de una matriz de antenas a lo largo de los campus puede permitir la creación de un radiotelescopio de gran dimensión mediante antenas de bajo coste, basándonos en la técnica de la interferometría.

Creación de una matriz de receptores SDR, de modo que, determinado por el número de receptores, permita llevar a cabo estudios de señales de radio en un ancho de banda de gran tamaño, el cual puede llegar a contemplar el ancho de banda completo de los dispositivos de radio definida por software.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1 Airspy. (4 de 7 de 2015). <http://airspy.com/>. Obtenido de <http://airspy.com/download/>

2 Arduino. (12 de 6 de 2015). www.arduino.cc. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

3 *arduinoodhtics.weebly.com*. (23 de 8 de 2015). Obtenido de <http://arduinoodhtics.weebly.com/historia.html>

4 arduino-info.wikispaces. (25 de 8 de 2015). <https://arduino-info.wikispaces.com/MegaQuickRef>. Obtenido de <https://arduino-info.wikispaces.com/file/view/arduino-mega2560-schematic-F.jpg/346627792/arduino-mega2560-schematic-F.jpg>

5 Banzi, M. (12 de 8 de 2015). [arduino.cc](http://www.arduino.cc). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>

6 Bianchi, V. (2004). RADIOASTRONOMÍA: UNA MIRADA MÁS AMPLIA. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, 61-76.

7 Buracchini, E. (2000). *The software radio concept*. IEEE Communications Magazine.

8 Commission, F. C. (2001). *Authorization and Use of Software Defined*. Washington, D.C. : FCC.

9 Diamond. (22 de 10 de 2015). www.diamondantenna.net. Obtenido de <http://www.diamondantenna.net/d3000n.html>

10 Drew, J. F. (19 de 9 de 2015). *VK5DJ*. Obtenido de <http://www.vk5dj.com/remote.html>

11 Falcon, E. &. (2010). El efecto Branly. *Scientific American*, 80-86.

12 FUNcube. (9 de 11 de 2015). *FUNcube Dongle*. Obtenido de <http://www.funcubedongle.com/>

13 Javeriana, U. (5 de 7 de 2015). javeriana.edu.co. Obtenido de http://javeriana.edu.co/arquidis/educacion_continua/documents/PRES.RADIACIONESOLAR1.pdf

- 14 Maan891. (10 de 10 de 2015). *wordpress.com*. Obtenido de <https://maam891.wordpress.com/category/antena-parabolica-de-foco-primario-y-offset-focalizada/>
- 15 Machado RG, W. A. (2015). Software-defined radio: bridging the analog-digital divide. *IEEE*, 409-423.
- 16 Mahon, B. (2004). *The man who changed everything: the life of James Clerk Maxwell*. John Wiley & Sons.
- 17 Mascareñas y Pérez-Iñigo, C. (2013). *España Patente nº P201300558*.
- 18 Mascareñas y Pérez-Iñigo, C. P. (2015). Demostrador de Conceptos de Radiofrecuencia en V-U-SHF. *III Congreso Nacional de i+d en Defensa y Seguridad* (págs. 821-826). Marin: Centro Universitario de la Defensa de Marin.
- 19 Mitola, J. (1999). Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications. *Mobile Multimedia Communications, 1999. (MoMuC '99) 1999 IEEE International Workshop on* (págs. 3 - 10). San Diego, CA : IEEE.
- 20 Mitola, J. (2000). SDR architecture refinement for JTRS. *MILCOM 2000. 21st Century Military Communications Conference Proceedings* (págs. 214 - 218 vol.1). Los Angeles, CA : IEEE.
- 21 pighpxx. (3 de 9 de 2015). *4.bp.blogspot.com*. Obtenido de <http://4.bp.blogspot.com/-IyxK0QKMFuE/UvvGNO0AicI/AAAAAAAAAGU/u3rKckUicTU/s1600/MEGA2560.png>
- 22 ProlificUSA. (11 de 9 de 2015). *prolificusa.com*. Obtenido de <http://prolificusa.com/portfolio/pl2303hx-rev-d-usb-to-serial-bridge-controller/>
- 23 Realtek. (5 de 7 de 2015). *Realtek*. Obtenido de www.realtek.com.tw
- 24 Reber, G. (1940). Notes: Cosmic Static. *Astrophysical Journal*, vol. 91, p.621-624.
- 25 Stoff, S. (22 de 8 de 2015). <http://www.stoff.pl/>. Obtenido de <http://www.stoff.pl/orbitron/summary.php?esp>
- 26 Sullivan, W. T. (2005). *The early years of radio astronomy: reflections fifty years after Jansky's discovery*. Cambridge University Press.
- 27 Sur, A. (15 de 10 de 2015). *astrosurf.com*. Obtenido de <http://www.astrosurf.com/astronosur/satelites.htm>

- 28 Tomaszczik, F. (17 de 7 de 2015). *Radio Definida por Software para pobres*.
Obtenido de <http://lw3eh.blogspot.com.es/2013/02/radio-definida-por-software-para-pobres.html>
- 29 UIT. (2003). *Recomendación UIT-R RA.314-10 Bandas de frecuencias preferidas para las mediciones radioastronómicas*. Ginebra : UIT.
- 30 Union, I. T. (2009). *Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS)* . UIT.
- 31 Xue, D. (2002). *Yagi-Uda Antenna*. Department of Engineering Mechanics. ICES.
- 32 Yaesu. (2001). *Instruction manual G550*. Japan: Vertex Standard. LTD.
- 33 Yaesu. (2001). *Instruction manual G-650*. Japan: Vertex Standard. LTD.
- 34 Yaesu. (2015). *Instruction manual G5600*. Japan: Yaesu Musen CO.LTD.
- 35 Zadig. (5 de 6 de 2015). *zadig.akeo.ie/*. Obtenido de <http://zadig.akeo.ie/>

ANEXO 1. RADIOASTRONOMIA.

Tradicionalmente a lo largo de la historia, para el estudio del universo y de los astros, los científicos han restringido sus investigaciones a la observación de estos en la banda del espectro electromagnético correspondiente a la luz visible (figura a1.1), cuya longitud de onda está comprendida entre 750 y 380 nm (de 483 a 789 THz) (Mignone, 2010).

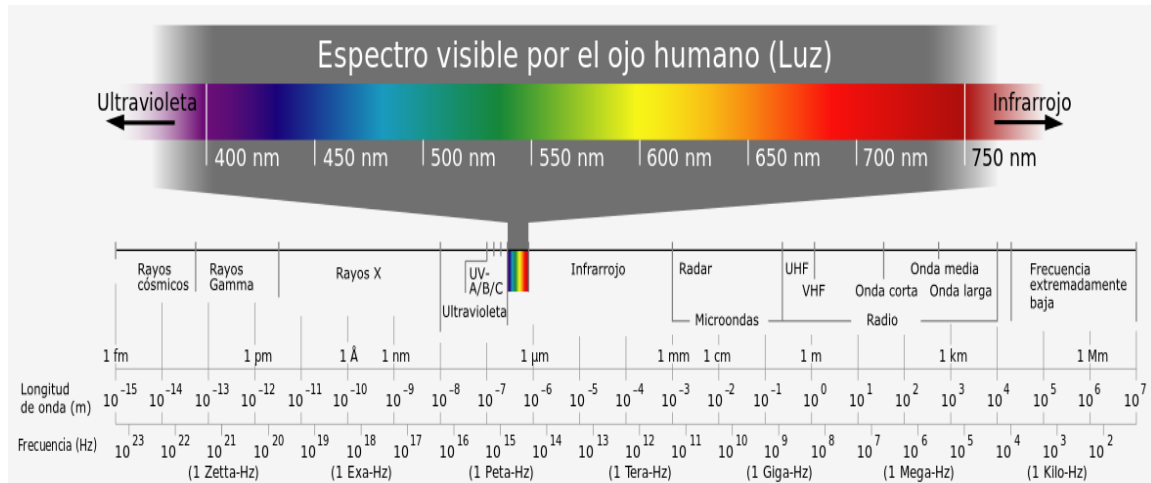


Figura a1.1.- Espectro electromagnético.

Fuente: www.física.laguia2000

Las principales razones para limitar la observación astronómica a esta banda se debía a:

- Hasta el siglo XIX Maxwell no había descrito el espectro electromagnético.
- La falta de desarrollo tecnológico que permitiera el trabajo científico en el resto del espectro electromagnético. Pensemos que este comprende frecuencias mayores a 0 Hz hasta Zetta-Hz, es decir mayores 10^{21} Hz.
- La opacidad de la atmósfera a frecuencias superiores a los ultravioletas e inferiores a los infrarrojos.

Pero esto cambió drásticamente en 1931, cuando el ingeniero de radio estadounidense Karl Guthe Jansky (Sullivan, 2005) contratado por la compañía telefónica Bell, localizada en New Jersey, quienes les asignaron el problema de estudiar la dirección de la que provenían las interferencias en el servicio transatlántico de radiotelefonía. Para su estudio, Karl Jansky construyó una antena (figura a1.2) diseñada para recibir ondas de radio de 20.5 MHz. Esta antena estaba montada en una plataforma giratoria que le permitiera rotar en cualquier dirección. Gracias al cambio de orientación de la antena se podía encontrar la dirección de emisión de la señal de radio que se quisiera investigar.

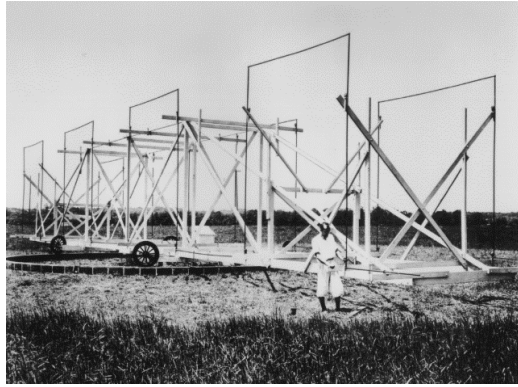


Figura a1.2.- Antena carrusel de Jansky
Fuente: www.nrao.edu

Cuando investigaba las posibles causas de estas perturbaciones de radio que interferían las transmisiones de larga distancia, llegó a la conclusión de que gran parte de ellas se debía a fenómenos meteorológicos, como las tormentas, sin embargo el ruido de fondo recibido en varias bandas de frecuencia, sobre todo en la banda de onda corta (3 a 30 MHz) procedía de la Vía Láctea y con más alta intensidad del centro de esta.

Este descubrimiento causó un gran revuelo en la época, Jansky, sin ser astrónomo, llegó a la conclusión de que las fuentes de emisión de estas señales eran los mismos astros, comprendiendo que muchos cuerpos celestes, además de irradiar energía, bajo forma de luz visible por causas de origen térmicas, lo hacen mediante ondas electromagnéticas comprendidas en el espectro de radio, debidas sobre todo, al movimiento de partículas elementales cargadas de energía.

A partir de los trabajos de Jansky, en 1938 el ingeniero Grote Reber (Reber, 1940) construyó en el patio de su casa de Illinois, el primer prototipo del radiotelescopio moderno (figura a1.3). Publicando en 1944 el primer mapa del cielo en radio frecuencia.



Figura a1.3.- Radiotelescopio de Grote Reber.
Fuente: www.nrao.edu

En la Segunda Guerra Mundial, debido a la invención del Radar y el trabajo en la banda de frecuencias de las microondas propicio en alta medida el avance en el campo de la radioastronomía comenzando a tener una importancia vital en nuestra observación y estudio del universo.

Actualmente la radioastronomía suministra la mayor fuente de información que tienen los científicos para investigación del universo. Para ello se basa en:

- Radiotelescopios.
- Interferómetros.

A1.1. RADIOTELESCOPIO.

La ionosfera es completamente opaca a frecuencias por debajo de los 6 MHz. Actualmente los radiotelescopios abarcan una gama de frecuencia comprendida entre los 15 MHz (longitudes de onda de 20 m) hasta frecuencias superiores el THz (longitudes de onda de unos 0,3 mm). Aunque el rango normal de trabajo va desde los 6 MHz y los 30 GHz (gigahercios) (UIT, 2003).

Aunque un radiotelescopio puede basarse en una simple antena dipolo, la antena que mejores resultados ha dado es la de diseño parabólico, basada en un plato principal, un reflector secundario y la antena receptor situada en el foco del radiotelescopio (imagen a1.4). Las ondas de radio que se reciben del espacio son extremadamente débiles por lo que se necesitan antenas de gran tamaño que aumentan la sensibilidad de las observaciones. Muchos radiotelescopios están constituidos por una antena parabólica que concentra la radiación en el foco de la parábola.

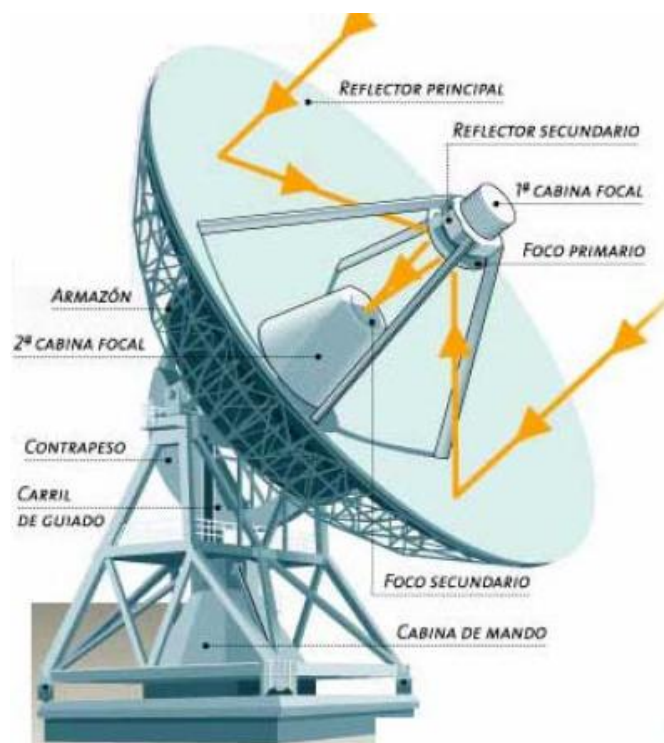


Figura a1.4.- Partes de antena parabólica

Fuente: www.teinteresa.com

La dimensión del plato principal de las antenas parabólicas tiene una dimensión comprendida entre 1 y 100 metros. Aunque existen excepciones como el radiotelescopio de Arecibo en Puerto Rico (figura a1.5) el cual tiene un disco de 305 m.



Figura a1.5.- Radiotelescopio de Arecibo.

Fuente: www.artojem

A1.2 RADIO INTERFEROMETRO.

Realmente la base sigue siendo la misma que la de un radiotelescopio, la diferencia de esta técnica consiste en combinar la señal proveniente de diferentes antenas de radio para obtener una señal de mayor resolución. Mediante esta técnica se consigue el récord de nitidez (resolución) de que es capaz la astronomía actual.

Las señales recibidas por el cluster de antenas son procesadas por un correlador, este se encarga de combinar todas las señales recibidas procedentes de las distintas

antenas, formando una señal única. Para ello se tiene en cuenta el desfase que tendremos en las señales recibidas debido a las distancias entre antenas.

El National Astronomy Observatory ha construido En Nuevo México el VLA “Very Large Array” (figura a1.6), este está formado por 27 radiotelescopios con un disco de 25 metros de diámetro cada uno de ellos. La ubicación de cada antena se puede modificar mediante un sistema de raíles ferroviarios, el trazado de las vías tiene forma de Y, teniendo cada brazo de la Y tiene una longitud de 20 Km. Las señales de estos, combinadas mediante un ordenador, simulan un radiotelescopio con un plato de 40 km de diámetro (Bianchi, 2004).



*Figura a1.6.- VLA de Nuevo México.
Fuente: Dept. physic – New Mexico Thech*

Con este sistema conseguimos que mediante el uso de varias antenas de un tamaño reducido, podamos obtener el mismo resultado que con antenas de gran tamaño. Las antenas pueden estar separadas por distancias que van desde solo algunos metros pasando por varios kilómetros, incluso de miles de kilómetros. Mediante la utilización de esta técnica radioastrónomos han llegado a conectar radiotelescopios de Europa, USA, Canadá y Australia, formando un radiointerferómetro tan grande como nuestro planeta.

Destacar también que la técnica de la interferometría tiene una serie de inconvenientes, entre otros el ser más lenta en recoger información además de ser el análisis de información más complejo con respecto a la señal recibida por un solo radiotelescopio.

ANEXO 2. EQUIPOS SDR PROFESIONALES.

Actualmente multitud de fabricantes aportan equipos para el segmento semi-profesional de la tecnología SDR. En este apartado se hará referencia a equipos ofrecidos por: MICROTELECOM, INRADIO y FLEXRADIO SYSTEM.

Estos fabricantes se adecuan para el estudio al que se hace referencia en este trabajo además de ser fabricantes que tienen una gran penetración y disponibilidad en el mercado europeo.

A2.1. MICROTELECOM.

PERSEUS. (820 euros).

PERSEUS (figura a2.1) es un receptor SDR con un espectro de frecuencias comprendido entre 10 kHz hasta 30 MHz. Mediante el software HFSPAN PERSEUS puede trabajar como analizador de espectro de 10 KHz a 40 MHz con un margen de 100db y una resolución de 10 KHz.

Se basa en un chip ADC LTC2206 de 14 bits con muestreo de 80 MHz. Lo que le permite trabajar con frecuencias de hasta 40 MHz. La tasa de muestreo se puede reducir mediante un diezmado por software, pudiendo seleccionarse esta entre 48 KHz y 2 MHz. El equipo tiene conversión de frecuencia a banda base mediante DDC integrado. A través del puerto USB entrega al PC las muestras I/Q con 24 bits en fase y cuadratura.

El núcleo del PERSEUS es un chip reconfigurable FPGA de familia SPARTAN del fabricante XILINX concretamente el XC3S250E. Entre las opciones de reconfiguración de la FPGA, una de las más importantes es la capacidad de configurar uno de los 8 filtros LPF (Low Pass Filter) (0-1.7 MHz) o BPF (Band Pass Filter) con objeto de reducir el ancho de banda total del receptor, de este modo podemos reducir el ruido, obteniendo mejoras de más 2 dB, como inconvenientes se aumentaría en 3 dB los productos de intermodulación de tercer orden.

Tiene entre otras opciones la posibilidad de grabar todas las señales dentro del espectro de recepción 400, 200 o 100 KHz. Posibilidad de control remoto a través de internet y conexión en red



*Figura a2.2 Perseus
Fuente: Microtelecom.*

Especificaciones:

- Frecuencias recibidas: 10 kHz a 30 MHz
- Modalidades: SSB, CW, AM;FM,DRM etc. (Definidas por software)
- Sensibilidad: 0,39 uV SSB (S+N)/N = 10 dB
- Selectividad: Definida por software (Atenúa. Fuera Banda >100 dB)
- Rechazo de imagen: 90 dB
- Rango Dinámico: Típica 100 dB (SSB 2,4 kHz BW) Típica 104 dB (CW, 500 Hz BW)
- SFDR (Spurious Free Dynamic Range) Típica 110 dB
- Blocking Dinamic Range: 125 dB (CW, 500 Hz BW)
- MDS (Minimum Detectable Signal): -131 dBm (500 Hz BW, Preamp On) - 124 dB (2,4 kHz BW, Preamp On)
- Nivel de recorte A/D -4 dBm -7 dBm (Pream ON)
- ATENUADORES: 0, 10, 20, 30 Db
- Filtros de preselección: LPF (Low Pass Filter) (0-1.7 MHz) BPF (Band Pass Filter) (1.7-30 MHz) 0-1.7, 1.7-2.1, 2.1-3.0, 3.0-4.2, 4.2-6.0 6.8-8.4, 8.4-12.0, 12-17, 17-24, 24, 32
- OFF (0-40 MHz Modo Wide Band)
- ADC (Conversor A/D) 14 bit a 80 Ms/s con generador interno
- DDC (Conversor D/A) con FPGA (Xilinx's Spartan III XC3S250E)
- Interface con PC USB 2.0 de alta velocidad (480 Mbit/s)
- Frecuencia de muestreo de salida 100/200/400 kHz (-130 dB Alias Rejection)
- Ancho de banda de salida Muestras de 24 bits en par I/Q
- Precisión de la frecuencia +/-1 ppm después de calibrado

A2.2. WINRADIO.

El fabricante WINRADIO incorpora la gama EXCALIBUR de equipos SDR para el sector de receptores semiprofesionales. Los equipos de la gama EXALIBUR comparten las siguientes características:

- Muestreo-directo de la señal.
- Convertidores digitales.
- Equipo que nos proporciona una alta linealidad alcanzando un punto de intersección IP3¹.
- Alto valor de rango dinámico.
- Excelente sensibilidad.
- Elevada selectividad.
- Alta precisión de sintonía
- Equipo interno para PC con conexión PCI y externo con conexión USB.

Todos los equipos incorporan aplicación de software propia.

¹ Estas especificaciones se denominan simplemente IPN, que indica "puntos de intercepción de orden n", donde n es un número entero a partir de 2. El IPN son indicadores de buena linealidad en un dispositivo electrónico tal como un amplificador de bajo ruido (LNA), mezclador de frecuencia de radio (RF), o amplificador de potencia (PA). IPN, y sobre todo IP3, determina parámetros como las potencias de entrada y de salida de un dispositivo. IP3 ya nos ofrece valores de alta linealidad del sistema lo que nos asegura el rendimiento de este.

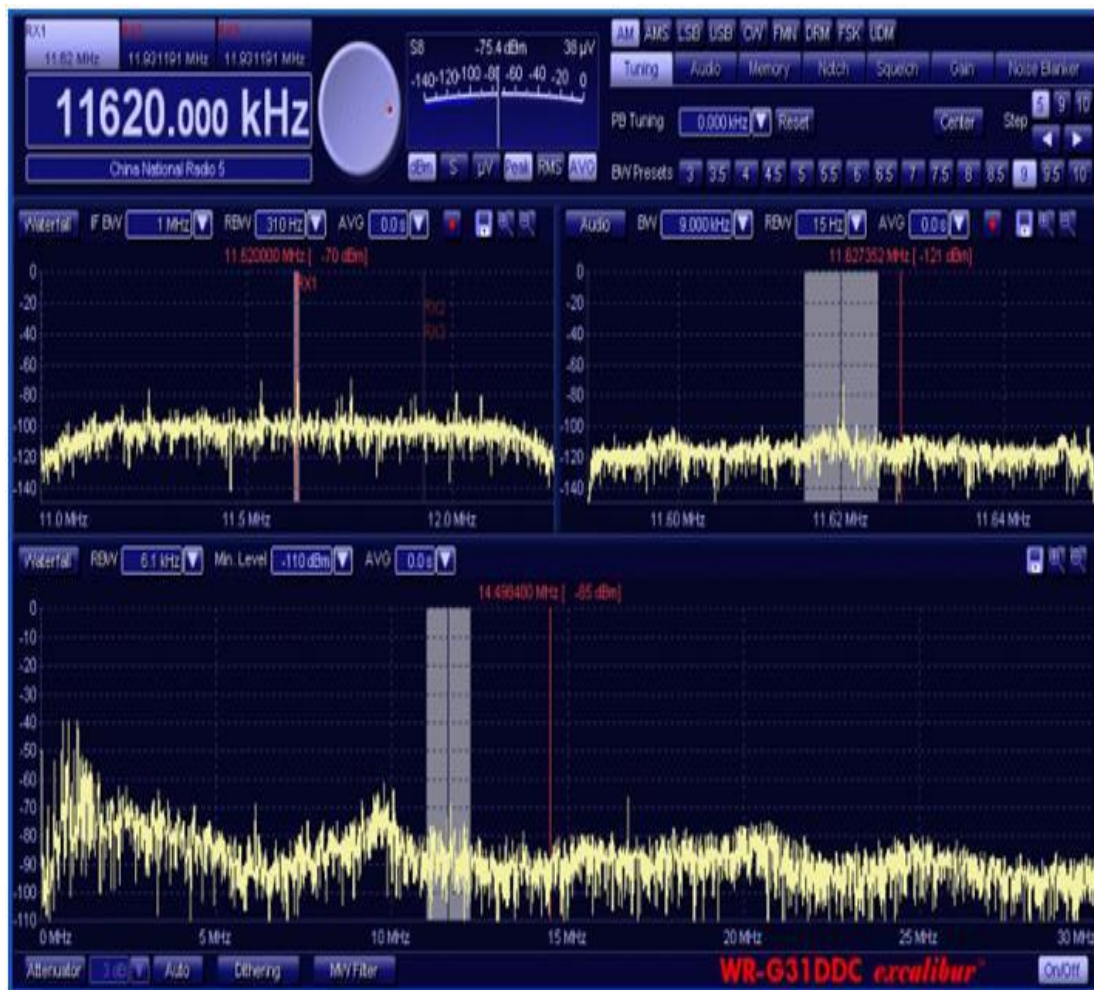


Figura a2.3.- Captura software para WR-G31DDC
Fuente: Winradio

Destacando varios equipos de este fabricante:

- HF WR-G31DDC HF Excalibur SDR.
- WR-G33DDC 'EXCALIBUR Pro'.
- WR-G35DDCi 'EXCALIBUR Ultra'.
- WR-G305i.
- WR-G305e.
- WR-G315i.
- WR-G315e.
- WR-G39DDCi 'EXCELSIOR'.
- WR-G39DDCe 'EXCELSIOR'.

HF WR-G31DDC HF Excalibur SDR. (850 euros).

WR-G31DDC es un receptor de alto rendimiento con un rango de frecuencia comprendido entre 9 KHz a 50 MHz. Incluye un analizador de espectro en tiempo real de 50 MHz con ancho de banda de 2 MHz.



Figura a2.4.- WR-G31DDC

Fuente: Winradio.

Especificaciones:

- Rango de frecuencia de 9 kHz a 49.995 MHz
- Muestreo directo
- Conversión digital de frecuencia
- Convertidor A/D de 16-bit 100 MSPS
- Analizador de espectro en tiempo real de 50 MHz
- Ancho de banda de grabación y procesamiento de 2 MHz
- Filtro ajustable con ancho de banda de hasta 1 Hz
- Tres canales de demodulación paralelos
- Analizador del espectro de audio
- Reproducción de grabaciones de audio y FI
- Grabación con pre-buffer
- Soporta uso de base de datos de frecuencia en tipos EIBI, HFCC
- Alto IP3¹ (+31 dBm)
- Sensibilidad (0.20 μ V SSB, 0.10 μ V CW)
- Rango dinámico (107 dB)
- Estabilidad de frecuencia (0.5 ppm)
- Filtro de media onda seleccionable
- Preselector configurable
- Preamplificador de bajo-ruido seleccionable

¹ Estas especificaciones se denominan simplemente IPN, que indica "puntos de intercepción de orden n", donde n es un número entero a partir de 2. El IPN son indicadores de buena linealidad en un dispositivo electrónico tal como un amplificador de bajo ruido (LNA), mezclador de frecuencia de radio (RF), o amplificador de potencia (PA). IPN, y sobre todo IP3, determina parámetros como las potencias de entrada y de salida de un dispositivo. IP3 ya nos ofrece valores de alta linealidad del sistema lo que nos asegura el rendimiento de este.

WR-G33DDC 'EXCALIBUR Pro'. (1799 euros).

Este equipo incrementa las prestaciones del modelo WR-G31DDC. Pudiendo destacar:

- Ancho de banda de procesamiento de 4 MHz en vez de los 2 MHz que nos permite el modelo G31.
- Preamplificador de bajo ruido
- Filtros de pre-selección configurables
- Ancho de banda de filtro ajustable hasta 1 Hz
- Estabilidad de frecuencia de 0.5 ppm
- Funciones de prueba y medición
- Función de pausa



*Figura a2.5.- WR-G33DDC PRO
Fuente: www.Winradio.com*

Especificaciones:

- Rango de frecuencia de 9 kHz a 49.995 MHz
- Muestreo directo
- Conversión digital de frecuencia
- Convertidor A/D de 16-bit 100 MSPS
- Analizador de espectro en tiempo real de 50 MHz
- Ancho de banda de grabación y procesamiento de 4 MHz
- Filtro continuamente ajustable con ancho de banda de hasta 1 Hz
- Tres canales paralelos de demodulación
- Analizador del espectro de audio
- Reproducción de grabaciones de audio y FI
- Grabación con pre-buffer
- Soporta uso de base de datos de frecuencia en tipos EIBI, HFCC
- Alto IP3 (+31 dBm)
- Sensibilidad (0.20 μ V SSB, 0.10 μ V CW)
- Rango dinámico (107 dB)
- Estabilidad de frecuencia (0.5 ppm)
- Filtro de media onda seleccionable
- Preselector configurable
- Preamplificador de bajo-ruido seleccionable

WR-G35DDCi 'EXCALIBUR Ultra'. (1799 euros).

El WiNRADiO WR-G35DDCi Excalibur Ultra es un receptor HF de ultra ancho de banda con muestreo directo. Tiene un rango de frecuencia de 1 kHz a 45 MHz. Incluye analizador de espectro en tiempo real de 45 MHz con un ancho de banda de 32 MHz.



*Figura a2.6.- WR-G35DDCi 'EXCALIBUR Ultra'
Fuente: Winradio.*

Especificaciones:

- Rango de frecuencia continuo de 1 kHz a 45 MHz
- Muestreo directo
- Conversión digital de frecuencia
- Convertidor A/D de 16-bit 100 MSPS
- Analizador de espectro en tiempo real de 45 MHz de ancho
- Ancho de banda de grabación y procesamiento de 32 MHz
- Listo para ser usados en aplicaciones que requieran coherencia de fase
- Filtro continuamente ajustable con ancho de banda de hasta 1 Hz
- Tres canales paralelos de demodulación

WR-G305i. (750 euros).

Receptor SDR de tercera generación para las bandas de VHF y UHF. Con un rango de frecuencia de 9 KHz a 1,8 GHz. Cuenta con una etapa de entrada de alta sensibilidad y bajo nivel de ruido de fase. El límite de frecuencia superior puede ser aumentado hasta los 3,5 GHz mediante un DDC. Este receptor utiliza la tarjeta de audio del ordenador para realizar el procesamiento DSP. Los modos de operación disponibles son AM, AMN, AMS, LSB, USB, CW, FM3, FM6, o FMN.



Figura a2.7.- WR-G305i

Fuente: www.Winradio.com

WR-G305e. (750 euros).

El WR-G305e es la versión externa (con interfaz USB) del WR-G305i siendo su rendimiento idéntico

WR-G315i. (2300 euros).

Receptor VHF/UHF con un espectro de trabajo de 9 KHz a 1,8 GHz, pudiendo alcanzar 3,5 GHz usando un extensor de frecuencia y un multiplexor de antenas, viene con conector PCI para ser instalado en un PC. Proporciona un ancho de banda FI variable de 1 Hz a 15 KHz (con incrementos de 1 Hz), un analizador de espectro de tiempo real de 20 kHz con resolución de 16 Hz, con supresor de ruido y filtro tipo Notch. También cuenta con una grabadora integrada que permite grabar y reproducir la señal recibida. Al igual que otros receptores de la serie G3, el WR-G315i también puede grabar el espectro FI completo de 20 kHz de ancho. A diferencia de la serie WR-G305 este modelo cuenta con su propio DSP y no depende de la tarjeta de audio del PC; la digitalización se realiza en el mismo receptor utilizando un convertidor analógico-digital.

El receptor cuenta con varias funciones de medición como por ejemplo, de exactitud de la frecuencia recibida, profundidad de modulación, desviación de frecuencia, distorsión armónica total (THD) y SINAD. El sistema también incorpora un analizador de espectro de audio lo que hace posible observar el espectro demodulado en tiempo real con una resolución 5 Hz.

WR-G315e. (2250 euros).

Esta es una versión externa (con interfaz USB) del WR-G315i con características similares. Permite conectar varios receptores a un mismo PC.



Figura a2.8.-WR-G315e

Fuente: Winradio.

WR-G39DDCi 'EXCELSIOR'. (4600 euros).

El receptor WinRADIO WR-G39DDCi 'EXCELSIOR' (figura a2.9) es un equipo para HF/VHF/UHF/SHF, el ancho de banda de trabajo está comprendido entre 9 KHz y 3,5 GHz, dispone de dos canales de 4 MHz de ancho de banda, disponibles para grabación o para otro tipo de procesamiento digital, más un analizador de espectro de 16 MHz en tiempo real. Este receptor está diseñado para ser instalado dentro de un PC.



Figura a2.9.- WR-G39DDCi 'EXCELSIOR'
Fuente: Winradio.

Resumen de características:

- Rango de frecuencia de 9 KHz a 3,5 GHz
- Velocidad de barrido ultra-rápida de 1 GHz/s
- Dos canales de recepción independientes
- Analizador de espectro en tiempo real de hasta 16 MHz de ancho
- Analizador de espectro de ancho ilimitado
- Analizador de espectro de audio
- Grabación de audio y de DDC
- Alta sensibilidad
- Excelente rango dinámico
- Salida de frecuencia intermedia IF (70 MHz)
- Puerto de entrada de referencia (10 MHz)
- Interfaz PCI-e bus

WR-G39DDCe 'EXCELSIOR'. (4700 euros).

Este receptor WR-G39DDCe 'EXCELSIOR' (figura a2.10) tiene las mismas características que el modelo WR-G39DDCi 'EXCELSIOR', pero su montaje es externo con conexión USB con el PC.



Figura a2.10.- WR-G39DDCe 'EXCELSIOR'
Fuente: Winradio.

A2.3. FLEXRADIO SYSTEM.

Este fabricante ofrece varios equipos muy interesantes para trabajar con la radio definida por software. Podemos destacar:

- FLEX 1500.
- FLEX 5000.
- FLEX 6500.

FLEX 1500. (830 euros).

FLEX-1500 (figura a2.11) es un transceptor, con potencia de transmisión de 5 w, que puede trabajar en modo QRP1, para VHF, UHF o microondas que no se precisa tarjeta de sonido externa para la conversión AD y D/A. Cuenta con un preamplificador de elevada ganancia para aumentar la sensibilidad y bajo ruido y un atenuador para mejorar el margen dinámico de bloqueo.



*Figura a2.11.- Flex 1500
Fuente: FlexRadio System.*

Características:

- Rango de frecuencias en recepción: 490 kHz – 54 MHz.
- Rango dinámico de 3r orden, doble tono, espaciado 2 kHz, @ 14 MHz: superior a 80 dB.
- Margen de TX: Segmentos de las bandas de radioaficionado de HF y 6m.
- Recepción simultanea de 2 frecuencias
- Margen de RX: Cobertura general.
- Convertidores A/D y D/A funcionando con una tasa de muestreo a 48 kHz.
- Equipo de prueba incorporado (BITE) para calibración sin complicaciones.
- Múltiples salidas de RF, tanto para tranversor como para funcionamiento autónomo en QRP.
- Entrada separada para recepción, para uso como FI de transversores o equipo QRP.
- Preamplificador de RF de alta ganancia y bajo ruido para mejorar la sensibilidad en las bandas altas.

¹ Un equipo transmisor QRP es aquel que tiene una potencia de salida en la etapa amplificadora final que alimenta la antena, de un máximo de 5 W (vatios).

FLEX 5000. (3500 euros).

Este transceptor trabaja en las bandas de HF y de 6 metros, con potencia de transmisión ajustable hasta 100 vatios para el modelo FLEX-5000A, o 300 vatios para el modelo FLEX-5000D.

Al igual que el FLEX 1500 incorpora su propia DSP por lo que no precisa tarjeta de sonido externa para la conversión AD y D/A. Dispone de un procesador Intel Core A bajo sistema operativo Windows. El software SDR del ordenador externo controla la frecuencia del oscilador de conversión del equipo, y por tanto, su sintonía, así como la selección de modos, filtros de banda, etc. Mientras que el trabajo de procesamiento de las señales I y Q lo realiza la unidad DSP incorporada en el transceptor, haciendo innecesario el concurso de la tarjeta de sonido del ordenador externo, el transceptor envía muestras de las señales I y Q a través de una conexión Firewire al ordenador externo para que el programa SDR pueda realizar las funciones de visualización del espectro y de sintonía de señales.

Este equipo incorpora conexión para ratón y teclado inalámbrico, e incluso en los modelos de la serie D, dispone de pantalla táctil integrada, y varias tomas de antenas, de micrófono, altavoz y manipulador telegráfico.

- 105 dB en de rango dinámico en pasos de 2 kHz
- Estabilidad de frecuencia: 0,5 ppm, TCXO
- Filtros de paso de banda para las bandas
- Supervisión del espectro de transmisor
- Preparado para SO2R con segundo receptor
- FlexWire™ para el control de rotadores, antena, etc.
- 100 vatios de salida 160 a 6 metros (Modelo FLEX-5000A)
- 300 vatios de salida 160 a 6 metros (Modelo FLEX-5000D)
- Receptor Cobertura General
- Full Duplex

FLEX 6500 (4779 euros).

Pertenciente a la serie 6000, esta sustituye a la 5000. El FLEX 6500 (figura a2.12) una instalación “plug and play”. No necesita drivers o tarjetas de interfaz adicionales. Solo hay que conectarlo a la antena, aun ordenador y a una red local. Incorpora el software programa SmartSDR para la gestión del equipo.



*Figura a2.12.- Flex 5000
Fuente: FlexRadio System.*

ANEXO 3. MICROCONTROLADOR ARDUINO MEGA 2560.

Las características principales del Mega 2560 son:

- Microprocesador ATmega2560
- 54 líneas de Entradas/Salidas Digitales:
 - o 15 de ellas pueden ser utilizadas como salidas PWM.
 - o 16 Entradas Analógicas.
- Intensidad máxima en las salidas de 40 mA.
- Intensidad máxima en las entradas de 40 mA.
- Salida de alimentación a 3.3V con 50 mA.
- Memoria de programa de 256Kb (el bootloader ocupa 8Kb).
- Memoria SRAM de 8Kb para datos y variables del programa.
- Memoria EEPROM de 4Kb para datos y variables no volátiles.
- Velocidad del reloj de 16MHz.
- Tensión de alimentación (recomendado) 7-12V.
- Integra regulación y estabilización de +5Vcc.

Alimentación.

Esta tarjeta se puede alimentar tanto por el puerto USB como por el conector de alimentación, con positivo en pin central, que monta en la placa. La fuente de alimentación utilizada es seleccionada automáticamente por la tarjeta.

La alimentación de entrada debe estar comprendida entre 7 y 12 voltios DC, con tensiones inferiores a 7 VDC se puede provocar inestabilidad en el sistema y con tensiones superiores a 12 VDC problemas de calentamiento.

Monta un fusible autoreinicializable que protege la conexión USB del PC de sobrecargas. El fusible corta automáticamente la corriente de entrada en la tarjeta, en caso de superar los 500mA de consumo por el puerto USB, la el consumo de corriente se interrumpirá hasta que se restablezca un consumo menor a 500 mA.

Pines de tensión de la tarjeta:

- VIN. Es la entrada de voltaje a la placa Arduino cuando se está usando una fuente externa de alimentación. Se puede alimentar a la tarjeta a través de este pin, o a través de la tensión proporcionada por el conector de 2.1mm.
- 5V. Es la fuente de voltaje estabilizado usado para alimentar el micro controlador y otros componentes de la placa. Esta puede provenir de VIN a través de un regulador integrado en la placa, o proporcionada directamente por el USB.
- 3V3. Es una fuente de voltaje de 3.3 voltios generada por un regulador integrado en la placa. La corriente máxima que suministra es de 50mA.
- GND. Pines de toma de tierra.

Entradas y Salidas. (Pin auto Arduino Mega2560 (Figura 7.5)).

54 entradas/salidas configurables, con tensión de trabajo de 5 VDC con una intensidad máx. de 40 mA.

Las entradas del micro cuentan con resistencias de pull-up, conectables por software.

16 entradas analógicas, estas tiene una resolución de 10 bits (1024 valores). Por defecto se mide desde 0V a 5V, aunque es posible cambiar la cota superior de este rango usando el pin AREF y la función analogReference().

PWM: de 0 a 13. Proporciona una salida PWM (modulación por ancho de pulso) de 8 bits de resolución (valores de 0 a 255).

ICSP: 50 (SS), 51 (MOSI), 52 (MISO), 53 (SCK). Estos pines proporcionan comunicación ICSP.

4 puertos serie.

I2C: 20 (SDA) y 21 (SCL). Soporte para el protocolo de comunicaciones I2C.

Memoria.

256 Kb de memoria tipo flash para el programa, de estos 8Kb se reservan para el bootloader (el gestor de arranque del sistema)

8 Kb de memoria SRAM para trabajo.

4KB de EEPROM.

Comunicaciones.

4 puertos serie:

- Serie 0: 0 (RX) y 1 (TX).
- Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX).
- Serie 2: 17 (RX) y 16 (TX).
- Serie 3: 15 (RX) y 14 (TX).

Comunicación I2C (TWI) y SPI.

Programación

La plataforma Arduino se programa con un entorno interactivo de desarrollo (IDE). IDE (Integrated Development Environment) se basa en Processing y Wiring, estos son lenguajes de programación y entornos de desarrollo integrado de código abierto basado en Java de fácil utilización. En la placa de Arduino Mega el microcontrolador ATmega2560 viene pre programado con un bootloader (gestor de arranque) de aproximadamente 8 Kb, este se comunica utilizando protocolo STK500, permitiendo cargar un nuevo código sin necesidad de un programador por hardware externo.

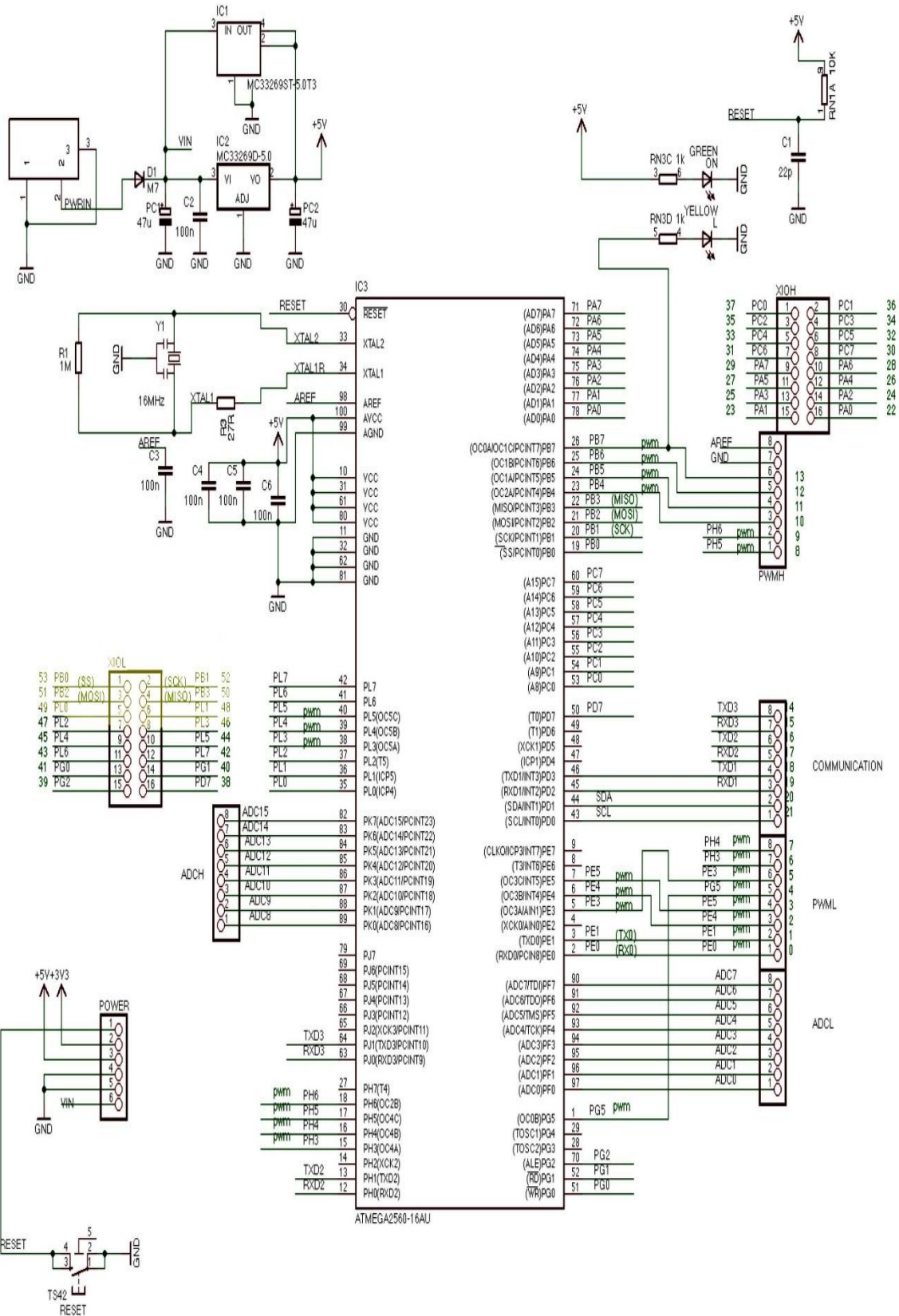


Figura a3.1.- Esquema eléctrico Arduino Mega2560 (arduino-info.wikispaces, 2015).

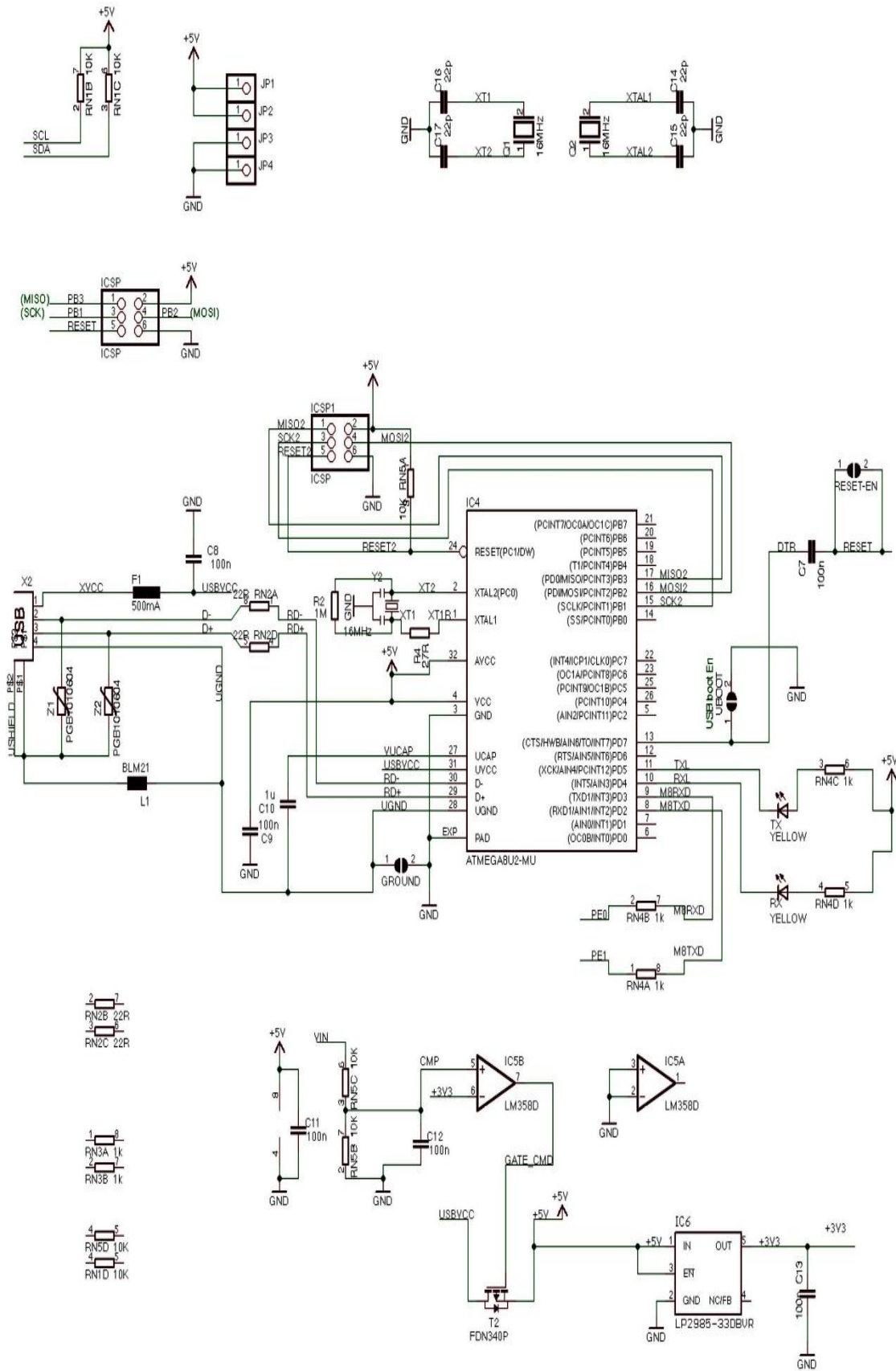


Figura a3.2.- Esquema eléctrico Arduino Mega2560 (arduino-info.wikispaces, 2015).

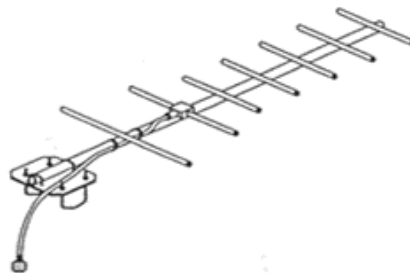
ANEXO 4. ANTENAS.

A4.1. YAGI-UDA.

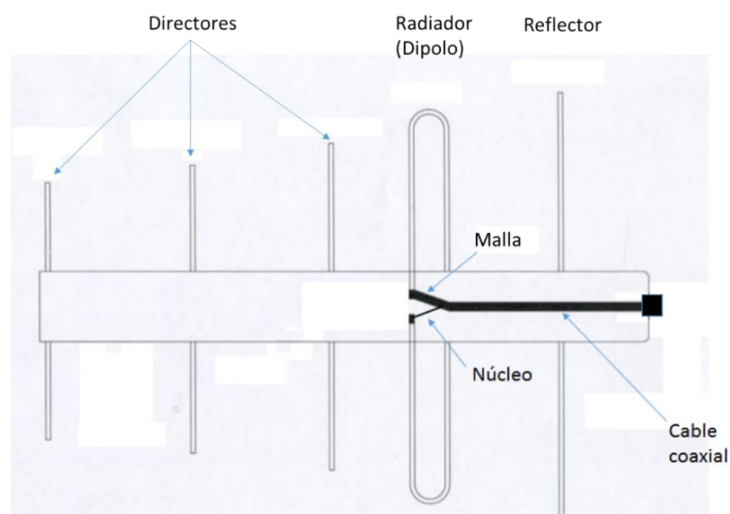
Esta antena, que se ha consolidado a través de los años, fue creada y patentada en 1926 por el doctor Hidetsugu Yagi, de la Universidad de Tokio.

Una antena Yagi (Xue, 2002) está constituida por tres elementos principales (figura a4.1):

- Radiador, es el elemento alimentado conectado al emisor o al receptor, formado por un simple dipolo o un dipolo doblado
- Directores, pueden ser uno o varios elementos aislados también llamados elementos parásitos. Estos están situados delante del radiador, refuerzan el campo hacia adelante y se llaman directores.
- Reflector, es el elemento situado detrás del radiador, es también pasivo al igual que los directores y proporciona ganancia de potencia en el sentido dirigido desde el radiador hasta él. Tienen mayor longitud que el dipolo. Y su cometido es de actuar como elemento de reflexión de la señal, usualmente se construye con forma de red metálica plegada en V.



*Figura a4.1.- Antena Yagi.
Fuente wordpress*



*Figura a4.2- Elementos de antena Yagi.
Fuente: propia.*

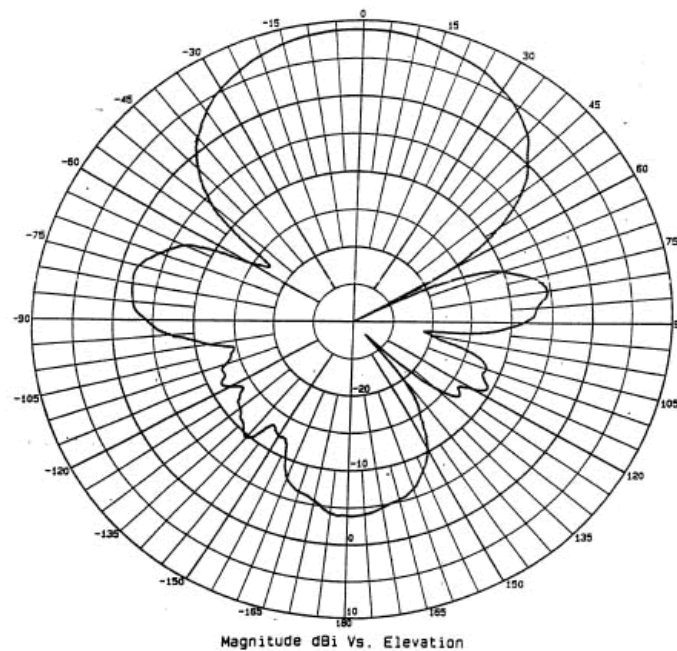
Su funcionamiento se basa en una corriente que circula en el elemento alimentado irradiando un campo electromagnético, el cual induce corrientes en los directores de la antenna. Las corrientes inducidas en estos elementos irradian también campos electromagnéticos que a su vez inducen corrientes en los demás. Finalmente la corriente que circula en cada uno de los elementos es el resultado de la interacción entre todos los elementos. La fase y la amplitud de la corriente que circula en el elemento director dependerán de la distancia entre los dos elementos y de la longitud y diámetro de este último.

Por cada director que se incrementa en 1dB la ganancia al conjunto, esto provoca una disminución del ancho de banda de la antenna y un haz de recepción más estrecho. A partir de 5 elementos en la antenna, contando directores, dipolo y reflector, el resto de elementos aumentara la ganancia de la antenna en 0,5 aproximadamente.

Son antenas adecuadas para frecuencias de VHF y superiores.



*Figura a4.3.- Antena Yagi con dipolo plegado.
Fuente wordpress*



*Figura 7 a4.4.- Patrón de tradición tipo de antenna Yagi.
Fuente: citddis*

A4.2. LOGARITMO PERIODICA.

La antena logaritmo-periódica (figura a4.5) tiene características constructivas similares a la Yagi-Uda, su principal diferencia se debe a que las separaciones entre elementos y las longitudes de estos siguen una variación logarítmica en vez de lineal. La longitud del elemento horizontal y el número de elementos transversales determinan el ancho de banda y la direccionalidad de la antena.

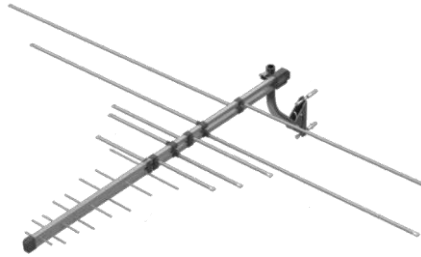


Figura a4.5.- Antena logaritmo-periódica.

Fuente: www.citddis

Este tipo de antenas tiene parámetros de impedancia que están en función periódica del logaritmo de la frecuencia de operación. La distribución de potencia, el patrón de radiación y la ganancia de la antena, entre otros factores importantes, también presentan el mismo tipo de comportamiento.

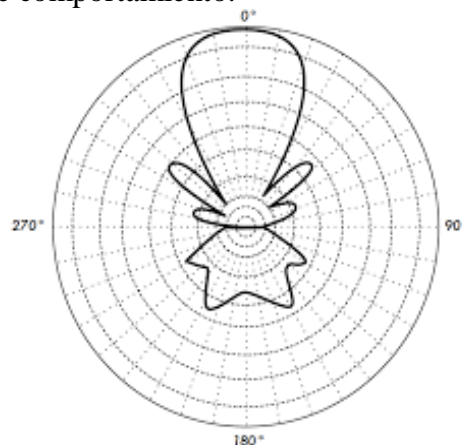


Figura a4.6.- Patrón de radiación tipo de antena Logaritmo-periódica.

Fuente: www.citddis

En este tipo de antena a diferencia de las Yagi, todos sus elementos están excitados, gracias a esto se consigue un ancho de banda mayor y una impedancia pareja dentro de todas las frecuencias de trabajo de esta antena.

La antena receptora de la señal o su región activa cambia continuamente dependiendo de la frecuencia, donde en la frecuencia más baja de operación, el elemento largo es el resonante y el resto de elementos actúan como directores. En la frecuencia más alta, el elemento más corto resuena y los otros elementos, de mayor longitud, actúan como reflectores en el centro de la banda de frecuencia.

Con este tipo de antenas se obtienen hasta 10 dB más de ganancia que una antena de $1/4$ de longitud de onda, a la vez que pueden atenuar hasta 30 dB fuentes de interferencia provenientes de otras direcciones. Se utilizan principalmente para transmitir y recibir señales de VHF y superiores.

A4.3. PARABOLICA.

Este tipo de antena se caracteriza por incorporar un plato parabólico en su parte posterior (figura a4.7).



Figura a.4.7.- Antena parabólica.

Fuente: www.emitek

Sus características principales son su alta ganancia y directividad. Se utilizan principalmente para las frecuencias de UHF y superiores.

Este tipo de antena se compone de dos partes principales: un reflector parabólico y elemento activo llamado elemento alimentado, este es la antena principal (por lo general un dipolo), que recoge las ondas procedentes del plato o reflector. El reflector es un dispositivo pasivo que refleja la energía captada concentrándola, de manera que todas las ondas individuales lleguen en fase al elemento alimentado.

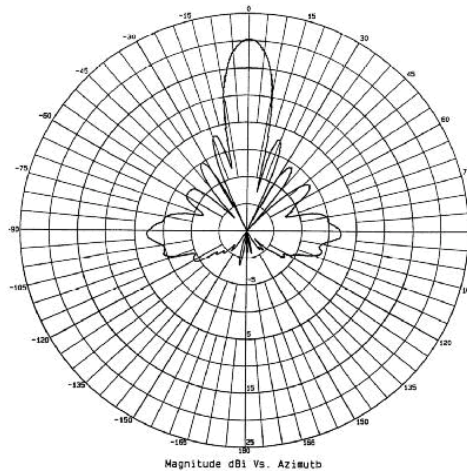


Figura a4.8.- Patrón de tradición tipo de antena parabólica.

Fuente: www.citddis

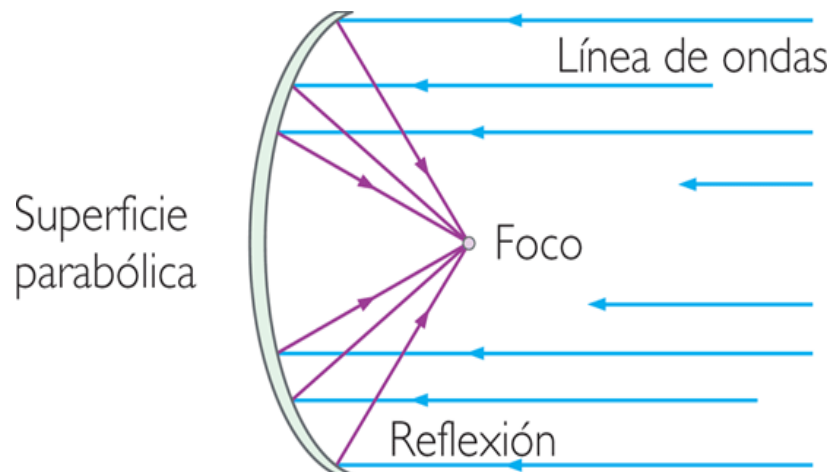
Normalmente existe la necesidad de recibir frecuencias superiores a las que el receptor o el cableado pueden aceptar, para poder ampliar el ancho de banda de trabajo. Se instala como elemento alimentado llamado bloque de bajo ruido (LNB – Low Noise Block). El LNB convierte señales de frecuencias pertenecientes a la banda C o Ku en frecuencias de menores. A la frecuencia obtenida se le denomina Frecuencia Intermedia (FI).

Por ejemplo para la recepciones de Tv-Satélite La banda de FI elegida para el reparto se denomina banda "L" y está comprendida entre 950 MHz y 2.150 MHz. Dado que la banda Ku tiene 2.05 GHz de ancho de banda (10,7 a 12,75 GHz) es evidente que no se puede convertir a la banda de 950 a 2.150 MHz (1,2 GHz de diferencia), por lo que existe una subdivisión de aquella en dos sub-bandas, denominadas Banda Baja (10,7 a 11,7 GHz) y Banda Alta (11,7 a 12,75 GHz).

Según su diseño constructivo, existen 3 tipos principales de antenas parabólicas (Maan891, 2015):

Tipo: Foco centrado.

En este tipo de antena parabólica (figura a4.9) el foco está ubicado en el punto central del plato como indica su nombre, lo cual le brinda una perfecta simetría y un rendimiento cercano al 60% permitiendo que una gran cantidad de energía sea conservada; aunque hay un porcentaje de señal que se pierde, debido a la ubicación del foco, este produce sombra y causa interferencia en la señal.

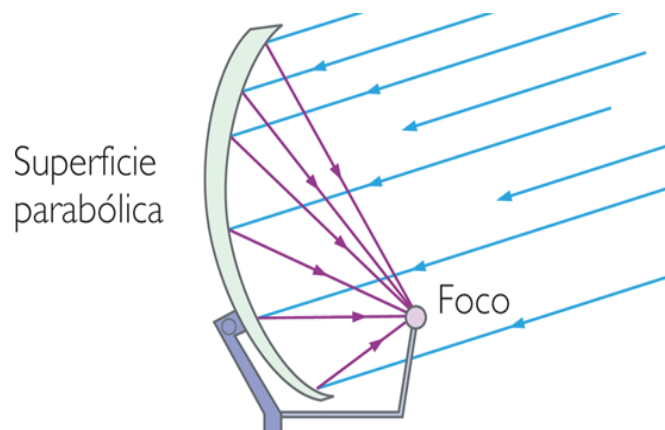


*Figura a4.9.- Antena parabólica de foco centrado.
Fuente: wordpress.com*

Otro factor de diseño que significa una desventaja es la presencia de varillas sobre el plato cuyo objetivo es servir de soporte al LNB. No obstante, debido a que pueden llegar a ser de gran tamaño (0.9m hasta 1,5m), se realiza de manera más efectiva la captación de señales y la interferencia se hace menor.

Tipo: Offset.

Este tipo de antenas (figura a4.9) aunque se encuentra dentro de las antenas parabólicas su forma no corresponde exactamente con una de este tipo, ya que cuentan con un diseño de plato elíptico, en este sentido su estructura deja de ser simétrica y en consecuencia el punto focal queda desplazado hacia un lado del plato, de aquí el nombre offset.



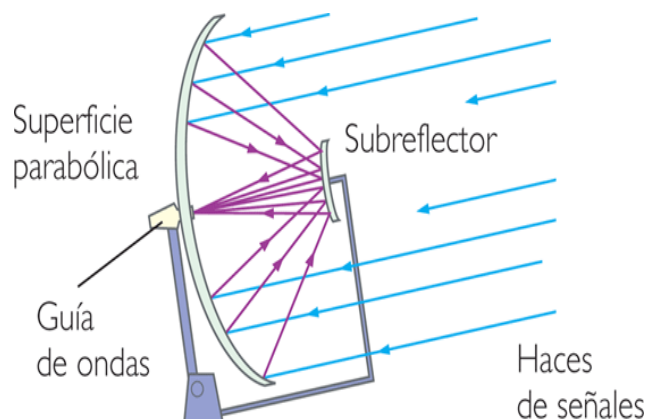
*Figura a4.9.- Antena parabólica de foco Offset.
Fuente: wordpress.com*

Esta orientación del foco se convierte en una ventaja al eliminar las zonas de sombra que aparecen en los diseños de foco primario, lo cual provee de mayor calidad y limpieza a la señal captada ofreciendo un rendimiento mayor al 70%. Desde el punto de vista técnico la ganancia de la antena es mucho mayor, además deja de producirse el llamado desacoplamiento de impedancia ocasionado por las ondas que se ubican en la trayectoria del alimentador, para ello el LNB está sustentado por un brazo que proviene de la parte inferior del plato.

Este es el tipo de antena parabólicas montadas en el demostrador de conceptos de radiofrecuencias.

Tipo: Cassegrain.

Su nombre se debe a su creador Laurent Cassegrain y constituye una variante mejorada del telescopio de igual nombre construido por él en el año 1672. A diferencia de las anteriores esta clase de antena (figura a4.10) consta de dos reflectores, uno con forma paraboloidal y otro hiperboloidal, el primero es iluminado por las ondas planas entrantes produciendo una reflexión hacia el foco primario en donde coincide además el foco del reflector secundario.



*Figura a4.10.- Antena parabólica tipo Cassegrain.
Fuente: wordpress.com*

Este último produce una reflexión en dirección al subreflector donde el alimentador recibe ondas de tipo esféricas. Este principio en apariencia complejo, resuelve el problema de eficiencia para transmisiones satelitales, exentas además de grandes pérdidas, cross-polarización así como otros relacionados con el coeficiente de radiación. Gracias a esto la ganancia aumenta hasta 1 decibelio debido a que la iluminación se realiza con mayor eficiencia.

A4.4. ANTENA DISCONO.

La antena discono es una versión de la antena bicónica (figura a4.11) en la que uno de los conos se sustituye por un disco. Se monta por lo general verticalmente, con el disco en la parte superior y el cono debajo de este.

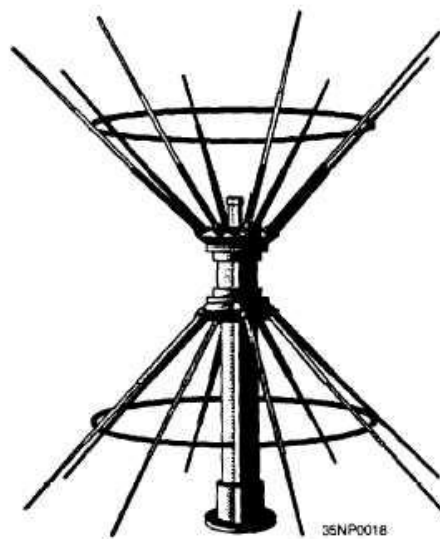


Figura a4.11.- Antena bicónica.

Fuente: ar15.com

Es un tipo de antena Omnidireccional, polarizada verticalmente y con ganancia similar a un dipolo, tiene un ancho de banda extremadamente alto, ofreciendo una relación de rango de frecuencia de hasta 10: 1. El patrón de radiación en el plano horizontal es bastante estrecho, por lo que su sensibilidad es más alta en la línea del horizonte y bastante menor para las señales procedentes de fuentes cercanas.

Su ROE típico es de 1,5.

Una antena discono consta de tres partes principales:

- Disco.
- Cono.
- Aislante.

Disco: El disco debe tener un diámetro de 0,7 veces un cuarto de longitud de onda de la frecuencia más baja de la antena. El punto de alimentación de la antena está en el centro del disco. Normalmente son antenas con una impedancia de 50 ohmios. Se suele montar con cable coaxial, conectando el núcleo al centro del disco y la maya al cono de la antena.

Cono: El ángulo de apertura está comprendido entre 25 y 40 grados. La longitud del cono debe ser un cuarto de longitud de onda más bajo de frecuencia de funcionamiento de la antena.

Aislante: El disco y el cono deben estar separados por un aislante, cuyas dimensiones determinan algunas de las propiedades de la antena, sobre todo en las frecuencias superiores de la antena.

El número óptimo de líneas que constituyen el disco y el cono está comprendido entre 8 a 16 elementos.

Antena discono D3000N (figura a4.12).

La antena D3000N (Diamond, 2015) es una opción perfecta para futuras investigaciones sobre fuentes fijas.

Esta antena está enfocada a los equipos de escaneo de frecuencias de gran ancho de banda sus características principales son:

- Ancho de banda en recepción de 25 a 3000 MHz reciben, (transmisión de 50-1200 MHz).
- Ganancia 2 dBi.
- Potencia máxima en transmisión:
 - o 144 MHz hasta 200 vatios
 - o 90 MHz 20 vatios.
- Número de brazos del disco 8.
- Numero de brazos del cono 8.
- Altura: 2,42 m.
- Conector N.



*Figura a4.12.- Antena discono D3000N.
Fuente: diamondantenna.net*

ANEXO. 5. CALCULOS COORDENADAS.

Para los cálculos de de posiciones solares se utilizo la siguiente hoja de cálculo:

COORDENADAS DEL CASEM						
LATITUD	36,3149	NORTE				
LONGITUD	-6,1243	ESTE	0,592222744			
CALCULO DE DECLINACION		http://www.solarweb.net/forosolar/formacion-energia-solar/3229-declinacion-solar.html				
DIA HOY	12/02/2016	valores sumar a dias			0	
HORA ACTUAL	10	29	Factor de correccion a declinacion de spencer			
					-0,0016	
Nº DE DIA	407,90	DIAS				
ANGULO DIARIO	401,33	GRADOS				
Cooper	DECLINACION	-14,30	GRADOS	DECLINACION	-14,38	GRADOS
	DECLINACION	-0,25	RADIANES	DECLINACION	-14,09	GRADOS
CALCULO ELEVACION		PAGINA 40				
		pdf PRACTICA 2 EJERCICIO 1				
HORA SOLAR	8	29				
ANGULO HORARIO	-52,75					
ELEVACION SOLAR	0,33	-1	-57,29577951		18,85	
	0,592222744	-0,24336929	0,8057743	0,969933702	0,605293988	
CALCULO AZIMUT		pdf PRACTICA 2 EJERCICIO 1 PAGINA 2				
AZIMUT SOLAR	0,510452139	2,2	126,0507149	0,872523694	29,24675323	
	359,82					
	36,31	180	270	360		
SENO	0,59	0,00	-1,00	0,00		
COSENO	0,81	-1,00	0,00	1,00		
	33,93					
					SENO LATITUD	0,59222274
					SENO ELEVACION	0,32303745
					SENO DECLINACION	-0,24336929
					COSENO LATITUD	0,8057743
					COSENO ELEVACION	0,94638618

