



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA MEDIR LAS PERTURBACIONES PRODUCIDAS POR LOS RAYOS ATMOSFÉRICOS Y TORMENTAS SOLARES EN LA IONÓSFERA BAJA.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

Montenegro Orozco Jefferson Andrés

jefferson.montenegro@outlook.com

Vásconez Vega Michael Stalin

michael.vasconez@gmail.com

**DIRECTOR: Ing. Kleber Reynaldo Vicente Romero.
vikle52@hotmail.com**

**CO-DIRECTOR: Dr. Jorge Andrés Rosales Acosta
andres.rosales@epn.edu.ec**

Quito, Noviembre del 2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Montenegro Orozco Jefferson Andrés y Vásquez Vega Michael Stalin, bajo mi supervisión.

Ing. Kleber Vicente
DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. Andrés Rosales
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, Montenegro Orozco Jefferson Andrés y Vásconez Vega Michael Stalin, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Montenegro Jefferson

Vásconez Michael

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. LA IONÓSFERA	1
1.3. TORMENTAS SOLARES	3
1.4. RAYOS ATMOSFÉRICOS.....	4
1.5. ESTUDIOS INTERNACIONALES DE SEÑALES VLF.....	5
1.5.1. PROYECTO AWESOME.....	5
1.5.1.1. INSTRUMENTACIÓN	6
1.5.2. PROYECTO SAVNET	7
1.5.2.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO INTERNACIONAL.....	8
1.5.2.2. INSTRUMENTACIÓN	9
1.6. VLF OAQ	10
1.6.1. ANTENA RECEPTORA.....	10
1.6.2. ACONDICIONAMIENTO Y FILTRADO MEDIANTE AMPLIFICADORES OPERACIONALES	13
1.6.2.1. AMPLIFICADORES OPERACIONALES.....	13
1.6.2.2. ACOPLADORES DE IMPEDANCIA	15
1.6.3. AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN	16
1.6.3.1. FILTROS.....	18
1.6.3.2. AMPLIFICADOR CONFIGURACIÓN INVERSOR.....	21
1.6.4. FUENTES DE ALIMENTACIÓN	22

1.6.4.1. TRANSFORMACIÓN.....	23
1.6.4.2. RECTIFICACIÓN.....	24
1.6.4.3. FILTRO DEL RIZADO DE VOLTAJE.....	25
1.6.4.4. REGULACIÓN.....	26
1.6.5. PROCESAMIENTO Y VISUALIZACIÓN.....	27
1.6.5.1. ESPECTROGRAMAS.....	27
1.6.5.2. DIAGRAMAS DE FASE Y AMPLITUD.....	31
1.6.6. GEO-POSICIONAMIENTO.....	33
1.6.7. SOFTWARE LABVIEW.....	36
1.6.7.1. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS NI DAQ.....	37
CAPÍTULO 2.....	41
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN PROCESAMIENTO Y GEO-POSICIONAMIENTO.....	41
2.1. CALCULO DEL SENSOR (ANTENA).....	41
2.1.1. INDUCTANCIA DE LAZO.....	42
2.1.2. RESISTENCIA DE RADIACIÓN.....	43
2.1.3. RESISTENCIA DC DEL CONDUCTOR.....	43
2.1.4. RESISTENCIA AC DEL CONDUCTOR.....	44
2.1.5. RESISTENCIA TOTAL DEL LAZO.....	45
2.1.6. CAPACITANCIA EXPERIMENTAL DEL LAZO.....	45
2.1.7. CIRCUITO EQUIVALENTE.....	45
2.1.8. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.....	46
2.2. SELECCIÓN ENTRE TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y PUERTO MIC-IN DEL COMPUTADOR UTILIZANDO EL MÉTODO DE CRITERIOS PONDERADOS.....	48

2.3. CONSTRUCCIÓN DEL SENSOR (ANTENA).....	52
2.4. AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN	54
2.4.1. PREAMPLIFICADOR ANTENA ESTE - OESTE	54
2.4.2. PREAMPLIFICADOR ANTENA NORTE - SUR.....	56
2.5. DISEÑO DE FILTROS	57
2.5.1. FILTROS PASABANDA.....	57
2.5.1.1. FILTRO DE BANDA ANCHA	59
2.5.2. FILTRO ANTIALIASING	63
2.6. DISEÑO DE LAS FUENTES DC.....	64
2.7. SISTEMA DE GEOPOSICIONAMIENTO	67
CAPÍTULO 3	70
3. DESARROLLO DEL HMI E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA.....	70
3.1. INTERFAZ VISUAL.....	70
3.1.1. Página Principal.....	70
3.1.2. Espectrograma a tiempo real.....	71
3.1.3. Espectrograma x 5 minutos.	72
3.1.4. Espectrograma x días.....	73
3.1.5. Diagramas de fase y amplitud	75
3.2. PROGRAMA PRINCIPAL	77
3.2.1. ESTRUCTURA WHILE.....	78
3.2.2. Estructura Case	78
3.2.3. COMUNICACIÓN SERIAL Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PROVENIENTE DEL GPS.....	79
3.2.4. SUBVI "ADQUISICIÓN_ALMACENAMIENTO"	82
3.2.4.1. ADQUISICIÓN DE DATOS	82

3.2.4.2. FILTRADO Y SELECCIÓN DE SEÑALES.....	84
3.2.4.3. DIRECCIONAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE LAS SEÑALES. 86	
3.2.5. CONTROL DE CASOS.....	90
3.2.5.1. TAB CONTROL	91
3.2.5.2. RING MENÚ	92
3.2.6. DISEÑO DEL ESPECTROGRAMA	93
3.2.7. DIAGRAMA DE AMPLITUD	96
3.2.8. DIAGRAMA DE FASE	98
CAPÍTULO 4	102
4. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	102
4.1. PRUEBAS DEL SENSOR ANTENA	102
4.1.1. MEDICIÓN DIFERENCIAL DE LA SEÑAL DE LA ANTENA	106
4.2. COMUNICACIÓN SERIAL PC-GPS	109
4.3. DIAGRAMAS DE FASE Y AMPLITUD.....	111
4.4. ESPECTROGRAMAS.....	113
CAPÍTULO 5	117
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
6. Bibliografía	120
7. ANEXO 1.....	122
7.1. MANUAL DE USUARIO.....	122
7.1.1. INSTALACIÓN.....	122
7.1.2. CONFIGURACIÓN	122
7.1.3. MODO DE USO.....	122

RESUMEN

El presente proyecto comprende la adquisición, procesamiento y despliegue de espectrogramas, diagramas de fase y amplitud, de todas las señales de muy baja frecuencia, enviadas por transmisores dedicados, que se emplean para el estudio de la ionósfera baja. Esta antena es de tipo lazo cuadrado, el procesamiento por hardware se realiza mediante filtros pasabanda. El método de adquisición de datos al computador es mediante la tarjeta de adquisición de datos DAQ de National Instruments.

Además, de manera que se pueda detallar la información desde el punto exacto de sensado y para sincronizar los datos, se utiliza un GPS del cual se obtiene la posición geográfica, la fecha y la hora UTC.

En el computador, mediante el software LabView, se realiza el procesamiento de cada señal mediante filtros digitales y diversas herramientas que permiten que la información pueda ser mostrada de una manera más sencilla en un HMI. Tomando en cuenta que la información podrá ser visualizada gráficamente en éste, además de permitir una consulta de la información en una base de datos. De esta manera se pueden establecer comparaciones de las señales captadas en diferentes instancias y épocas del año.

Todos los objetivos, así como el alcance planteados, fueron cumplidos a cabalidad, tal como se muestra a lo largo del presente proyecto.

PRESENTACIÓN

El presente documento está organizado de la siguiente manera:

En el primer capítulo se describe el marco teórico de los fenómenos físicos que ocurren en la ionósfera baja, los proyectos dedicados a los estudios de dichos fenómenos y la instrumentación necesaria para el desarrollo del sistema.

En el segundo capítulo se explica el diseño del sensor, el desarrollo de las etapas de acondicionamiento y filtrado de las señales provenientes de la antena, además del acondicionamiento de las señales de geo-posicionamiento, detallando cálculos, diagramas circuitales, así como la construcción del equipo.

En el tercer capítulo se explica el desarrollo en lenguaje de alto nivel del programa de procesamiento y la implementación de la interfaz gráfica HMI.

En el cuarto capítulo se realizan pruebas y comparaciones entre los resultados obtenidos por el sistema y proyectos similares, validando el correcto funcionamiento del equipo.

En el quinto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones del desarrollo del sistema.

CAPÍTULO 1

1.MARCO TEÓRICO

1.1.INTRODUCCIÓN

El presente proyecto abarca varios ámbitos, los cuales serán descritos en este capítulo fundamentando las bases teóricas y permitiendo abrir el conocimiento de todos los aspectos físicos y tecnológicos que forman parte del sistema para medir las perturbaciones causadas por los rayos atmosféricos y tormentas solares en la ionósfera baja.

1.2.LA IONÓSFERA

La ionósfera es una de las capas de la atmósfera terrestre ubicada aproximadamente a 50 km de altitud de la superficie de la Tierra con un espesor que llega a los 2000 km de altitud, estas dimensiones son variables debido a su composición eléctrica, ya que cambia de acuerdo a la radiación solar que incide sobre ella.

La ionósfera es importante en las telecomunicaciones, por sus cualidades eléctricas, es utilizada como espejo de las frecuencias enviadas hacia ella, permitiendo que las señales alcancen mayores distancias.

Por su utilidad la ionósfera es estudiada constantemente por algunos países, de los cuales el Ecuador forma parte, de manera que se han ubicado transmisores y receptores a nivel mundial que envían y reciben señales de VLF (muy baja frecuencia) que no afectan las comunicaciones, permitiendo realizar estudios de los efectos que producen las tormentas solares y los rayos atmosféricos en la ionósfera baja.



Figura 1. Ionósfera utilizada como reflector de señales. [1]

Mediante los estudios realizados se ha dividido a la ionósfera en diferentes capas, a continuación se describirá brevemente las capas que influyen en las comunicaciones:

- **CAPA F:**
Es la capa más lejana a la superficie terrestre aproximadamente a 125km, la misma que se divide en F1 y F2, la F1 no es muy buena como reflector de frecuencias, mientras que la F2 si lo es; sirve como reflector y su comportamiento es muy irregular debido a que sobre la misma influyen muchos factores, como las estaciones del año, si es de día o de noche, además del clima solar.
- **CAPA E:**
Esta capa es intermedia está entre los 90km a 125km de la superficie terrestre, es directamente proporcional a la radiación solar, alcanzando su mayor dimensión durante el día y su menor en la noche, no depende del clima solar.
- **CAPA D:**
Es la capa más cercana a la superficie terrestre de 50km a 90km, es similar a la capa E con la diferencia que absorbe toda señal que pasa por ella.

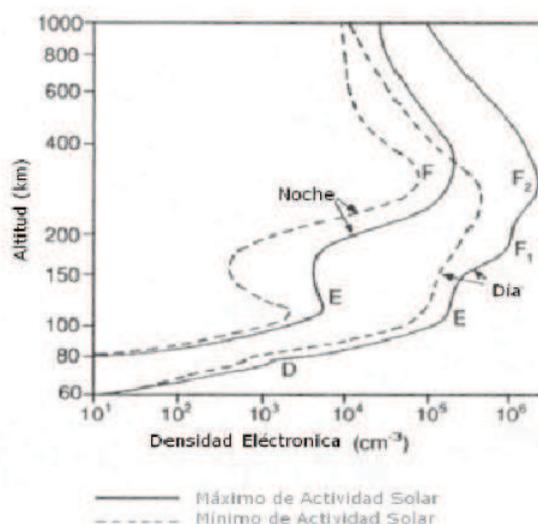


Figura 2. Variaciones durante el día y la noche en las capas de la Ionósfera. [2]

1.3.TORMENTAS SOLARES

Las tormentas solares son explosiones que ocurren en el Sol debido a la liberación de energía magnética, las mismas que alcanzan la ionósfera terrestre afectando las comunicaciones de HF. Este fenómeno ocurre sin previo aviso y de manera muy potente, por lo general se producen por la zona cercana a las manchas solares y su tiempo de duración puede ir desde minutos hasta horas.

Estas tormentas solares dependen del clima solar, ya que el Sol como estrella tiene ciclos de actividad, uno de estos es el ciclo de 11 años donde se producen las manchas solares y de acuerdo al número de éstas, se relaciona la intensidad de radiación que llega a la ionósfera cambiando su estructura de acuerdo al clima solar.

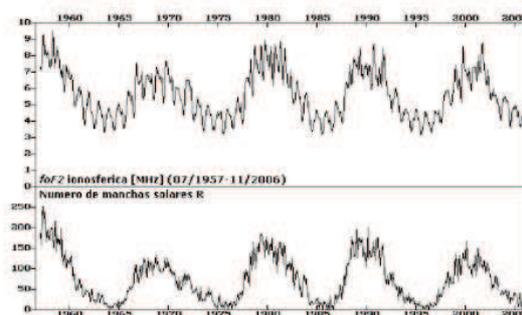


Figura 1.4: Valores mensuales de la frecuencia crítica $foF2$ de la capa **F2**, medido en Juliusruh, relacionado al número de manchas solares R. Adaptada de http://www.ionosonde.jap-kborn.de/mon_surv.htm.

Figura 3. Valores mensuales de la frecuencia crítica de la capa F [2]

El otro ciclo de actividad solar es el de 27 días, ya que en este tiempo se tarda el Sol rotar en su propio eje, mostrándonos así las diferentes manchas solares que existen en toda su superficie y de igual manera la cantidad de manchas solares en dirección a la Tierra.

1.4.RAYOS ATMOSFÉRICOS

Los rayos atmosféricos son el resultado de la descarga de la carga eléctrica libre en la atmósfera, por lo general positiva, y la superficie terrestre cargada negativamente.

La energía de rayos es fundamental para mantener la diferencia de potencial entre la Tierra y la ionósfera, la resonancia de Schumann trata acerca del efecto de las ondas electromagnéticas, su relación con la ionósfera y los rayos atmosféricos, ya que se produce una guía de ondas que causan una cavidad resonante en la banda VLF.

Principalmente las descargas eléctricas se producen de dos maneras:

- Por la diferencia de potencial que existen entre las nubes debido a su carga negativa en su base y a la carga positiva que tienen en su parte superior.
- La relación entre las cargas de la superficie terrestre y las nubes, debido a que la Tierra está cargada negativamente mientras que las nubes con su mayoría de carga positiva.

Los dos tipos de rayos se forman por la gran diferencia de potencial que sobrepasa el dieléctrico, en este caso vapor de agua o aire, que dan como resultado una perturbación en las señales del orden de miles de hercios.

Una vez ya descrita la parte teórica de los fenómenos físicos que intervienen en el sistema es necesario estudiar los campos involucrados en la parte técnica del proyecto a realizar.

1.5.ESTUDIOS INTERNACIONALES DE SEÑALES VLF

A nivel mundial se han desarrollado diferentes proyectos dedicados al estudio del clima espacial mediante las señales de muy baja frecuencia, a continuación se describe los proyectos en los cuales el Observatorio Astronómico se encuentra cooperando:

1.5.1.PROYECTO AWESOME

La Universidad de Stanford trabaja en el proyecto Atmospheric Weather Electromagnetic System for Observation Modeling and Education, el cual se basa en construir y operar receptores de muy baja frecuencia (VLF). Los datos obtenidos son utilizados en diversos experimentos y estudios sobre la ionosfera y la magnetosfera.

La Figura 4 muestra la ubicación de cada uno de los transmisores comúnmente registrados por los receptores AWESOME según su ubicación geográfica.

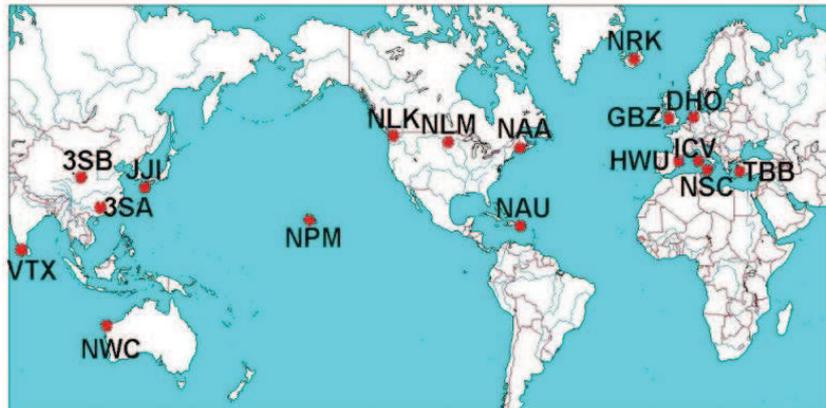


Figura 4. Transmisores registrados por AWESOME [3]

1.5.1.1. INSTRUMENTACIÓN

Componentes principales de una estación.

- Antenas (recepción) y cables.
- Pre-amplificador
- Receptor
- Computador y software.

En la etapa de pre-amplificación se utilizan transformadores de impedancia para acoplar la antena con la circuitería y posteriormente utilizar un amplificador de bajo ruido en el que se amplifica la señal requerida y se atenúa el ruido. También se tiene un supresor de interferencia de radio frecuencia en el que se atenúa las señales de estaciones de radio.

En el receptor se tiene un filtro elíptico pasa banda de orden 12 que tiene una frecuencia de corte de 47 kHz y la fuente de alimentación para la etapa de pre-amplificación y para la recepción.

Posteriormente los datos son procesados en el software Matlab para poder obtener diagramas y espectrogramas.

En las siguientes imágenes tomadas del proyecto AWESOME de la Universidad de Stanford se puede apreciar un espectrograma en el que se resalta la señal captada

por el transmisor NWC (Australia) y diagramas de fase y amplitud del transmisor NLK.

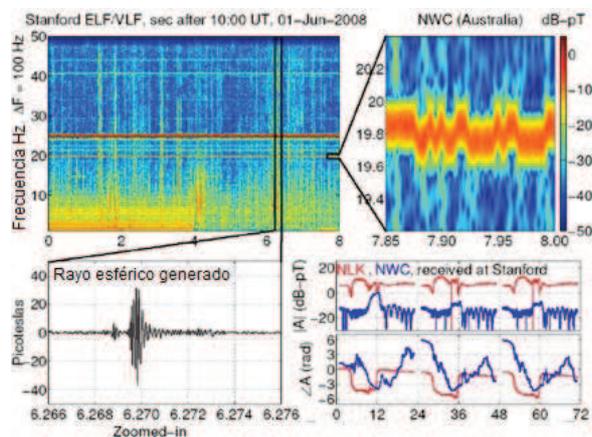


Figura 5. Espectrograma y detalle de una perturbación [3]

1.5.2.PROYECTO SAVNET

El proyecto consiste en la instalación de una red de antenas receptoras de ondas de muy baja frecuencia en América Latina y en la Antártica. SAVNET emplea las propiedades de la propagación de las ondas VLF, a través de la guía Tierra – capa D de la Ionosfera, para investigar fenómenos relacionados con la actividad solar, fenómenos atmosféricos y naturales. Las perturbaciones que se dan en esta guía de ondas dan como resultado una variación en la fase y amplitud de las mismas.

Actualmente, la red SAVNET dispone de 7 estaciones receptoras: Punta Lobos, Lima – Perú; Piura - Perú; Palmas, Tocantins - Brasil; Atibaia, São Paulo – Brasil; Santa María, Rio Grande do Sul – Brasil; CASLEO, San Juan – Argentina; Estación antártica brasileña Comandante Ferraz - "EACF"; ICA – Perú. Y con la instalación de este proyecto en Ecuador.



Figura 6. Distribución geográfica de las estaciones SAVNET [4]

La estación SAVNET-PLO capta señales mayoritariamente provenientes del Hemisferio Norte:

Estación	Frecuencia (KHz)	Lat / Long	Localización
NAA	24,00	44,65° N ; 67,3° W	USA
NWC	19,80	21,8° S ; 114,2° E	Australia
NAU	40,75	18,40° N ; -67,18° W	Puerto Rico – USA
NDK	25,20	46,35° N ; -98,33° W	USA
NPM	21,40	20,40° N ; -158,20° W	Hawai – USA
NLK	24,80	48,20° N ; -121,92° W	USA

Figura 7. Estaciones emisoras VLF captadas por la estación SAVNET-PLO [4]

1.5.2.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO INTERNACIONAL

- Estudio de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur.
- Estudio de Fenómenos Atmosféricos.

- Estudio de Fenómenos Naturales.
- Monitoreo de la actividad solar en corta y larga escala de tiempo.
- Estudio de la baja ionosfera (Capa C y D).

1.5.2.2. INSTRUMENTACIÓN

Cada estación receptora utiliza tres antenas:

- Una antena de tipo dipolo vertical
- Dos antenas de lazo
- Circuitos pre-amplificadores (uno para cada antena)
- Un receptor GPS
- Una tarjeta de adquisición de datos
- Un computador que utiliza un software decodificador llamado SoftPal (Software Phase and Amplitude Logger).



Figura 8. Antena tipo loop cuadrada – Proyecto SAVNET

1.6.VLF OAQ

Un sistema de adquisición y procesamiento de señales de muy baja frecuencia necesita de varios elementos inmiscuidos dentro de varias etapas, primeramente para captar las señales provenientes de los transmisores ubicados en diferentes países del mundo es necesario diseñar y construir un sensor (antena) que reúna las características suficientes para recibir la información requerida. Una vez captadas las señales, debe existir una etapa de acondicionamiento y filtrado, utilizando amplificadores operacionales, con el fin de seleccionar y resaltar la información útil de entre toda la captada.

Una vez que se tienen las señales adecuadas con las que se va a trabajar, es el momento de adquirir los datos a un computador mediante una tarjeta de adquisición de datos. Posteriormente la información debe ser procesada mediante un software computacional con la finalidad de interpretar de mejor manera los datos adquiridos. A continuación se explicará con mayor detalle cada uno de los componentes mencionados.

1.6.1.ANTENA RECEPTORA

Para la recepción de las señales de muy baja frecuencia (VLF) se requiere de grandes antenas o lazos de cable, lo cual significa que un conductor muy largo se enrolla varias veces, de manera que se forme cierta área. De ésta manera la antena se vuelve sensible al campo magnético, el cual induce corrientes en el alambre. Las antenas de lazo o tipo "loop" ofrecen una respuesta a la variación del flujo magnético de las señales VLF, generando una diferencia de potencial en los terminales de la antena.

La antena de lazo o anillo, sin importar su forma geométrica (circular, cuadrada) es equivalente a un dipolo magnético infinitesimal, en él sus ejes son perpendiculares al plano de la antena, ya que los campos radiados por una antena de lazo circular o cuadrada tienen la misma forma matemática que un dipolo magnético infinitesimal.

Por otra parte, las antenas de lazo por lo general son deficientes cuando están en modo emisor, esto se debe a que en su diseño es necesario el obtener una muy baja resistencia de radiación, además de que este tipo de antenas poseen un pobre rendimiento, por lo cual, son comúnmente utilizadas en modo receptor de frecuencias bajas.

Existen dos tipos de antena de lazo: la antena de lazo pequeño o lazo magnético, con un tamaño mucho menor que la longitud de onda, y la antena de lazo de resonancia con una circunferencia aproximadamente igual a la longitud de onda.

El campo electromagnético asociado a una onda plana polarizada puede ser modelado por dos campos planos similares de frecuencia (eléctrico y magnético), estos planos son perpendiculares entre sí. Si creamos y asociamos un campo eléctrico por un lado, y un campo magnético de la misma frecuencia, por otro lado, no vamos a obtener un campo electromagnético. El campo eléctrico y el campo magnético no tienen ninguna interacción y además disminuyen como el cuadrado de la distancia, mientras que un “verdadero” campo electromagnético disminuye como la distancia. Es la potencia por unidad de superficie de un campo electromagnético la que disminuye como el cuadrado de la distancia, ya que resulta de la fórmula de la superficie de una esfera.

Para obtener un flujo máximo, y por lo tanto un voltaje inducido máximo, el campo magnético debe ser ortogonal al plano del lazo. Así, para recoger un campo electromagnético plano polarizado, el lazo debe estar en el plano del campo eléctrico.

Entonces, si se requiere recoger una onda dirigida en sentido Este-Oeste (y por lo tanto, donde el campo magnético está en sentido Norte-Sur), el plano debe estar en el plano vertical Norte-Sur.

En la práctica, no se conoce la naturaleza de las numerosas ondas electromagnéticas de donde recogeremos el componente magnético: algunos pueden ser planas polarizadas, otros circular polarizada, elíptica polarizada o no

polarizadas. Incluso si se consideran sólo las ondas planas polarizadas, el plano de polarización (que es el plano de campo eléctrico) puede ser vertical, horizontal, o inclinada.

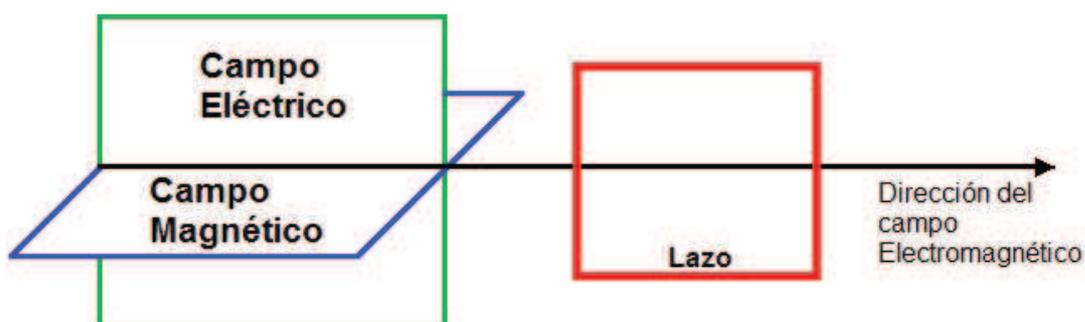
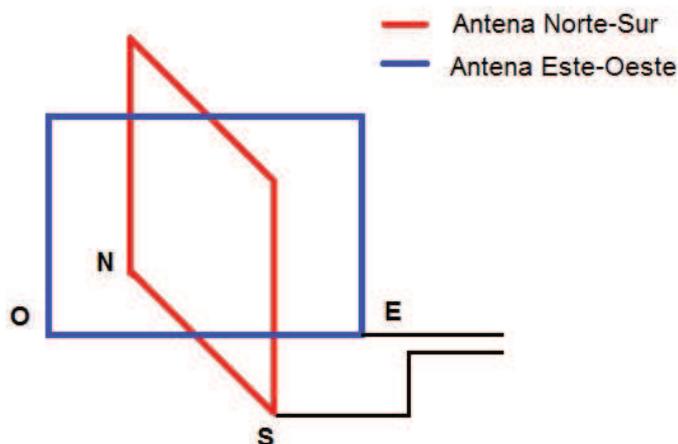


Figura 9. Esquema de la Antena y relación con los campos.

De manera general, para recoger campos magnéticos paralelos al piso de cualquier dirección, hay dos lazos orientados ortogonalmente uno con respecto al otro.



Figura

10. Configuración de una antena (VLF) de lazo magnético ortogonal de dos canales

Al diseñar y construir la antena es muy importante el hecho de no crear lazos cerrados con la estructura en la que se la montará, de manera que se evite la

formación de una antena parásita que interfiera con la función de la antena principal. Además, es importante que la antena sea colocada en un lugar alejado de fuentes de interferencia electromagnética como lo son las líneas de fuerza, generadores, etc.



Figura 11. Antena triangular de lazo ortogonal, Proyecto AWESOME. [3]

Posteriormente, la antena debe ser conectada a una etapa de acondicionamiento y filtrado, de manera que se colecte y amplifique las señales muy pequeñas provenientes de la antena, sin introducir ruido.

1.6.2. ACONDICIONAMIENTO Y FILTRADO MEDIANTE AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Para obtener una operación en la que exista una armonía entre la antena receptora y la circuitería, en primera instancia es imprescindible implementar un acoplamiento de impedancias. En el diseño se consideró utilizar amplificadores operacionales en cada una de las etapas: acoplamiento, pre-amplificación, filtrado y amplificación.

1.6.2.1. AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Un amplificador operacional es un circuito integrado que posee dos entradas, una positiva y una negativa, y una salida, la cual denota la multiplicación entre cierta ganancia determinada y la diferencia entre la tensión aplicada en cada terminal de entrada.

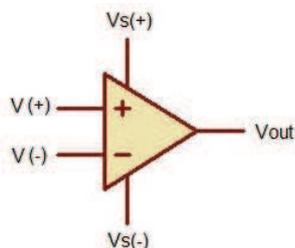


Figura 12. Esquema general de un amplificador operacional.

Detalle de terminales:

- $V(+)$ Entrada no inversora.
- $V(-)$ Entrada inversora.
- $Vs(+)$ Terminal de polarización positiva.
- $Vs(-)$ Terminal de polarización negativa.
- $Vout$ Salida del amplificador operacional.

La polaridad del voltaje de salida $Vout$ depende de la diferencia entre el voltaje aplicado en el terminal positivo y el voltaje aplicado en el terminal negativo. Así:

$$Vdif = V(+)-V(-) \quad (1.1)$$

Siendo entonces $Vout$ positivo cuando $Vdif$ resulte positivo ($V(+)>V(-)$), y negativo cuando $Vdif$ resulte negativo ($V(-)>V(+)$).

Los niveles de voltaje de polarización de los amplificadores operacionales varían de acuerdo al fabricante y a las características de cada encapsulado.

Un amplificador en sí, toma la señal de entrada y la amplifica manteniendo su forma de onda y frecuencia. La ganancia que se utilice funciona de igual manera con señales de continua o señales de alterna pero siempre y cuando se tenga en cuenta limitaciones como la saturación del elemento y la velocidad de respuesta, el cual denota la incapacidad del amplificador operacional para seguir variaciones rápidas

de las señales que se tienen en el terminal de entrada, existiendo una diferencia entre la señal de entrada y esta última.

Las características generales del amplificador operacional son:

- La ganancia de tensión de lazo abierto tiende a infinito.
- El ancho de banda tiene a infinito para bajas frecuencias.
- La impedancia de entrada es muy alta, del orden de megaohms.
- La impedancia de salida Z_{out} es muy baja, del orden de 1 ohm
- Las entradas apenas drenan corriente, por lo que no suponen una carga.
- La ganancia es muy alta.
- En lazo cerrado, las entradas inversora y no inversora son prácticamente iguales.

1.6.2.2. ACOPLADORES DE IMPEDANCIA

Los acopladores de impedancia tienen el objetivo de conseguir la máxima transferencia de potencia y eliminar caídas de voltaje entre circuitos amplificadores, osciladores, mezcladores, sistemas de transmisión y antenas. Una de las características principales de estos circuitos es que a la entrada de estos se tienen impedancias en el orden de los megaohmios (alta impedancia) logrando que el consumo de corriente de la fuente de señal, que puede ser un sensor u otro circuito, sea despreciable.

1.6.2.2.1. SEGUIDOR DE VOLTAJE

Los seguidores de voltaje, conocidos también como amplificadores de aislamiento, poseen alta impedancia de entrada, ganancia unitaria y configuración no inversora, por lo tanto, el voltaje de salida V_{out} es igual al voltaje de entrada V_{in} en magnitud y signo.

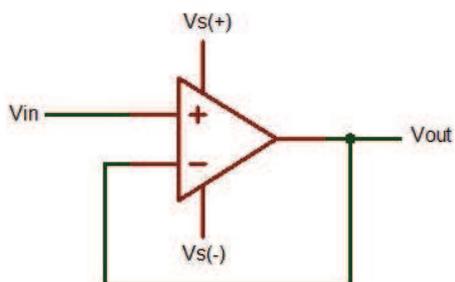


Figura 13. Amplificador operacional en configuración seguidor emisor.

El funcionamiento de este circuito es sencillo, debido a que esta configuración posee alta impedancia, el consumo de corriente en sus entradas es prácticamente cero, por lo tanto, no existe caída de voltaje en ningún elemento resistivo, así, cuando la señal ingresa por el terminal positivo no existe caída de voltaje a la salida de la fuente de señal, es decir, el voltaje V_{in} que viene de otro circuito o de algún sensor se mantiene íntegro.

1.6.3. AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

Este amplificador es una configuración de tres amplificadores operacionales, usados para establecer características específicas, utilizadas principalmente para la medición de entradas de sensores o actuadores.

Consta de dos etapas de ganancia donde se puede alcanzar desde una ganancia de 1 hasta de 1000, posee también un buffer de entrada. Tiene varias características las mismas son:

- Tiene ganancia diferencial y ajustable.
- Impedancia de entrada alta.
- Impedancia de salida baja.
- Muy bajo offset de DC.
- Alta resistencia al cambio de temperatura.
- Precisión y estabilidad.

Su diseño es muy sencillo y permite tener un control en la calibración de la ganancia, la configuración básica del amplificador de instrumentación es el siguiente:

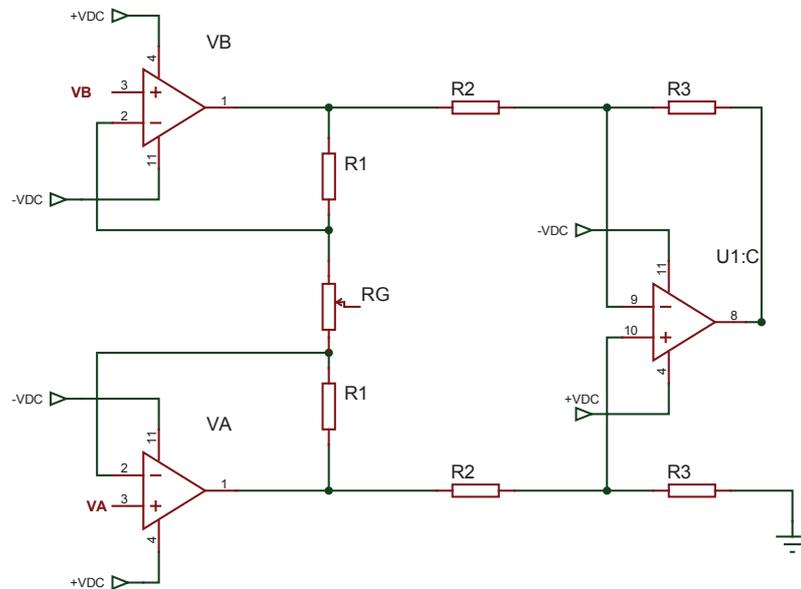


Figura 14. Amplificador de Instrumentación

Donde:

$$V_o = (V_B - V_A) * \left(1 + \frac{2 * R_1}{R_g}\right) * \frac{R_3}{R_2} \quad (1.2)$$

De acuerdo a la ganancia que deseemos se podrá realizar el cálculo de cada uno de los parámetros del amplificador.

Como se puede observar consta de dos etapas las mismas cumplen con las siguientes funciones:

- Primera Etapa
 - Amplifica la entrada diferencial.
 - Mediante R_g se puede calibrar la ganancia a conveniencia.
 - Tiene alta impedancia de entrada.
- Segunda Etapa

- Es en esencia un amplificador restador con un buen rechazo en modo común.

Las aplicaciones más comunes del amplificador de instrumentación son:

- Procesamiento de señales.
- Acondicionamiento de sensores y actuadores.
- Forman parte de fuentes de alimentación.
- Amplificar señales eléctricas biológicas.

Una vez que se ha cumplido la etapa de pre-amplificación mediante el amplificador de instrumentación el paso a seguir es el de filtrar la señal de manera que se tenga el rango de frecuencias requerido y en el que se pueda trabajar en esta aplicación puntual.

1.6.3.1. FILTROS

El objetivo del diseño de los circuitos de filtrado es el de establecer un rango de frecuencias que pasan, aquellas frecuencias que no se encuentran en este espacio son atenuadas. Existen filtros activos y filtros pasivos, los filtros pasivos son aquellos circuitos que contienen arreglos de resistores, capacitores e inductores mientras que los filtros activos a más de estos elementos poseen arreglos de transistores o amplificadores operacionales.

Los filtros también ayudan a que la señal se vuelva indistinguible al momento de la conversión de analógico a digital. Estos son los llamados filtros antialiasing.

1.6.3.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS

Los filtros se clasifican en: pasa altos, pasa bajos, pasabanda y rechaza banda:

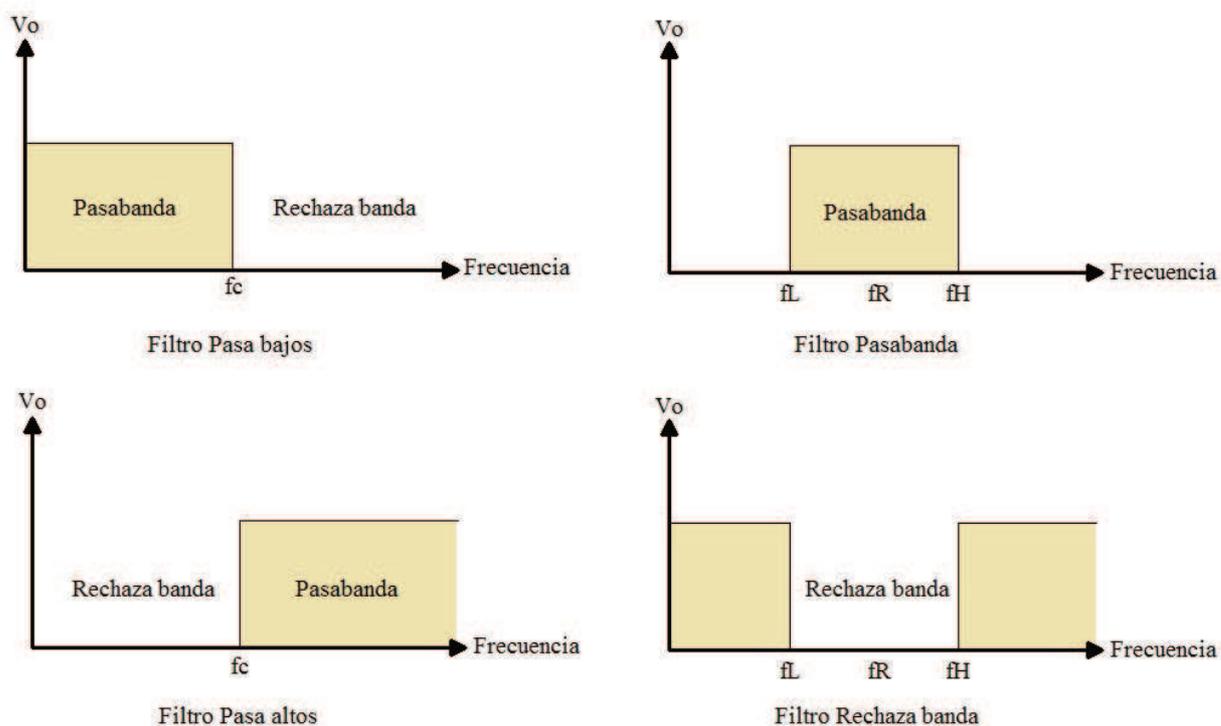


Figura 15. Características ideales de los filtros.

Los filtros pasa bajos mantienen los voltajes de salida constante para frecuencias menores a la frecuencia de corte f_c , a partir de este punto y conforme la frecuencia de la señal a tratar crece, los voltajes tienden a atenuarse. Los filtros pasa altos tienen los voltajes de salida constante para frecuencias mayores a la frecuencia de corte f_c . Para frecuencias menores a f_c los voltajes son atenuados. En el caso de los filtros pasabanda, se establece un rango de frecuencias (entre f_L y f_H) en el cual el voltaje se mantendrá constante y fuera del cual los voltajes se atenuarán. Finalmente en los filtros rechaza banda el comportamiento es opuesto al de los filtros pasabanda, atenuando los voltajes dentro del rango establecido de frecuencias y manteniendo constante los voltajes fuera de esta banda.

1.6.3.1.2. FILTROS PASABANDA

Los filtros pasa banda son diseñados para permitir el paso de frecuencias dentro de un rango determinado limitado por una frecuencia de corte inferior f_L y una

frecuencia de corte superior fH . En este tipo de filtro la ganancia máxima se obtiene a la frecuencia de resonancia fr .

A continuación se detallan los términos relacionados con este filtro:

- Ancho de Banda

El ancho de banda B es el rango limitado por las frecuencias fL y fH , así:

$$B = fH - fL \quad (1.3)$$

- Frecuencia Resonante

La frecuencia resonante se encuentra dentro del ancho de banda pero no exactamente en el centro de este y se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$fr = \sqrt{fH * fL} \quad (1.4)$$

- Factor de calidad Q

El factor de calidad denota la relación entre la frecuencia de resonancia y el ancho de banda:

$$Q = \frac{fr}{B} \quad (1.5)$$

“Un Q alto indica que el filtro selecciona una banda de frecuencias más pequeña (es más selectivo)” [5]

Los valores que toma Q denotan la característica del ancho de banda, siendo así, si $Q \geq 0,5$ se trata de un filtro de banda angosta, pero si $Q \leq 0,5$ se trata de un filtro de banda ancha. De manera general, un filtro de banda ancha se lo puede implementar al colocar un filtro pasa altos y un filtro pasa bajos en cascada.

Una vez pre-amplificada y filtrada la señal, esta necesita ser amplificada nuevamente ya que al filtrar la señal existe cierta atenuación, la cual reduce la amplitud de la misma y puede ocasionar que la información se confunda con ruido.

1.6.3.2. AMPLIFICADOR CONFIGURACIÓN INVERSOR

El nombre de esta configuración se debe a que la forma de onda de salida está invertida con respecto a la de entrada, es decir, polaridades opuestas en el caso de señales de cd y fases opuestas en el caso de señales de AC.

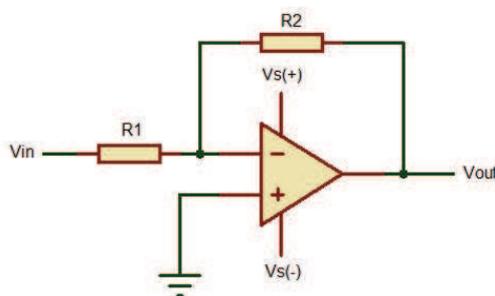


Figura 16. Amplificador operacional configuración inversor.

En lazo cerrado, la diferencia de voltajes entre la entrada positiva y negativa es cero si el voltaje de salida V_{out} no está en saturación. La corriente requerida por los terminales positivos y negativos es prácticamente nula por lo que la corriente de entrada fluye a través de los elementos externos, así el voltaje de entrada V_{in} es convertido a corriente mediante $R1$, esta corriente fluye a través de $R1$ y a través de $R2$, determinando el voltaje sobre $R2$.

$$I = \frac{V_{in}}{R1} \quad (1.6)$$

$$V_{R2} = \frac{V_{in}}{R1} R2 \quad (1.7)$$

Debido a que los voltajes de los terminales de entrada son prácticamente iguales, el terminal negativo está a 0 V también o, en otras palabras, el terminal negativo posee el potencial de tierra.

El resistor $R2$ está conectado de un lado al terminal de salida V_{out} y del otro a tierra, por lo tanto, el voltaje V_{out} es igual al voltaje V_{R2} . La polaridad de V_{out} ha sido entonces determinada por la dirección de la corriente I , la cual situó el extremo de $R2$ conectado a V_{out} como negativo.

De acuerdo a la Figura 16, el voltaje de salida V_{out} depende de la ganancia impuesta por la relación existente entre $R2$ y $R1$. En este circuito se tiene como característica la realimentación negativa por parte de $R2$.

Las etapas mencionadas funcionan con una polarización, requerida por los amplificadores operacionales, de ± 12 Vdc, por lo cual, fue una necesidad el diseñar nuestras propias fuentes de alimentación DC.

1.6.4.FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Las fuentes de alimentación cumplen una función importante en el diseño y construcción de los circuitos electrónicos ya que los dispositivos que lo conforman funcionan con corriente continua. El abastecimiento energético en las industrias y zona urbana es en corriente alterna, siendo muy importante el diseñar fuentes de DC para la demanda requerida por el circuito.

Las fuentes DC más comunes constan de las siguientes etapas:

- Transformación.
- Rectificación.
- Filtro de rizado de voltaje.
- Regulación.
- Filtro de rizado de corriente (opcional).

Para analizar detalladamente la funcionalidad se hablará de cada una de las siguientes etapas: transformación, rectificación, filtrado del rizado de voltaje y regulación.

1.6.4.1. TRANSFORMACIÓN

Es la primera etapa donde se toma el voltaje de la red y a través de un transformador se disminuye o aumenta el voltaje de la red, al voltaje requerido por los dispositivos electrónicos, los transformadores se los encuentra normalizados en el mercado.

El transformador consta de dos devanados separados por un núcleo magnético, en el momento que circula una corriente alterna por el devanado primario (I_p), se induce a través del flujo magnético una corriente alterna al devanado secundario (I_s). El tipo de transformador se define si es reductor o elevador de acuerdo al número de espiras que se posee en el devanado secundario, ya que si el devanado secundario tiene un número mayor de espiras que el del devanado primario éste transformador funcionará como elevador y si el caso es el contrario, el devanado secundario tiene menos espiras que el devanado primario el transformador actúa como reductor.

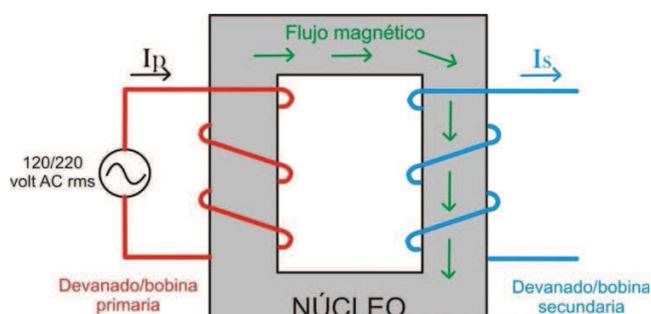


Figura 17 Estructura de un transformador [5]

El transformador puede recibir 120 V/220 V en la entrada y a la salida pueden tener con o sin tap central, donde los que tienen tap central pueden dividir el voltaje inducido en el segundo bobinado en 2 voltajes, en pocas palabras en el segundo devanado se tienen 2 devanados que nos permiten tener 2 voltajes de salida.

1.6.4.2. RECTIFICACIÓN

En la primera etapa lo que se hace es transformar de un voltaje a otro deseado, pero esta transformación se hace en corriente alterna, eso quiere decir, aunque tengamos un valor de voltaje deseado sigue siendo diferente tipo de corriente, así que se tiene que rectificar con el fin de pasar de corriente alterna a corriente continua.

Para realizar la rectificación se utiliza un puente de diodos, con los cuales se logra eliminar la parte negativa de la señal de entrada convirtiendo nuestro voltaje AC en voltaje DC.

Un diodo es un semiconductor el cual permite el flujo de corriente cuando está en polarización directa e impide el flujo de corriente cuando está en polarización inversa. La polarización directa es cuando existe un voltaje mayor en el ánodo que el voltaje en el cátodo y es inversa cuando el voltaje en el cátodo es mayor que el voltaje en el ánodo.

Existen dos tipos de rectificación de media onda y de onda completa donde como se puede ver en las Figuras 18, 19 y 20.

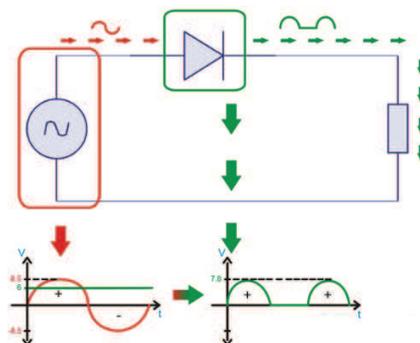


Figura 18 Rectificador de media onda. [5]

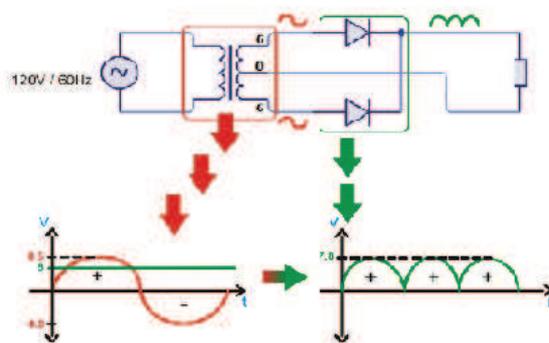


Figura 19 Rectificador con Tap central. [5]

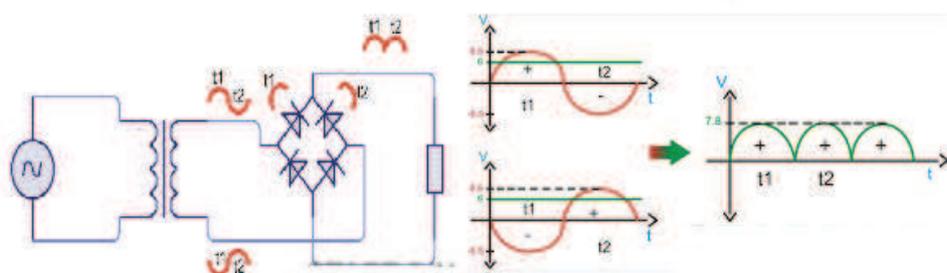


Figura 20 Rectificador de onda completa tipo puente. [5]

Se debe considerar que al rectificar el valor máximo de voltaje será el valor pico de la onda de entrada al rectificador, que viene dada por:

$$V_p = \sqrt{2} * V_{rms} \quad (1.8)$$

Mientras que en los diodos cuando conducen existe una caída de voltaje en ellos que es de 0.7 V por cada diodo, por lo tanto al utilizar un rectificador tipo puente se debe considerar una caída de 1.4 V, mientras que en la configuración tap-central caerá únicamente 0.7 V.

1.6.4.3. FILTRO DEL RIZADO DE VOLTAJE

El voltaje rectificado ya es DC pero por las formas de onda antes analizadas tiene una señal que no es puramente continua, por lo tanto se tiene que filtrar la onda rectificada, y esto se hace mediante el uso de un condensador electrolítico.

El funcionamiento del capacitor electrolítico es linealizar a la onda rectificada, debido a que todo capacitor tiene un tiempo de carga y descarga cambiando así la señal de salida del rectificador, obteniendo así un rizado de voltaje pequeño. El rizado de voltaje recomendado es el del 10% del V_p de la señal procesada, permitiendo de esta manera utilizar la fórmula:

$$C = \frac{5 * I_{DC}}{f * V_{max}} \quad (1.9)$$

Donde:

I_{DC} = es la corriente que consume la carga.

f = frecuencia de la red.

$$V_{max} = V_p = \sqrt{2} * V_{rms} \quad (1.10)$$

De esta manera se obtiene una forma de onda de la siguiente manera:

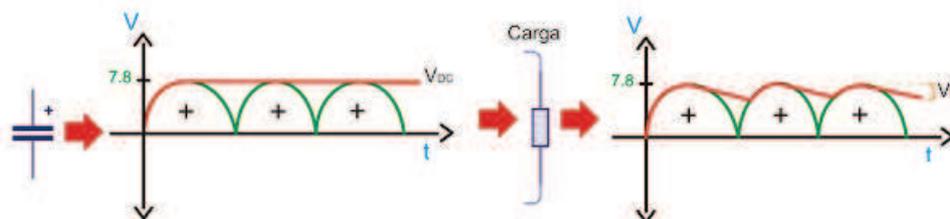


Figura 21 Rizado de voltaje. [5]

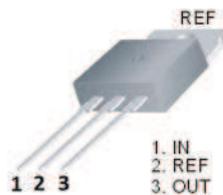
Como se observa en la figura el capacitor debe ser mayor al voltaje pico de la onda rectificada.

1.6.4.4. REGULACIÓN

El uso de reguladores es para obtener un resultado lineal a la salida de la fuente y que no dependa de la carga en otras palabras si existe una variación en la carga no se producirá un cambio en la linealidad de la fuente de DC. Los elementos reguladores utilizados y que están en venta en el mercado son los de la serie

LM78XX, a continuación se mostrará los tipos que existen y sus características principales. El regulador depende del voltaje de salida que se quiera obtener.

REGULADORES DE VOLTAJE LINEALES POSITIVOS, LM78XX DE TRES TERMINALES A 1 AMPERIO, ENCAPSULADO TO-220 (FAIRCHILD SEMICONDUCTOR)



REFERENCIAS	Voltaje de entrada (IN)		Voltaje de salida (OUT)			Temperatura de trabajo
	Mínima	Máxima	Mínima	Nominal	Máxima	
7805	7	25	4.75	5	5.25	-40 a +125 °C
7806	8	25	5.7	6	6.3	-40 a +125 °C
7808	10.5	25	7.6	8	8.4	-40 a +125 °C
7809	11.5	25	8.6	9	9.4	-40 a +125 °C
7810	12.5	25	9.5	10	10.5	-40 a +125 °C
7812	14.5	30	11.4	12	12.6	-40 a +125 °C

Figura 22 Tabla de Reguladores Lineales LM78XX. [5]

1.6.5.PROCESAMIENTO Y VISUALIZACIÓN

Para que el fenómeno pueda ser estudiado, las señales adquiridas mediante el sistema antena-acondicionamiento deben ser procesadas de manera que los datos puedan ser almacenados y visualizados.

La visualización de los fenómenos físicos en la ionósfera baja pueden ser representados de las siguientes maneras:

- Espectrogramas
- Diagramas de Fase y Amplitud.

1.6.5.1. ESPECTROGRAMAS

Mediante la representación gráfica en espectrogramas se puede visualizar la potencia de cada señal captada, así, se puede conocer cuántos emisores se están detectando y en qué frecuencia se encuentran trabajando.

Dentro de los fenómenos que se pueden observar en un espectrograma que estudia señales de muy baja frecuencia están los siguientes: sferics, whistlers, chorus y hiss.

1.6.5.1.1. SFERICS

El término sferics es la abreviación de “atmospherics” y describe la radiación producida por un rayo debido a los impactos generados por el mismo dentro de un radio de algunos miles de kilómetros del equipo receptor de señales VLF. El rango de frecuencia en el que se puede apreciar este fenómeno está entre pocos hercios y los megahercios.

Los sferics se pueden identificar en el espectrograma mediante líneas verticales de hasta 20 kHz (valor aproximado de frecuencias audibles). En el momento en que se detecta el fenómeno, existe una llegada sucesiva de todas las frecuencias hasta el tope de 20 kHz mencionado.

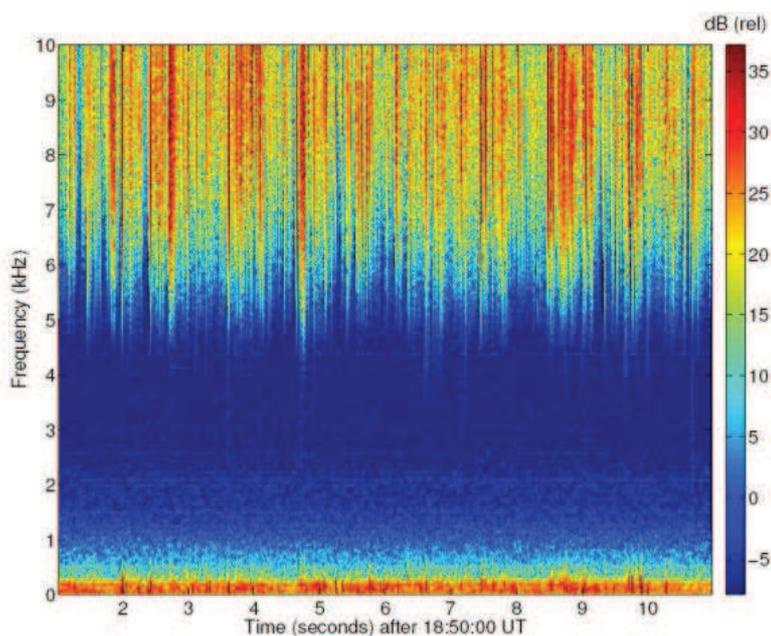


Figura 23. Sferic, estación Palmer-Antártica 27 de Febrero 2003 [7]

1.6.5.1.2. WHISTLERS

En ciertas ocasiones, tras el impacto de un rayo, la perturbación generada sale fuera de la ionósfera, viaja y posteriormente regresa a través de la línea de campo magnético de la Tierra en forma de electrones precipitantes.

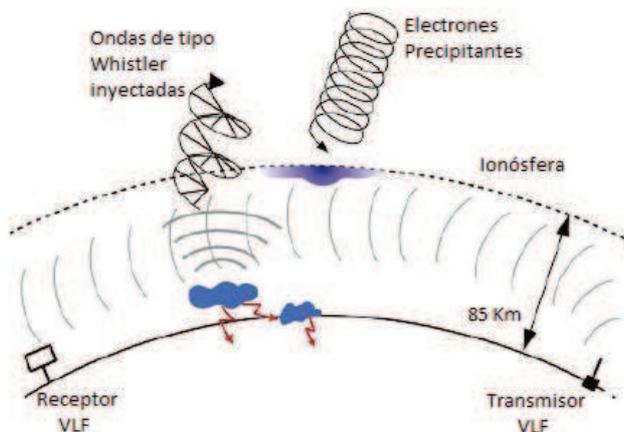


Figura 24. Generación de un Whistler [8]

En el espectrograma, estos whistlers se los pueden distinguir por su forma arqueada, de igual manera que los sferics, marca la llegada simultánea de frecuencias (al mismo tiempo) pero debido al camino recorrido por un whistler, este fenómeno aparece mucho más pronunciado.

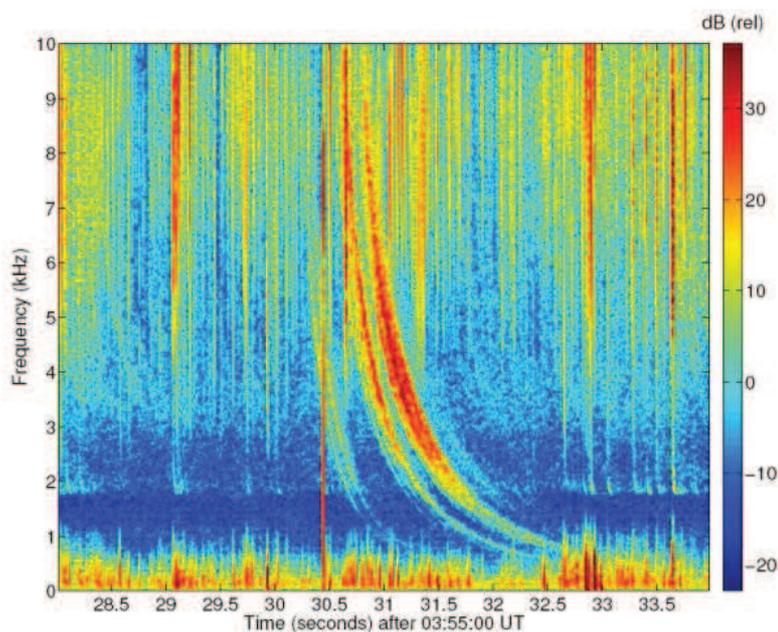


Figura 25. Whistler, estación Palmer-Antártica 23 de Julio 2004 [7]

1.6.5.1.3. CHORUS

Está asociado con actividad geomagnética y solar. Este fenómeno aparece en latitudes altas. En el siguiente gráfico se puede apreciar este fenómeno en la banda entre 2 kHz y 3 kHz.

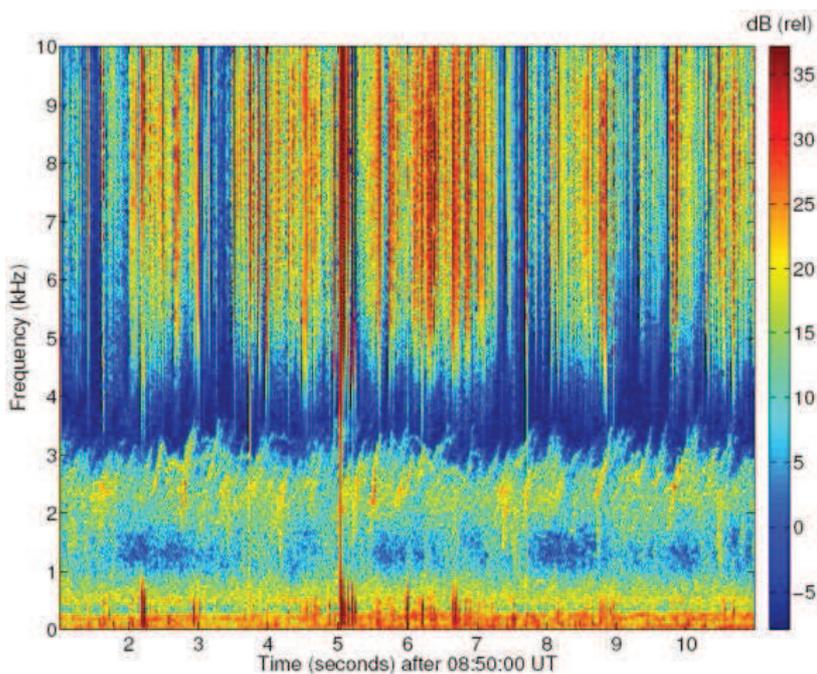


Figura 26. Hiss, estación Palmer Antártica 27 Febrero 2003. [7]

1.6.5.1.4. HISS

Este fenómeno se da como resultado de la generación de whistlers o de chorus.

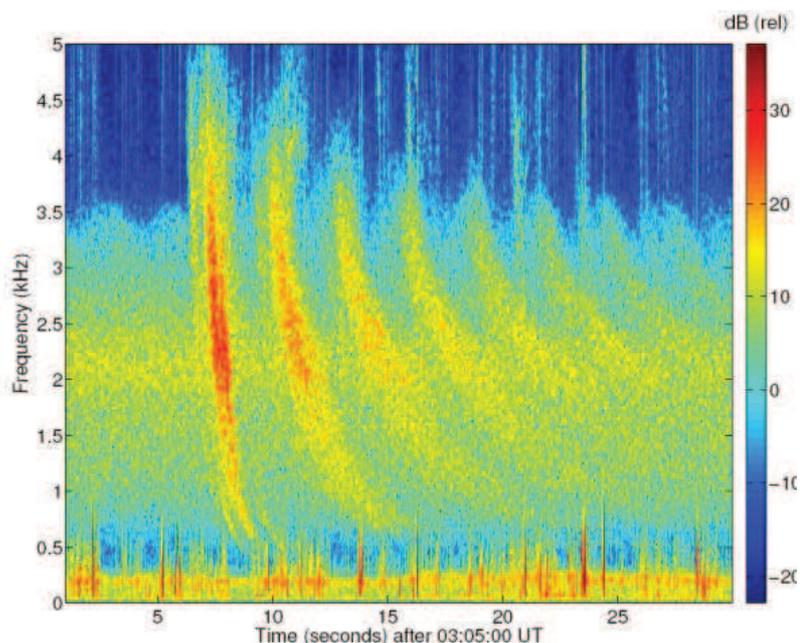


Figura 27. Hiss, estación Palmer Antártica 5 Noviembre 2003. [7]

Los datos obtenidos también son útiles para la realización de diagramas de fase y amplitud en los cuales se pueden observar los fenómenos físicos que se presentan en la ionósfera baja.

1.6.5.2. DIAGRAMAS DE FASE Y AMPLITUD.

Estos diagramas sirven para estudiar las variaciones en las señales de los transmisores de señales VLF producidas por los fenómenos físicos presentes en la ionósfera baja en especial en la capa D.

La amplitud en las ondas electromagnéticas es el mayor valor que posee la señal en un determinado intervalo de tiempo, ésta magnitud puede variar por perturbaciones externas.

La fase en las ondas electromagnéticas indica la posición en el tiempo en que ocurre un cambio de la amplitud de la señal, puede venir expresada en grados o en radianes.

Por lo tanto, los diagramas de amplitud y fase permiten visualizar si existen o no cambios en la ionósfera, pues, los mismos causan perturbaciones en las señales de los transmisores VLF que provocan cambios en la amplitud y la fase de dichas señales.

Un ejemplo muy claro es el realizado por el proyecto HAARP en Gakona Alaska, *Bell et al. , el experimento de la campaña HIPAS 1992. Este experimento utiliza la amplitud y la fase de VLF medida en Fort Yukon, Alaska, transmitida a 23,4kHz de la NGP, Hawaii. El calentador HIPAS crea una región perturbada cerca del trayecto de círculo entre NLK y FY. [9]*

En el cual se puede observar mediante los diagramas de fase y de amplitud las perturbaciones ocurridas.

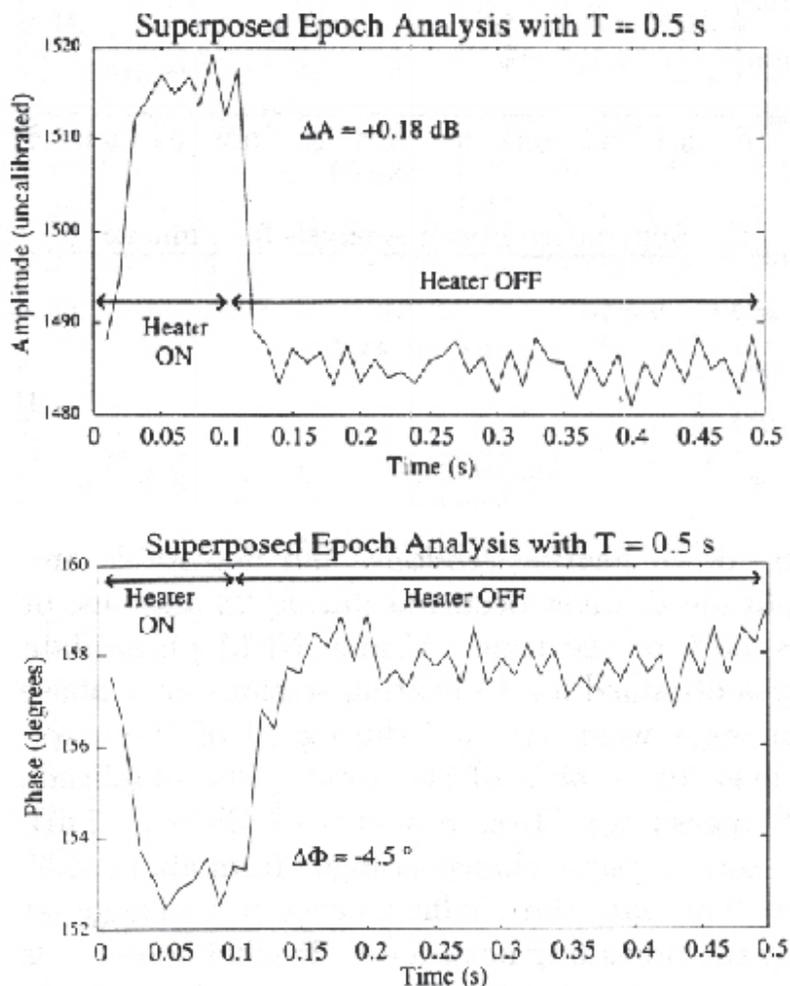


Figura 28. Diagrama de Amplitud y Fase, proyecto HAARP. [9]

Como se puede observar en la Figura 28 se notan los cambios de amplitud y de fase cuando el calentador está prendido y apagado así como las variaciones en decibelios y en grados respectivamente.

1.6.6.GEO-POSICIONAMIENTO

El detalle de todos los fenómenos que se producen en el estudio de la ionósfera mediante el envío y recepción de señales de muy baja frecuencia es único de acuerdo a la posición geográfica en la que se encuentran los equipos.

Dentro de la red de estudio de estos fenómenos es importante tener la información de latitud, longitud y tiempo en la que ocurren, de manera que se pueda realizar

estudios complementarios y comparaciones. Por lo tanto, es necesario complementar el equipo de recepción, en nuestro caso, con un sistema de geo-posicionamiento.

Para realizar esta labor es necesario el utilizar un GPS, el equipo disponible es el SKM58 GPS MODULE, el cual recibe las señales provenientes de varios satélites mediante una antena incorporada.



Figura 29. SKM58 GPS.

Toda la información proveniente de este equipo se la transite mediante comunicación serial a través de un conector de 6 pines detallados a continuación:

# PIN	SEÑAL	DESCRIPCIÓN
1	3.0 V PWR	POLARIZACIÓN (3V - 4,2V)
2	TIERRA	TIERRA
3	BATERÍA	ENERGÍA EXTERNA DE RESERVA (2V - 4.2V)
4	TTL TX	TRANSMISIÓN LÓGICA 3V
5	TTL RX	RECEPCIÓN LÓGICA 3V
6	PPS	PULSO POR SEGUNDO

La configuración recomendada, y por defecto, para realizar comunicación serial es la siguiente:

- 9600 baudios
- Sin paridad
- 8 bits de parada
- 1 bit de inicio
- 1 bit de parada

El módulo GPS utiliza el protocolo NMEA 0183 (National Marine Electronics Association), el cual es un protocolo basado en el código ASCII en el que se define una interfaz eléctrica y un protocolo de datos para comunicaciones entre instrumentación marina.

Existen variedad de registros que suponen diferentes actividades de los dispositivos. Los registros compatibles con el módulo son:

Tabla 1. Registros compatibles con el módulo GPS SKM58.

REGISTRO	DESCRIPCIÓN
GGA	Sistema de posicionamiento global
GLL	Posición geográfica (latitud y longitud)
GSA	Satélites activos y modo de operación
GSV	Satélites a la vista
RMC	Mínima información necesaria.
VTG	Curso sobre tierra y velocidad
ZDA	Fecha y tiempo

El dispositivo envía por defecto los registros: GGA, GSA, GSV y RMC. Las oraciones completas comienzan con el carácter "\$" seguido de las letras "GP", haciendo referencia a que es el GPS el que está enviando sus datos. A renglón seguido, aparece el registro en sí, así: \$GPXXX, lo cual se convierte en el encabezado del mensaje u oración completa. Posteriormente, se adjunta la información propia del registro separado por comas y finalmente una suma de verificación (checksum) seguido de la terminación del mensaje (CR/LF).

Tabla 2. Información que despliega cada mensaje que el módulo envía por defecto.

Registro GGA	Posición, tiempo, y calidad de navegación
Registro GSA	Modo de operación, tipo de arreglo y los satélites en uso.
Registro GSV	Intensidad de los satélites a la vista, la elevación y azimut.
Registro RMC	Información de tiempo, fecha, posición y tipo de arreglo

Debido a que el registro RMC proporciona la información necesaria para el proyecto (fecha, hora y posición), el estudio se centrará en discriminar el resto de mensajes enviados y desglosar la oración completa que contiene el encabezado \$GPRMC, enviado por el GPS.

1.6.7.SOFTWARE LABVIEW



Figura 30. Ícono del software LabView

Es un software utilizado principalmente para la programación y diseño de HMI, permitiendo al usuario adquisición de datos, almacenamiento y procesamiento de los mismos. Mediante una programación gráfica se lo utiliza también para el procesamiento de señales presentando los resultados tanto en una manera de tabla o como gráficos, diagramas, etc.

Labview tiene un amplio soporte en internet ya que National Instrument provee de soporte al usuario así como foros de consulta donde ingenieros capacitados responden a las inquietudes y problemas que los diferentes usuarios plantean.

Posee dos tipos de interfaces, Panel Frontal y Diagrama de Bloques donde:

- Panel Frontal.- Aquí se desarrolla la parte de la interfaz con el usuario, donde se colocan controladores, indicadores, gráficos, textos, etc. Todo lo que el usuario tendrá contacto y donde se podrá manejar o visualizar las diferentes funciones del programa.
- Diagrama de Bloques.- En esta plantilla se realiza la programación de cada uno de los procesos que presentaremos en la Panel Frontal, además de los diferentes lazos, procesos, comparaciones, o funciones que se ocupan para cumplir con el objetivo del programa. LabView tiene el toolkit para realizar todo tipo de sistemas, pero si no encuentra el cuadro necesario también permite al programador crear Subvi para complacer con las demandas requeridas.

En el campo de la conectividad LabView tiene integración con programas y equipos a través de direcciones IP, comunicación serial o a su vez con el hardware mediante las diferentes tarjetas de adquisición de datos, las mismas sirven como generadoras o como receptoras de señales, como por ejemplo señales análogas y digitales que pueden provenir desde una termocupla o de un sensor de movimiento, etc.

1.6.7.1. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS NI DAQ

Los dispositivos multifuncionales de National Instruments con su alta confiabilidad, robustez y precisión proveen de soluciones para diversas aplicaciones como adquisición de datos continuos a alta velocidad, aplicaciones de control y la medición de señales proporcionadas por sensores.

En el proyecto se utiliza la tarjeta de adquisición NI PCI-6034E, la cual tiene las siguientes características:

ENTRADAS ANÁLOGAS	16 SE / 8 DIFERENCIALES	SALIDAS ANÁLOGAS	0
RESOLUCIÓN DE ENTRADA	16 BITS	RESOLUCIÓN DE SALIDA	—
MÁXIMA VELOCIDAD MUESTREO	200 kS/s	VELOCIDAD DE SALIDA	—
RANGO DE ENTRADA	de +/- 0,05 a +/- 10 V	RANGO DE SALIDA	—

BUS	PCI	ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES	8
IMPEDANCIA DE ENTRADA	100 GΩ en paralelo con 100pF	TRIGGERS	Digital
PROTECCIÓN (V) ON/OFF	25/15	COUNTER / TIMERS	2,24-bit

AI 8	34	68	AI 0
AI 1	33	67	AI GND
AI GND	32	66	AI 9
AI 10	31	65	AI 2
AI 3	30	64	AI GND
AI GND	29	63	AI 11
AI 4	28	62	AI SENSE
AI GND	27	61	AI 12
AI 13	26	60	AI 5
AI 6	25	59	AI GND
AI GND	24	58	AI 14
AI 15	23	57	AI 7
NC	22	56	AI GND
NC	21	55	AO GND
NC	20	54	AO GND
P0.4	19	53	D GND
D GND	18	52	P0.0
P0.1	17	51	P0.5
P0.6	16	50	D GND
D GND	15	49	P0.2
+5 V	14	48	P0.7
D GND	13	47	P0.3
D GND	12	46	AI HOLD COMP
PFI 0/AI START TRIG	11	45	EXT STROBE
PFI 1/AI REF TRIG	10	44	D GND
D GND	9	43	PFI 2/AI CONV CLK
+5 V	8	42	PFI 3/CTR 1 SRC
D GND	7	41	PFI 4/CTR 1 GATE
PFI 5/AO SAMP CLK	6	40	CTR 1 OUT
PFI 6/AO START TRIG	5	39	D GND
D GND	4	38	PFI 7/AI SAMP CLK
PFI 9/CTR 0 GATE	3	37	PFI 8/CTR 0 SRC
CTR 0 OUT	2	36	D GND
FREQ OUT	1	35	D GND

NC = No Connect

Figura 31. Detalle de pines de la Tarjeta NI PCI 6034E. [6]

1.6.7.1.1. ADQUISICIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS

Las señales que se conectan a la tarjeta en primera instancia son multiplexadas de manera que una a una independientemente se conecten al amplificador de instrumentación de ganancia variable para posteriormente ser digitalizadas y almacenadas en un buffer, el cual depende de la velocidad de muestreo en la que trabajará la tarjeta, esperando por ser procesadas.

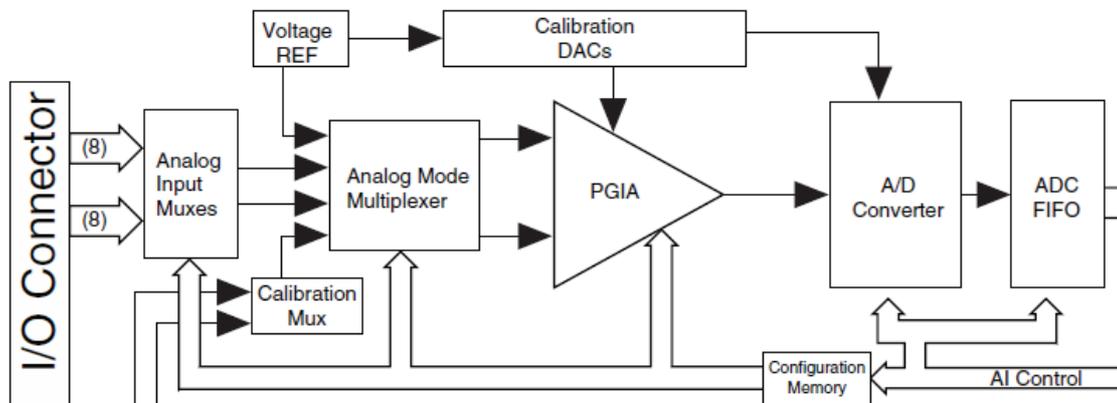


Figura 32. Diagrama de Bloques sección entrada analógica. [10]

Para realizar la adquisición de señales analógicas se tienen tres diferentes configuraciones de entrada:

- RSE
- NRSE
- DIFF

El modo RSE utiliza una línea análoga de entrada, la cual se conecta a la entrada positiva del amplificador de instrumentación de ganancia programable PGIA de la tarjeta. La entrada negativa de este se conecta internamente a la entrada de tierra análoga (AIGND)

En el modo NRSE se utiliza una línea análoga, al igual que en el modo RSE. La entrada negativa del PGIA se conecta a (AISENSE).

En el modo DIFF, diferencial, se utilizan dos entradas análogas, las cuales se conectan a la entrada positiva y negativa del PGIA.

1.6.7.1.2. ENTRADA DE AUDIO MIC-IN

La entrada de audio de la tarjeta de sonido de un computador suele ser una opción al momento de requerir un medio de adquisición de señales que se encuentren dentro del rango de frecuencias en que opere.

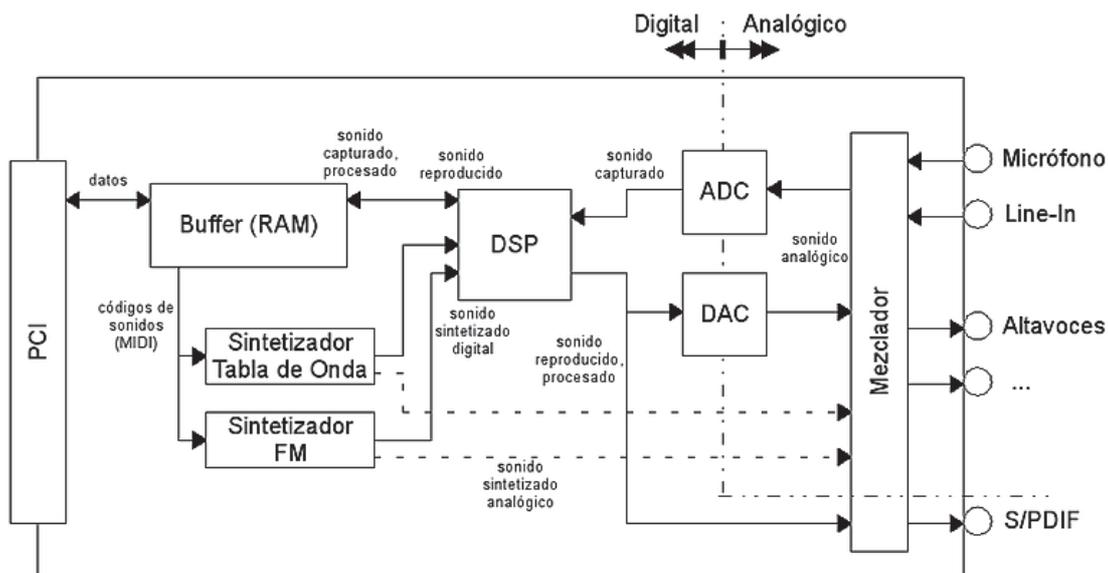


Figura 33. Esquema de una tarjeta de sonido. [12]

Las entradas de audio captan las señales y las transforman en datos digitales mediante un conversor A/D, los cuales pueden ser procesados por el computador.

Características

- La impedancia de entrada es baja, en el orden de 600 a 47 kohms.
- Del voltaje máximo de entrada es de 5 Vpp
- Alta sensibilidad, pero el ruido es alto también debido a que muchas tarjetas de sonido sacan un nivel de tensión para alimentar el micrófono. Si se usa esta entrada, es necesario un condensador que bloquee esta tensión lo que se traduce en hardware adicional previo a un estudio de la entrada mic-in.

CAPÍTULO 2

2.DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN PROCESAMIENTO Y GEO-POSICIONAMIENTO.

Para el diseño y construcción del sistema de adquisición procesamiento y geo-posicionamiento se ha desarrollado en forma secuencial, pues, obligatoriamente cada etapa se cimienta en la etapa anterior para crear el sistema. Las etapas principales son:

- Diseño del sensor (antena).
- Construcción del sensor (antena).
- Diseño del cricuito de procesamiento y filtrado de las señales provenientes del sensor.
- Construcción del circuito.
- Diseño y construcción del acondicionamiento de la señal del GPS.
- Adquisición y transmisión de las señales provenientes del sensor y del GPS.

2.1.CALCULO DEL SENSOR (ANTENA)

El sensor que se ha escogido para diseñar es la antena de lazo, debido a su fácil diseño y construcción, ya que vienen de forma circular, cuadrada, triangular, etc. Para nuestro diseño se ha escogido la de lazo cuadrada por encontrar entre las más comunes y fáciles de construir.

La antena de lazo cuadrada trabaja considerando que cada uno de sus lados es un pequeño dipolo lineal de corriente constante. Principalmente la antena constará por

cables envueltos en una estructura donde los factores de diseño se pueden ver en la Figura 34:

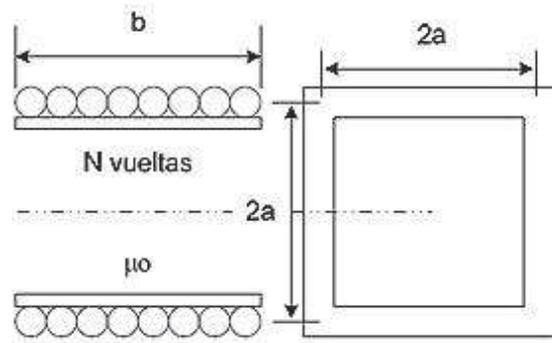


Figura 34. Estructura del cableado del receptor.

De acuerdo a los estudios de receptores de señales como antenas de lazo un receptor puede ser representado como un circuito con impedancia, capacitancia e inductancia de lazo los mismos que sirven para el diseño y la precisión de la antena.

Todos los factores que intervienen en la antena se calculan de la siguiente manera:

2.1.1.INDUCTANCIA DE LAZO

Utilizamos la propiedad que tienen las bobinas al ser inducidas por un campo electromagnético dadas por la fórmula:

$$L_{Lazo} = \mu_0 N^2 a \left(\frac{4}{\pi} \right) \left(\ln \left(1 + \frac{\pi a}{b} \right) + \frac{1}{3.64 + \left(\frac{2b}{a} \right) + 0.51 \left(\frac{b}{a} \right)^2} \right) \quad (2.1)$$

Dónde:

$N = \text{Número de vueltas} = 10$

$a = \text{medio lado del lazo cuadrado (m)} = 1 \text{ (m)}$

$\text{diametro del cable} = 0.001024 \text{ (m)}$

$b = \text{longitud del devanado [N * diametro del cable (m)]} = 0.01024 \text{ (m)}$

Reemplazando en (2.1) se tiene:

$$L_{Lazo} = 4\pi * 10^{-7} * 10^2 \left(\frac{4}{\pi} \right) \left(\ln \left(1 + \frac{\pi}{0.01024} \right) + \frac{1}{3.64 + \left(\frac{2 * 0.01024}{1} \right) + 0.51 \left(\frac{0.01024}{1} \right)^2} \right) \quad (2.2)$$

$$L_{Lazo} = 9.60419508 * 10^{-4} H \quad (2.3)$$

2.1.2.RESISTENCIA DE RADIACIÓN

Al inducirse energía en el cable por la influencia del campo electromagnético se genera una corriente constante donde se generan pérdidas que están en función de la estructura física de la antena y la longitud de onda de las señales que inducen el campo.

$$R_{Rad} = 31.171 * N^2 * \left(\frac{S^2}{\lambda^4} \right) \quad (2.4)$$

$$S = \text{Área de la antena (m}^2\text{)} = 4 \text{ (m)}^2$$

$$\lambda = \text{Longitud de onda (m)}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^{10} \text{ cm}}{30000 \text{ Hz}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 10000 \text{ (m)} \quad (2.5)$$

Reemplazando los valores obtenidos en (2.4) se tiene,

$$R_{Rad} = 31.171 * 10^2 * \left(\frac{4^2}{10000^4} \right) \quad (2.6)$$

$$R_{Rad} = 4.98736 * 10^{-12} (\Omega) \quad (2.7)$$

2.1.3.RESISTENCIA DC DEL CONDUCTOR

Además, el conductor en sí produce resistencia al flujo de corriente DC y en éstas pérdidas solo influyen las características del tipo de conductor.

$$R_{DC} = L * \left(\frac{\rho}{\pi r^2} \right) \quad (2.8)$$

Donde:

$$L = \text{Longitud del devanado (m)} = (2a) * 4 * N = 80 \text{ (m)}$$

$$\rho = \text{Resistividad del conductor (cobre)} = 16.78 * 10^{-9} (\Omega \text{ m})$$

$$r = \text{Radio del conductor (m)} = 5.12 * 10^{-4} \text{ (m)}$$

Reemplazando las variables en (2.8) se tiene,:

$$R_{DC} = 80 * \left(\frac{16.78 * 10^{-9}}{\pi * (5.12 * 10^{-4})^2} \right) \quad (2.9)$$

$$R_{DC} = 1.6311057 (\Omega) \quad (2.10)$$

2.1.4.RESISTENCIA AC DEL CONDUCTOR

Es considerado también las pérdidas debidas a la parte AC del conductor, cabe indicar que por lo general este valor se desprecia, pero en el diseño de la antena se considera para tener mayor precisión en los cálculos.

$$R_{AC} = \left(\frac{L}{\pi 2r} \right) \sqrt{\pi * \mu_0 * f * \rho} \quad (2.11)$$

$$R_{AC} = \left(\frac{80}{\pi * 2 * 5.12 * 10^{-4}} \right) \sqrt{\pi * 4\pi * 10^{-7} * 30000 * 16.78 * 10^{-9}} \quad (2.12)$$

$$R_{AC} = 0.35057 (\Omega) \quad (2.13)$$

2.1.5.RESISTENCIA TOTAL DEL LAZO

Finalmente todas las resistencias presentes en este sensor son sumadas para encontrar la impedancia total que servirá para comprobar en el circuito equivalente.

$$R_{Total} = R_{Rad} + R_{DC} + R_{AC} \quad (2.14)$$

Usando los valores obtenidos en (2.7), (2.10), y (2.13) en(2.14)

$$R_{Total} = 4.98736 * 10^{-12} + 1.6311057 + 0.35057 \quad (2.15)$$

$$R_{Total} = 1.9816757 (\Omega) \quad (2.16)$$

2.1.6.CAPACITANCIA EXPERIMENTAL DEL LAZO

La capacitancia experimental se dimensiona con (2.17) utilizando los valores antes calculados en (2.3) y (2.16)

$$C_{exp} = \left(\frac{L_{Lazo}}{R_{Total}^2 + \omega^2 * L_{Lazo}^2} \right) \quad (2.17)$$

$$C_{exp} = \left(\frac{9.60419508 * 10^{-4}}{1.9816757^2 + (2\pi * 30000)^2 * (9.60419508 * 10^{-4})^2} \right) \quad (2.18)$$

$$C_{exp} = 2.930155 * 10^{-8} F \quad (2.19)$$

2.1.7.CIRCUITO EQUIVALENTE

Al tener todos los valores de resistencia, inductancia y capacitancia para realizar el circuito equivalente se los coloca con la siguiente configuración:

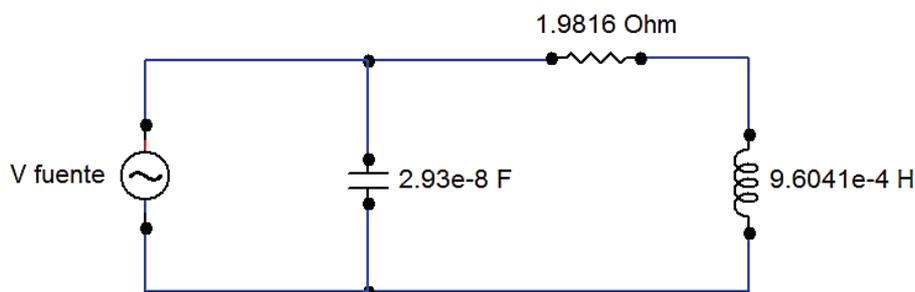


Figura 35. Circuito equivalente del receptor

2.1.8.FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

Finalmente, se modela la función de transferencia para el circuito RLC de la Figura 34 y con la ayuda de un software de cálculo como es Matlab, se simula la respuesta del circuito ingresando una entrada paso.

$$FT = \frac{1}{s^2LC + s(RC) + 1} \quad (2.20)$$

Colocando los valores obtenidos en (2.3), (2.13) y (2.19) en la función de transferencia (2.20) se tiene:

$$FT = \frac{1}{2.814178e - 11 * s^2 + 5.886616966e - 8 * s + 1} \quad (2.21)$$

Se ingresa (2.21) a Matlab donde:

```
>> cuadrada=tf([1],[2.814178e-11 5.886616966e-8 1])
```

Transfer function:

1

2.814e-011 s^2 + 5.887e-008 s + 1

```
>> step(cuadrada)
```

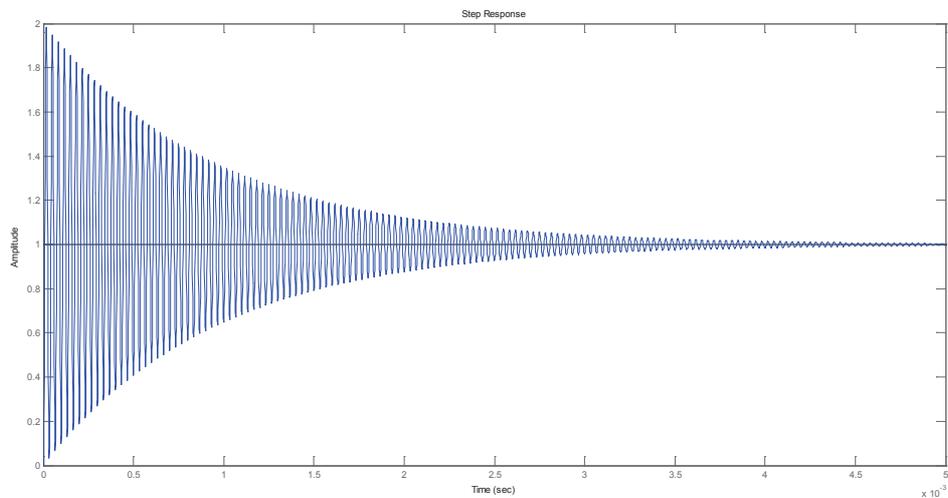


Figura 36. Respuesta del circuito equivalente de la antena a una entrada paso.

En la Figura 35 se puede observar la respuesta oscilatoria del circuito a la influencia de una señal paso, dónde se percibe que la frecuencia en la cual está trabajando la antena.

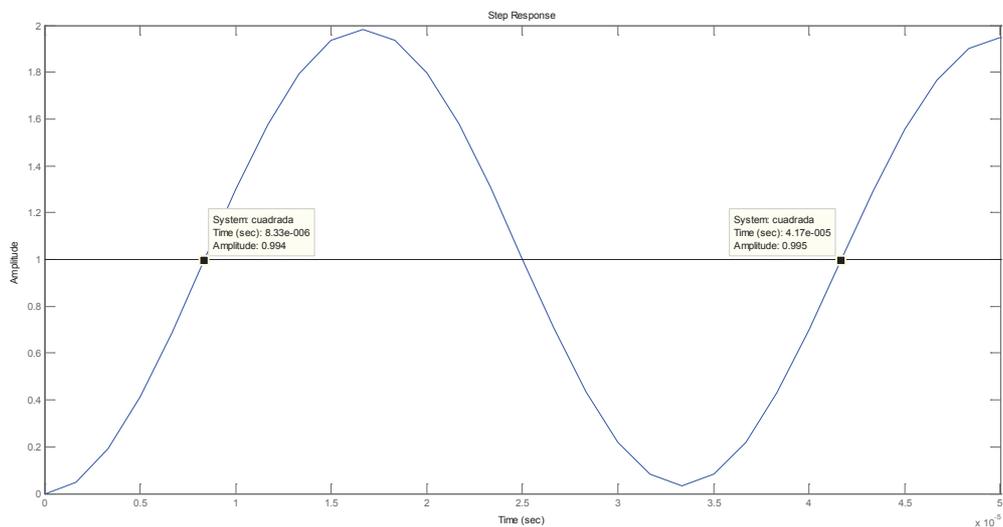


Figura 37. Frecuencia de resonancia

Haciendo un acercamiento de la respuesta del circuito que se pudo observar en la Figura 35, en la Figura 36 se puede observar con mayor claridad el periodo de oscilación, y a su vez conociendo la relación del periodo con la frecuencia obtenemos la frecuencia a la cual trabajará nuestro sensor antena que es:

$$f = \frac{1}{(4.17e - 5) - (8.33e - 6)} = 29967.03626 \text{ Hz} \quad (2.22)$$

2.2.SELECCIÓN ENTRE TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y PUERTO MIC-IN DEL COMPUTADOR UTILIZANDO EL MÉTODO DE CRITERIOS PONDERADOS

Se ha considerado estas dos opciones para el ingreso de las señales procesadas por hardware provenientes del sensor hacia el computador, en base a proyectos similares tal como, AWESOME de Estados Unidos que utiliza una tarjeta de adquisición y SAVNET de Perú que utiliza la entrada mic-in. En base a estos proyectos, se desarrolló una selección de entradas para optar por la mejor en el presente proyecto.

Para seleccionar entre la entrada mic-in del computador y la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments DAQ como dispositivo de entrada al ordenador para las señales procesadas por hardware se utilizó el método de criterios ponderados, en el cual, se consideran ciertos parámetros cruciales, y así poder optar por tal o cual dispositivo mencionado. A continuación, se muestra en detalle el método.

Los parámetros determinantes para ejecutar el método de criterios ponderados son: el costo, el tener o no entradas analógicas que permitan variaciones entre -10V y +10V, la robustez, la confiabilidad de sus conectores, las herramientas y soporte de LabView y los recursos de la computadora. Mediante estos ítems, en la Tabla 3 se procedió a establecer la prioridad entre cada uno de ellos, siendo el que tiene valor de 1 el ítem de mayor prioridad y 0 el de menor prioridad.

Tabla 3. Ponderación entre parámetros.

	DISPON. MERCADO LOCAL	ENTRADAS ANALÓGICAS +/- 10v	ROBUSTEZ	CONFIABILIDAD DE LA TARJETA	SOPORTE LABVIEW	RECURSOS DE PC	SUM+ 1	%
DISPONIBILIDAD MERCADO LOCAL	0	0	0	0	1	0,5	2,5	0,12
ENTRADAS ANALÓGICAS +/- 10v	1	0	0	1	0,5	1	4,5	0,21
ROBUSTEZ	1	1	0	1	1	1	6	0,29
CONFIABILIDAD DE CONECTORES	1	0	0	0	1	0,5	3,5	0,17
HERRAMIENTAS LABVIEW	0	0,5	0	0	0	0	1,5	0,07
RECURSOS DE PC	0,5	0	0	0,5	1	0	3	0,14
						TOTAL	21	1,0

Una vez ponderados los parámetros entre cada uno de ellos, en las Tablas 4,5,6,7,8 y 9, se ponderó cada parámetro según la importancia que tiene al comparar la DAQ y la entrada MIC-IN del computador, igualmente el valor de 1 establece mayor prioridad y el valor de 0 menor prioridad.

Tabla 4. Ponderación de costos entre la DAQ y el MIC-IN.

DISPONIBILIDAD MERCADO LOCAL	DAQ	MIC-IN	SUM+1	PONDERACIÓN
DAQ		0	1	0,33

MIC-IN	1		2	0,67
		TOTAL	3	1,00

Tabla 5. Ponderación del tener o no la capacidad de admitir variaciones de voltaje de +/-10V entre la DAQ y el MIC-IN.

ENTRADAS ANALÓGICAS +/- 10V	DAQ	MIC-IN	SUM+1	PONDERACIÓN
DAQ		1	2	0,67
MIC-IN	0		1	0,33
		TOTAL	3	1,00

Tabla 6. Ponderación de la robustez entre la DAQ y el MIC-IN.

ROBUSTEZ	DAQ	MIC-IN	SUM+1	PONDERACIÓN
DAQ		1	2	0,67
MIC-IN	0		1	0,33
		TOTAL	3	1,00

Tabla 7. Ponderación de la confiabilidad de los conectores entre la DAQ y el MIC-IN.

CONFIABILIDAD DE LA TARJETA	DAQ	MIC-IN	SUM+1	PONDERACIÓN
DAQ		1	2	0,67
MIC-IN	0		1	0,33
		TOTAL	3	1,00

Tabla 8. Ponderación de las herramientas y soporte de Labview entre la DAQ y el MIC-IN.

SOPORTE LABVIEW	DAQ	MIC-IN	SUM+1	PONDERACIÓN
DAQ		0,5	1,5	0,50
MIC-IN	0,5		1,5	0,50
		TOTAL	3	1,00

Tabla 9. Ponderación de los recursos del computador entre la DAQ y el MIC-IN.

RECURSOS DE PC	DAQ	MIC-IN	SUM+1	PONDERACIÓN
DAQ		1	2	0,67
MIC-IN	0		1	0,33
		TOTAL	3	1,00

Finalmente, en la Tabla 10 se procedió a obtener una ponderación particular de cada parámetro referido a la DAQ y a la entrada MIC-IN, de esta manera se estableció la prioridad final y se obtuvo que la DAQ es la mejor opción para esta aplicación.

Tabla 10. Establecimiento de prioridad.

	DISPONIBILIDAD MERCADO LOCAL	ENTRADAS ANALÓGICAS +/- 10V	ROBUSTEZ	CONFIABILIDAD DE LA TARJETA	HERRAMIENTAS LABVIEW	RECURSOS DE PC	SUM+1	PRIORIDAD
DAQ	0,03968	0,142857	0,190477	0,111111	0,035714286	0,095238	1,615079	1
MIC-IN	0,079365	0,07	0,10	0,055556	0,035714286	0,047619	1,384920	2

2.3.CONSTRUCCIÓN DEL SENSOR (ANTENA)

Una vez calculado el número de vueltas y el dimensionamiento del lazo del sensor se procedió a la construcción del mismo, para lo cual, se realizaron los siguientes pasos:

- Utilizamos 3 vigas de madera (colorado) de 3 metros cada una para ser los pedestales de la antena donde se colocará y envolverá el sensor.
- Se procesó las vigas con MADEROL para proteger contra el ataque de insectos y fortalecer la madera.

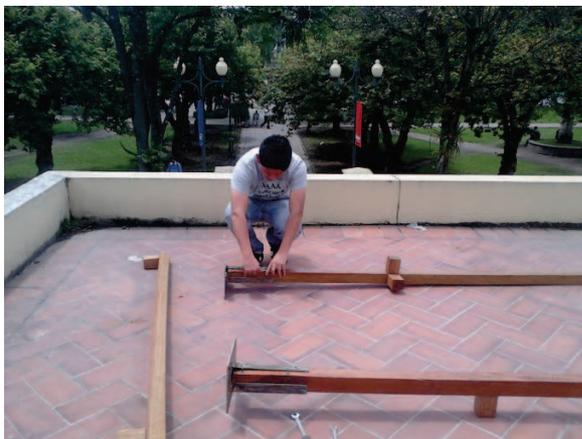


Figura 38. Construcción y preparación de los soportes del receptor

- Se barnizó las vigas con el fin de darle durabilidad ante la lluvia y factores del medio ambiente ya que el sensor se lo colocará en exteriores.
- Se construyó unas bases metálicas de acero para ser los soportes y fijar las vigas al lugar donde se las colocará.



Figura 39. Construcción de las bases del receptor.

- Colocando a la distancia de 2 metros se fijó tacos de madera donde se enrollará el cable para dar la forma cuadrada del sensor.
- Finalmente se montó la estructura en la terraza del Área de Electrónica del Observatorio Astronómico de Quito (La Alameda), formando con cable multifilar N° 18 dos lazos de 10 vueltas cada uno, el cable está peinado y los lazos son perpendiculares entre sí en dirección Norte-Sur y Este-Oeste.



Figura 40. Receptor instalado en el OAQ, La Alameda.

2.4.AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

La señal inicialmente necesita ser amplificada para que sea más fácil el realizar el filtrado y posterior acondicionamiento.

Partimos desde la fórmula:

$$V_o = (V_2 - V_1) * \left(1 + \frac{2 * R_1}{R_g}\right) * \frac{R_3}{R_2} \quad (2.23)$$

Donde, para este caso se tiene que $V_2 = 0 \text{ V}$:

$$V_o = (-V_1) * \left(1 + \frac{2 * R_1}{R_g}\right) * \frac{R_3}{R_2} \quad (2.24)$$

Debido a que existen dos antenas que están en diferentes direcciones (Norte – Sur y Este – Oeste), los voltajes que se generan en sus terminales son diferentes también debido al ángulo con que las señales de muy baja frecuencia indican sobre estas. Por ello, el diseño del amplificador de instrumentación difiere un tanto entre cada antena.

Teniendo en cuenta que el voltaje generado en los terminales de la antena puede variar en el transcurso de todo un año se estableció en el diseño que la salida de voltaje del amplificador de instrumentación se de 10 V, simplemente como prevención de saturación de los amplificadores operacionales.

2.4.1.PREAMPLIFICADOR ANTENA ESTE - OESTE

Voltaje de salida requerido:

$$V_o = 10V \quad (2.25)$$

Voltaje de entrada aproximado:

$$V_{in} = 3V \quad (2.26)$$

Obteniendo una ganancia al dividir (2.25) para (2.26) se tiene:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = 3.3 \quad (2.27)$$

Por lo tanto se divide (2.24) obteniendo la ganancia en las 2 etapas:

$$1) \quad 1 + \frac{2 \cdot R_1}{R_g} = 1.5 \quad (2.28)$$

Para cumplir con la relación, se escoge: $R_1 = 2.2k\Omega$

Donde, tras reemplazar en (2.28) se tiene: $R_g = 8.8k\Omega$

Para mejor calibración de la ganancia colocamos un potenciómetro de $10k\Omega$

$$2) \quad \frac{R_3}{R_2} = 2.2 \quad (2.29)$$

Para cumplir con la relación, se escoge: $R_2 = 10k\Omega$

Donde, tras reemplazar en (2.29) se tiene: $R_3 = 22k\Omega$

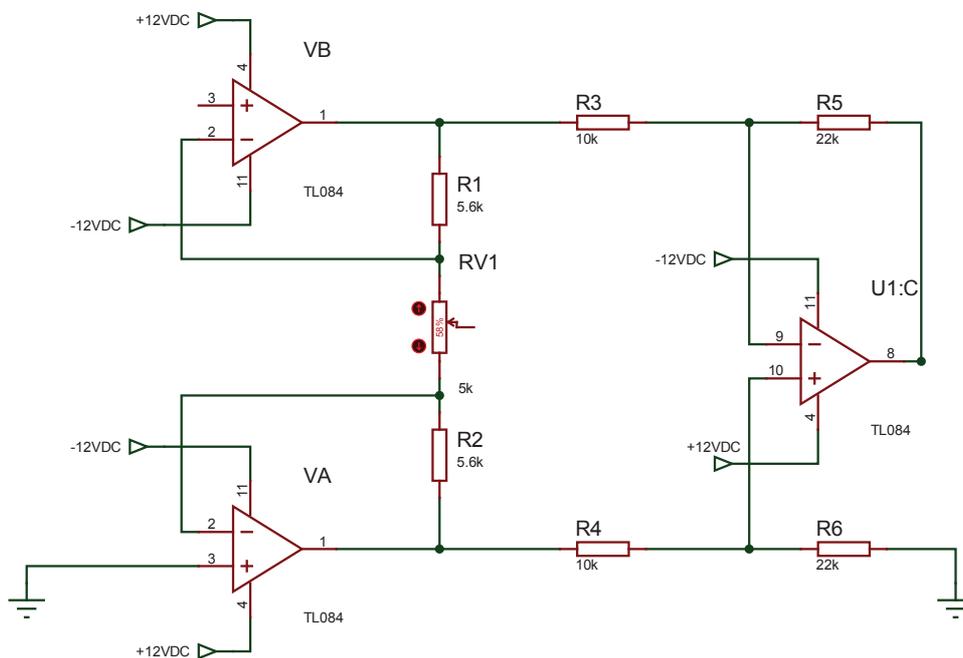


Figura 41. Pre-amplificador Receptor Azul

2.4.2. PREAMPLIFICADOR ANTENA NORTE - SUR

Voltaje de salida requerido:

$$V_o = 10V \quad (2.30)$$

Voltaje de entrada aproximado:

$$V_{in} = 6V \quad (2.31)$$

Obteniendo una ganancia al dividir (2.30) para (2.31) se tiene:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = 1.67 \quad (2.32)$$

Por lo tanto, se divide (2.24) obteniendo la ganancia en las 2 etapas:

$$1) \quad 1 + \frac{2 \cdot R_1}{R_g} = 1.67 \quad (2.33)$$

Para cumplir con la relación, se escoge: $R_1 = 3.3k\Omega$

Donde, tras reemplazar en (2.33) se tiene: $R_g = 10k\Omega$

Para mejor calibración de la ganancia se coloca un potenciómetro de $10\text{ k}\Omega$

$$2) \frac{R_3}{R_2} = 1 \quad (2.34)$$

Para cumplir con la relación, se escoge: $R_2 = 10\text{ k}\Omega$

Donde, tras reemplazar en (2.34) se tiene: $R_3 = 10\text{ k}\Omega$

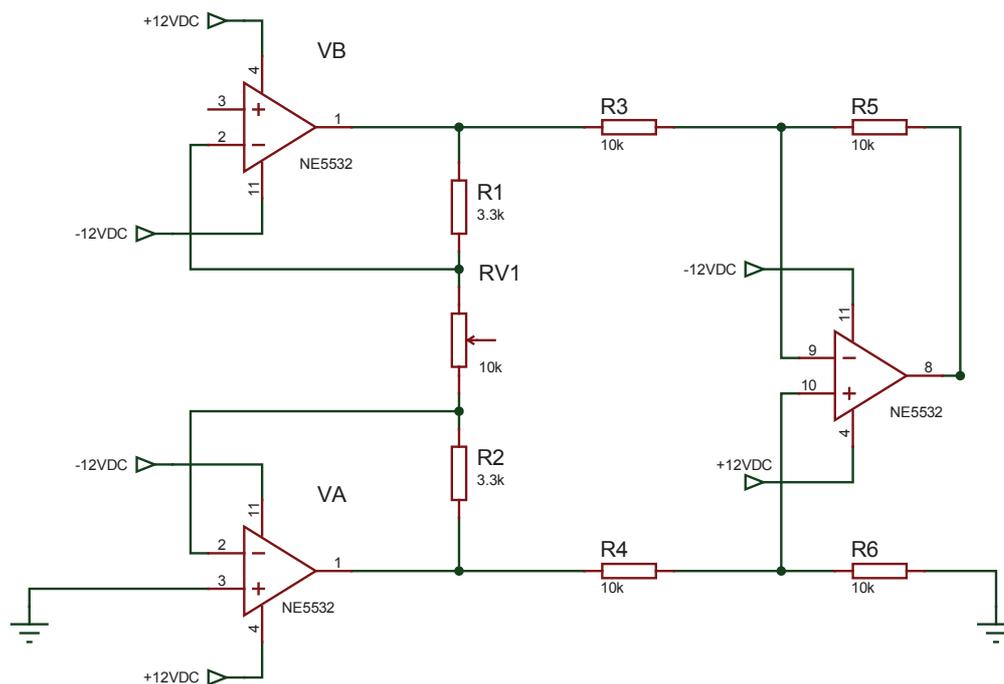


Figura 42. Pre-amplificador receptor verde.

2.5.DISEÑO DE FILTROS

Una vez amplificada la señal, se estableció el rango de frecuencias entre 3 kHz y 30 kHz mediante filtros pasabanda

2.5.1.FILTROS PASABANDA

El ancho de banda se limitó mediante f_L y f_H , 3 kHz y 30 kHz respectivamente.

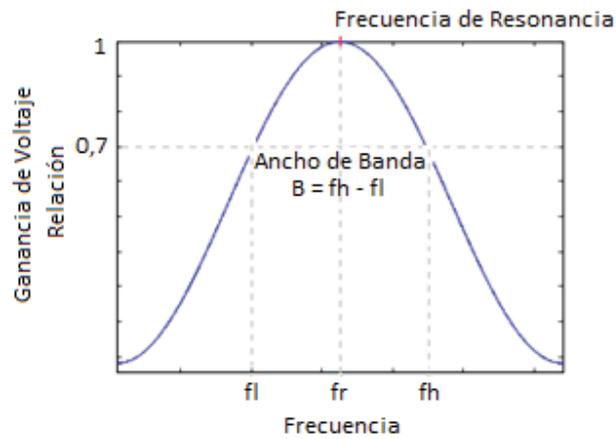


Figura 43. Filtro Pasabanda.

Mediante la fórmula (1.3) se tiene:

$$B = FH - FL = 30000 - 3000$$

El ancho de banda resultante es:

$$B = 27000 \text{ Hz} \quad (2.35)$$

La frecuencia de resonancia se la obtuvo de la fórmula (1.4), así:

$$Fr = \sqrt{FL * FH} = \sqrt{30000 * 3000}$$

Obteniendo:

$$Fr = 9486.83298 \text{ Hz} \quad (2.36)$$

El factor de calidad se lo establece mediante (1.5):

$$Q = \frac{Fr}{B}$$

$$Q = \frac{9486.832981}{27000}$$

Obteniendo:

$$Q = 0.351364184 \quad (2.37)$$

Debido a que el factor de calidad es menor que 0.5 el filtro que se diseñó fue uno de banda ancha.

2.5.1.1. FILTRO DE BANDA ANCHA

Para diseñar este tipo de filtro y teniendo en cuenta nuestros requerimientos, el procedimiento a seguir fue el de diseñar un filtro pasa altos y uno pasa bajos para posteriormente conectarlos en cascada.

La ganancia para este tipo de filtros, es máxima a la frecuencia de resonancia (F_r) igual a la frecuencia de la pasabanda.

2.5.1.1.1. FILTRO BUTTERWORTH PASABAJAS -40 DB/DEC

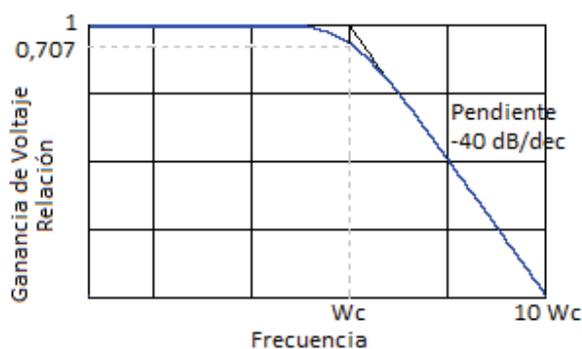


Figura 44. Filtro de Butterworth Pasa Bajos.

Se utiliza los criterios de diseño:

- Frecuencia máxima:

$$f_c = 30000 \quad (2.38)$$

- Rango de capacitancia:

$$100pF < C1 < 0.1\mu F \quad (2.39)$$

$$C2 = 2 * C1 \quad (2.40)$$

- Resistencias:

$$R = \frac{0.707}{\omega c * C1} \quad (2.41)$$

$$Rf = 2 * R \quad (2.42)$$

Donde se escoge dentro del rango de (2.39):

$$C1 = 10nF \quad (2.43)$$

Por lo tanto, reemplazando (2.43) en (2.40):

$$C2 = 2 * C1 = 20nF \quad (2.44)$$

Utilizando los valores de (2.38) y (2.43) en (2.41) se tiene:

$$R = \frac{0.707}{2\pi * 30000 * 10 \times 10^{-9}}$$

$$R = 375.075 \Omega \quad (2.45)$$

Por lo tanto, reemplazando (2.45) en (2.42):

$$Rf = 750.15 \Omega \quad (2.46)$$

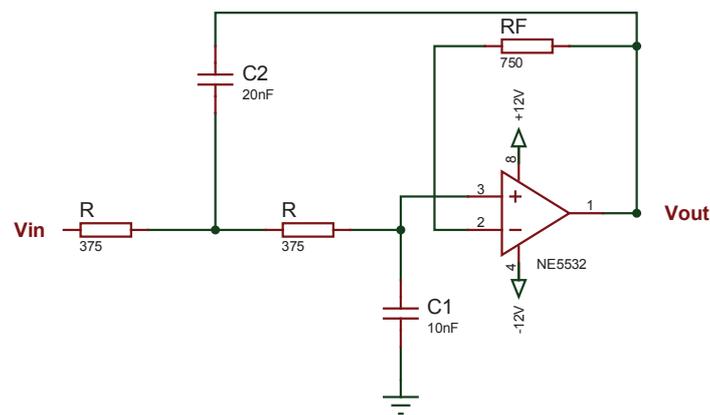


Figura 45. Filtro pasa bajos implementado.

2.5.1.1.2. FILTRO BUTTERWORTH PASA ALTOS (+40dB/dec)

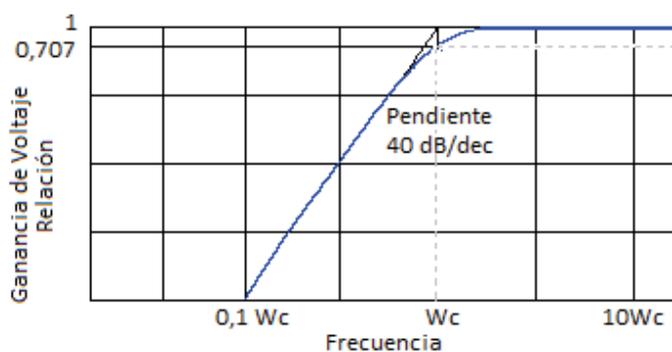


Figura 46. Filtro de Butterworth Pasa Altos

Se utiliza los criterios de diseño:

- Frecuencia mínima:

$$f_c = 3000 \text{ Hz} \quad (2.47)$$

- Rango de capacitancia:

$$C_1 = C_2 = C \rightarrow \text{valor conveniente} \quad (2.48)$$

- Resistencias:

$$R_1 = \frac{1.414}{\omega_c * C} \quad (2.49)$$

$$R_2 = 2 * R_1 \quad (2.50)$$

$$R_f = R_1 \quad (2.51)$$

Donde utilizando los criterios de (2.39) y (2.48) se tiene:

$$C = 10 \text{ nF} \quad (2.52)$$

Reemplazando los valores de (2.47) y (2.50) en (2.49) se tiene:

$$R_1 = \frac{1.414}{2\pi * 3000 * 10 \times 10^{-9}}$$

$$R1 = 7501.3029 \Omega \quad (2.53)$$

Por lo tanto, utilizando (2.53) en (2.50) y en (2.51) se tiene:

$$R2 = 3750.75 \Omega \quad (2.54)$$

$$Rf = 7501.3029 \Omega \quad (2.55)$$

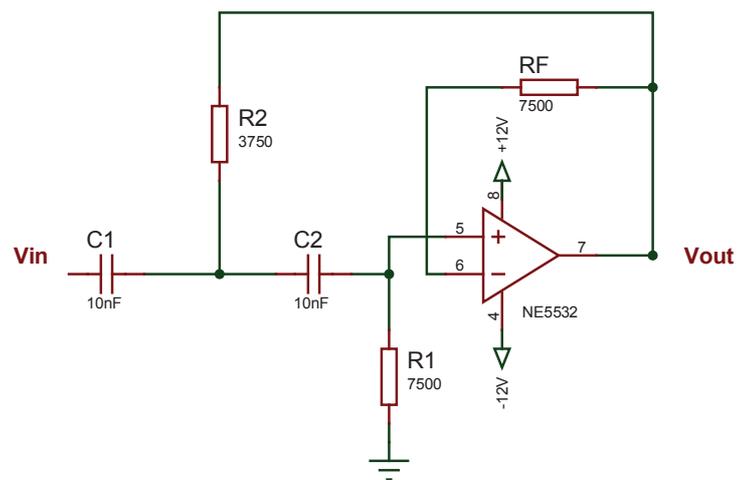


Figura 47. Filtro pasa altos implementado.

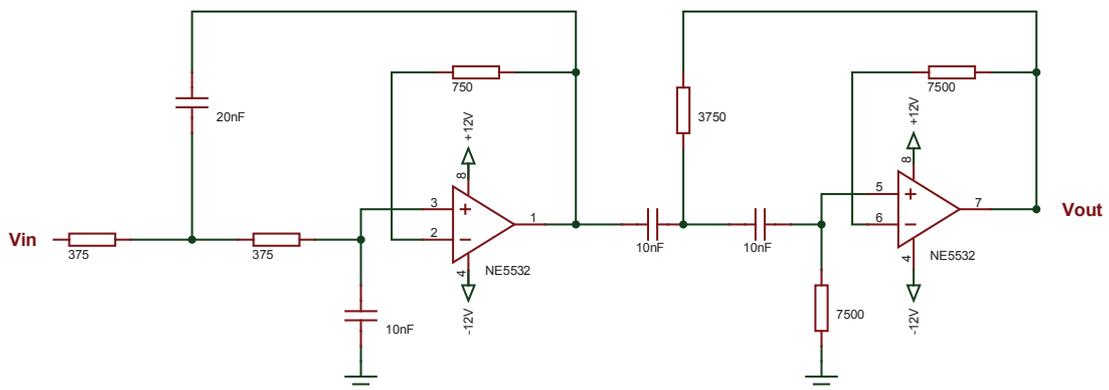


Figura 48. Filtro pasa banda implementado.

2.5.2.FILTRO ANTIALIASING

El filtro antialiasing que se utiliza es un complemento del filtro pasa bajos implementado anteriormente y se diseñó para evitar que la señal se torne indistinguible al momento de la discretización, debido a ello, este filtro está ligado a la frecuencia de muestreo f_s .

El filtro es un arreglo RC calculado de la siguiente manera:

En primer lugar la condición que se debe cumplir es que la frecuencia de muestreo sea al menos el doble de la frecuencia máxima a trabajar. Así:

$$f_s \geq 2 f_{max} \quad (2.56)$$

Donde

$$f_{max} = 30\text{kHz} = f_c \quad (2.57)$$

Por lo tanto

$$f_s \geq 60 \frac{\text{muestras}}{\text{segundo}} \quad (2.58)$$

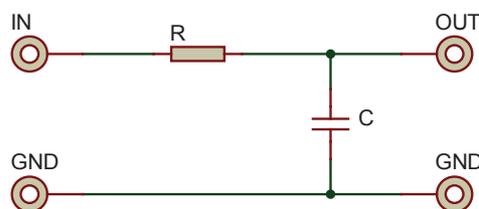


Figura 49. Filtro antialiasing RC

La ecuación que gobierna el circuito presentado es:

$$W_c = \frac{1}{R * C} \quad (2.59)$$

Donde se obtiene:

$$f_c = \frac{1}{2\pi * (R * C)} \quad (2.60)$$

Haciendo:

$$\text{frecuencia de corte, } f_c = f_{\text{máx}} = 30000 \text{ Hz} \quad (2.61)$$

Reemplazando (2.61) en (2.60) se tiene:

$$30000 = \frac{1}{2\pi * (R * C)} \quad (2.62)$$

Despejando RC de (2.62):

$$R * C = \frac{1}{2\pi * 30000}$$

$$R * C = 5,30516 * 10^{-6} \quad (2.63)$$

Para cumplir con (2.63) con valores normalizados se obtiene:

$$R = 560 \, \Omega \quad (2.64)$$

$$C = 10 \text{ nF} \quad (2.65)$$

2.6.DISEÑO DE LAS FUENTES DC

Fuente del circuito del Preamplificador:

Se necesita 2 fuentes DC, para cada antena, las mismas que constan de una positiva y una negativa de 12V y -12V cada una, para la alimentación de los operacionales utilizados, el diseño de es el siguiente:

- Se selecciona un transformador con tap central de 120 V/12 V de 2 A, el mismo es el que se encontró en Stock en los centros de abastecimiento electrónico y abastece la demanda de corriente que necesita el circuito.

- Un puente rectificador de onda completa de 1.5A.
- Para los condensadores se utilizó la fórmula del 10% de rizado para onda completa:

$$C = \frac{5 * I}{f * V_{max}} \quad (2.66)$$

Reemplazando los valores de criterio de diseño antes mencionados en (2.66) se obtiene:

$$C = \frac{5 * 100mA}{60 * (\sqrt{2} * 12 - 1.4)} \quad (2.67)$$

$$C = 567\mu F \quad (2.68)$$

Donde se escogió un capacitor de 1000 uF de 50 V por ser un valor normalizado en el mercado.

- Se utilizó reguladores de voltaje, para la fuente positiva el 7812 y para la fuente negativa el 7912.
- Finalmente, se colocó un capacitor de 1 uF paralelo a la salida para mejorar el rizado de corriente.

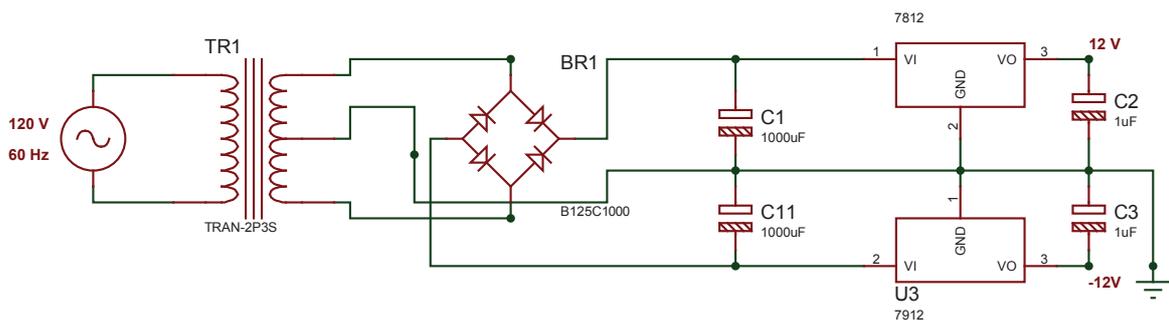


Figura50. Fuente de alimentación DC1.

Fuente del circuito del acondicionamiento del GPS

Para este circuito se necesitan una fuente DC positiva de 3 V que alimentará al MAX 232 y al GPS por lo tanto en el diseño se ha considerado los siguientes parámetros:

- Un transformador de 120 V/12 V de 1 A que abastece la demanda de corriente del circuito.
- Un puente rectificador de 1.5 A.
- Para los capacitores utilizamos (2.66) considerando los mismos valores de (2.67) obteniendo la capacitancia de (2.68), de tal manera que se escogió un capacitor de 1000 uF de 25 V.
- Se utilizó 2 reguladores de voltaje el 7805 que sirve para tener un voltaje de 5 V, que puede servir para en un futuro colocar algún tipo de indicador o para un cambio de GPS ya que algunos trabajan a 5 V, y el LM317 que sirve para ajustar a un valor determinado de voltaje a través de una resistencia variable, obteniendo así 3 V a la salida.
- Se colocó un capacitor de 1 uF a la salida de la fuente para disminuir el rizado de corriente de la fuente.

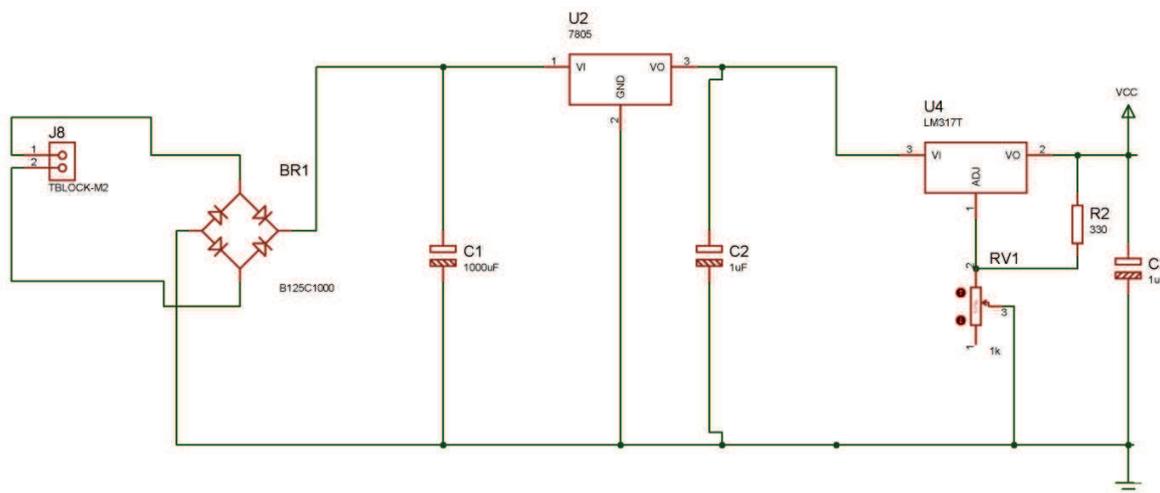


Figura51. Fuente de alimentación DC2.

2.7.SISTEMA DE GEOPOSICIONAMIENTO

Para que exista una compatibilidad de voltajes se empleó el circuito integrado MAX232 como una interfaz de recepción y transmisión, así se convierten las señales de RS-232 en señales compatibles con los niveles TTL y viceversa. El circuito empleado es el recomendado por la hoja de datos del fabricante.

La polarización del circuito integrado se la realizó con 3 V, de manera que en la salida TTL del mismo exista un nivel máximo de 3 V y haciendo de esta manera que no existan conflictos con los niveles del módulo GPS, el cual, está polarizado con ese valor de voltaje y por tanto tiene ese nivel lógico de voltaje.

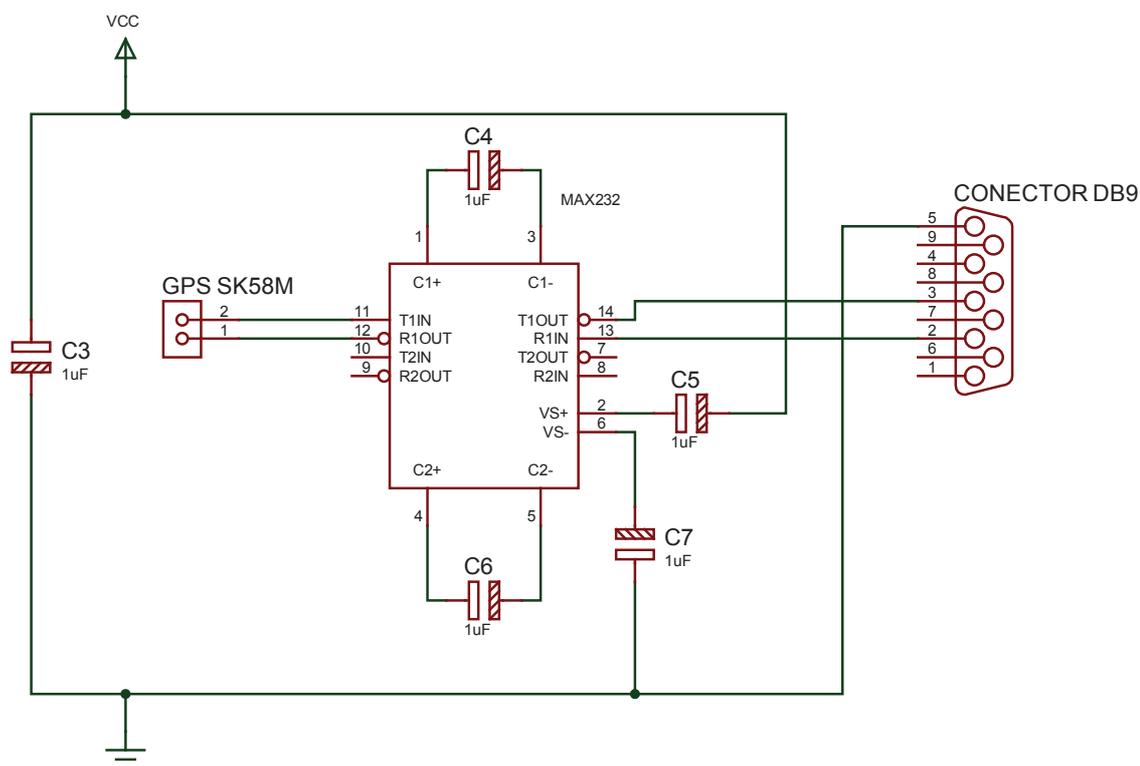


Figura 52. Interfaz de recepción y transmisión mediante el circuito integrado MAX232.

Finalmente se construyeron dos placas se formaron de la siguiente manera:

La placa principal contiene los circuitos de acondicionamiento y filtrado de las señales (VLF) captadas por el sensor, y se ubicó junto al receptor, en exteriores.

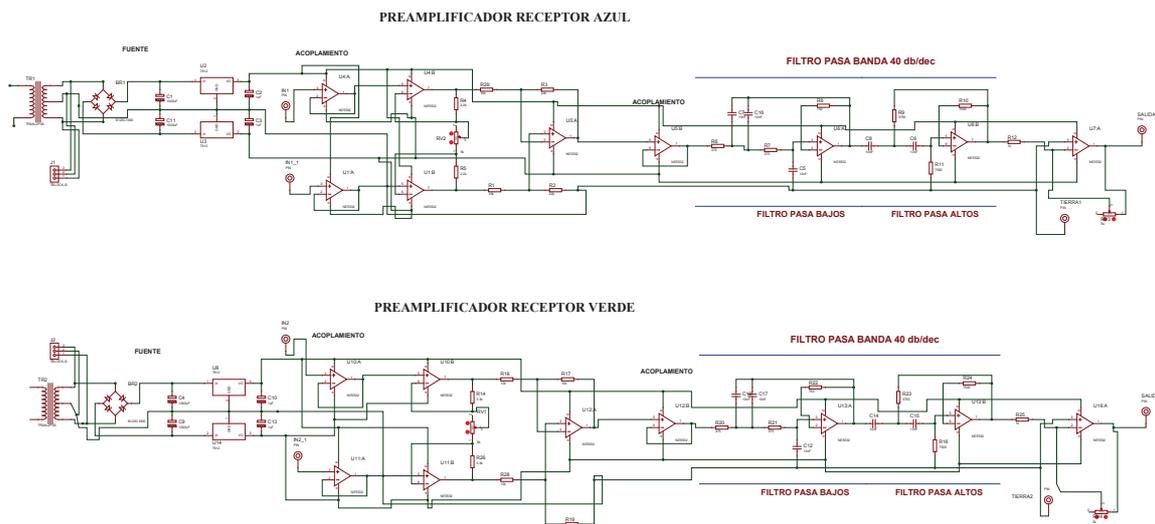


Figura53. Circuito Principal

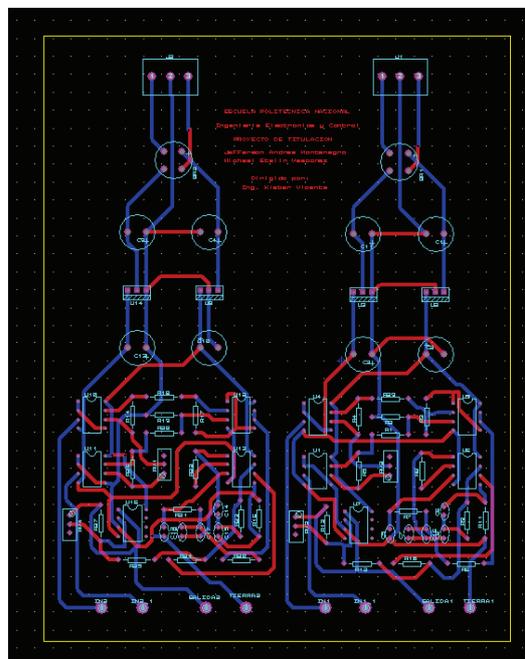


Figura54. Placa del Circuito Principal.

La placa secundaria cumple con la función de acondicionamiento de la señal proveniente del GPS, además contiene los filtros antialiasing de las señales VLF.

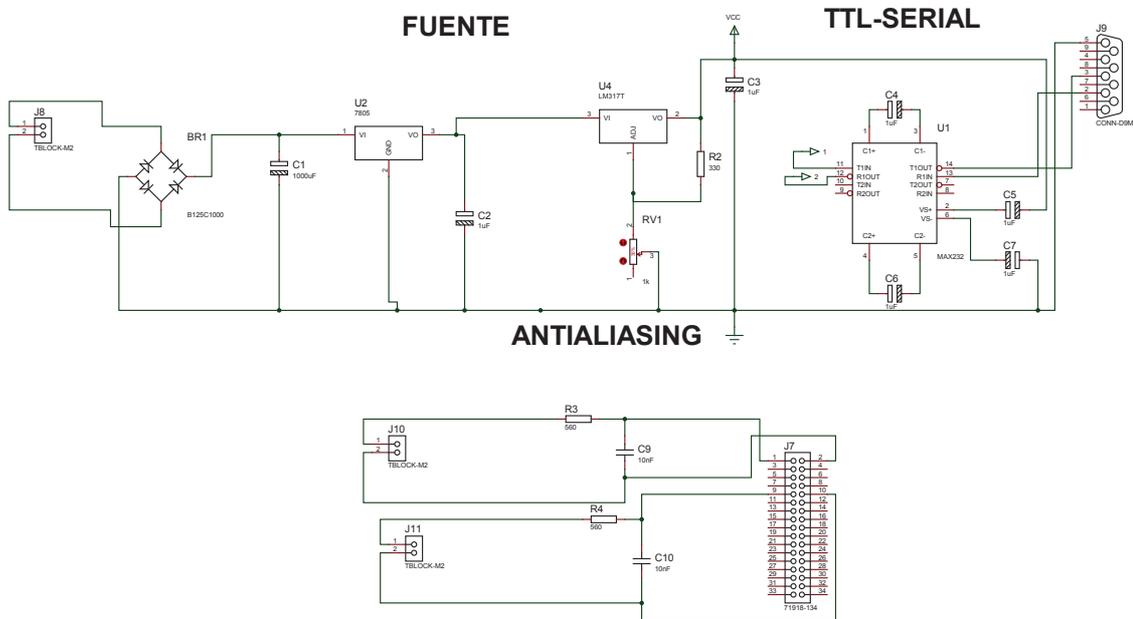


Figura55. Circuito Secundario

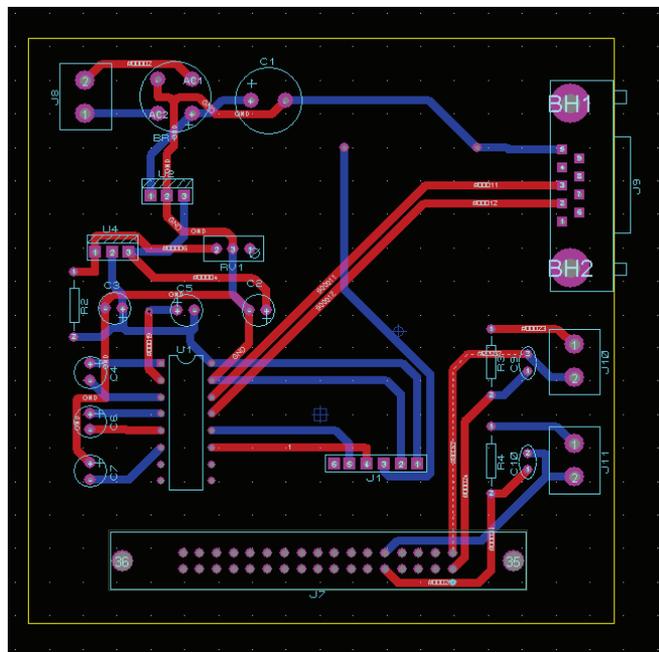


Figura56. Placa del Circuito Secundario.

CAPÍTULO 3

3.DESARROLLO DEL HMI E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

Se ha desarrollado un HMI con el software LabView 2012 amigable con el usuario, para desarrollar se ha dividido en dos partes fundamentales:

- Interfaz visual.
- Programa Principal.

A continuación se muestra detalladamente cada una de las etapas.

3.1.INTERFAZ VISUAL

El usuario tendrá a su disposición ventanas en las cuales se mostrarán los datos provenientes de la antena ya procesados, además cabe mencionar que se ha diseñado la interfaz de una manera gráfica y fácil de utilizar, las ventanas principales son:

- Página Principal.
- Espectrograma a tiempo real.
- Espectrograma x 5 minutos.
- Espectrograma x días.
- Diagrama de Fase y Amplitud

A continuación se explicará detalladamente cada una de las etapas que se observará y su forma de uso.

3.1.1.Página Principal

Es la ventana por defecto, donde se observa la localización aproximada de los transmisores que recibe el sistema en el mundo. Además se muestra el menú donde el usuario puede seleccionar cualquiera de las otras ventanas.



Figura 57. Página principal del sistema.

3.1.2. Espectrograma a tiempo real.

En esta ventana se presentan automáticamente los gráficos de los espectrogramas de los receptores NS y EO, en los cuales se observa las señales que recibimos en ese instante, cabe recalcar que en estos gráficos no se puede apreciar los fenómenos físicos, debido a la resolución y la cantidad de datos.



Figura 58. Pantalla de espectrogramas a tiempo real.

3.1.3. Espectrograma x 5 minutos.

El usuario en esta ventana tiene que seleccionar en la carpeta de búsqueda el archivo deseado para ser estudiado, esta operación tiene que realizarla para cada antena la NS y la EO. Una vez seleccionados los archivos se desplegarán en las gráficas los espectrogramas correspondientes.

Se diseñó esta ventana para que el estudio de los fenómenos físicos se los realice con mayor precisión ya que aquí se pueden observar claramente las anomalías como sferics, whistlers, chorus y hiss.

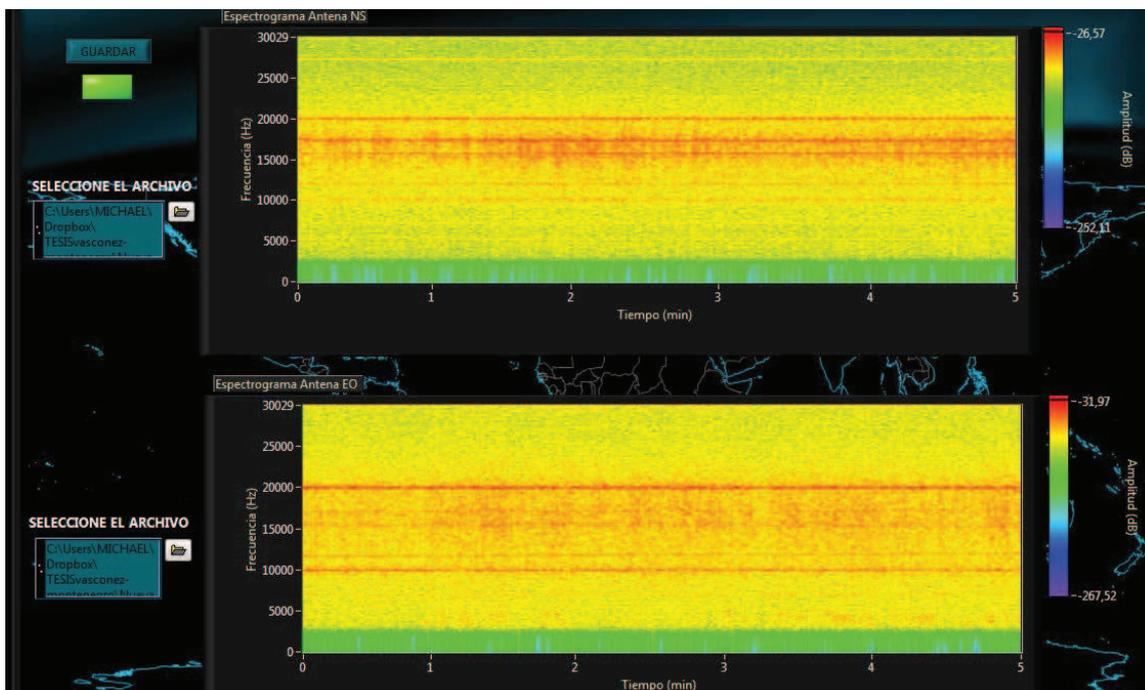


Figura 59. Pantalla de espectrogramas de 5 minutos.

3.1.4. Espectrograma x días.

La visualización de los espectrogramas por días es fundamental para que el usuario pueda observar los fenómenos que sucedieron en el transcurso de 24 horas, por lo tanto en esta ventana el usuario primero tiene que seleccionar los archivos correspondientes a las señales, los cuales se graficarán de manera similar a los espectrogramas de la ventana por 5 minutos, permitiendo de esta manera completar el estudio de las señales.

El tener datos en este rango de tiempo (24 horas) nos permitirá estudiar los cambios que se producen entre el día y la noche, por efecto de la radiación solar.

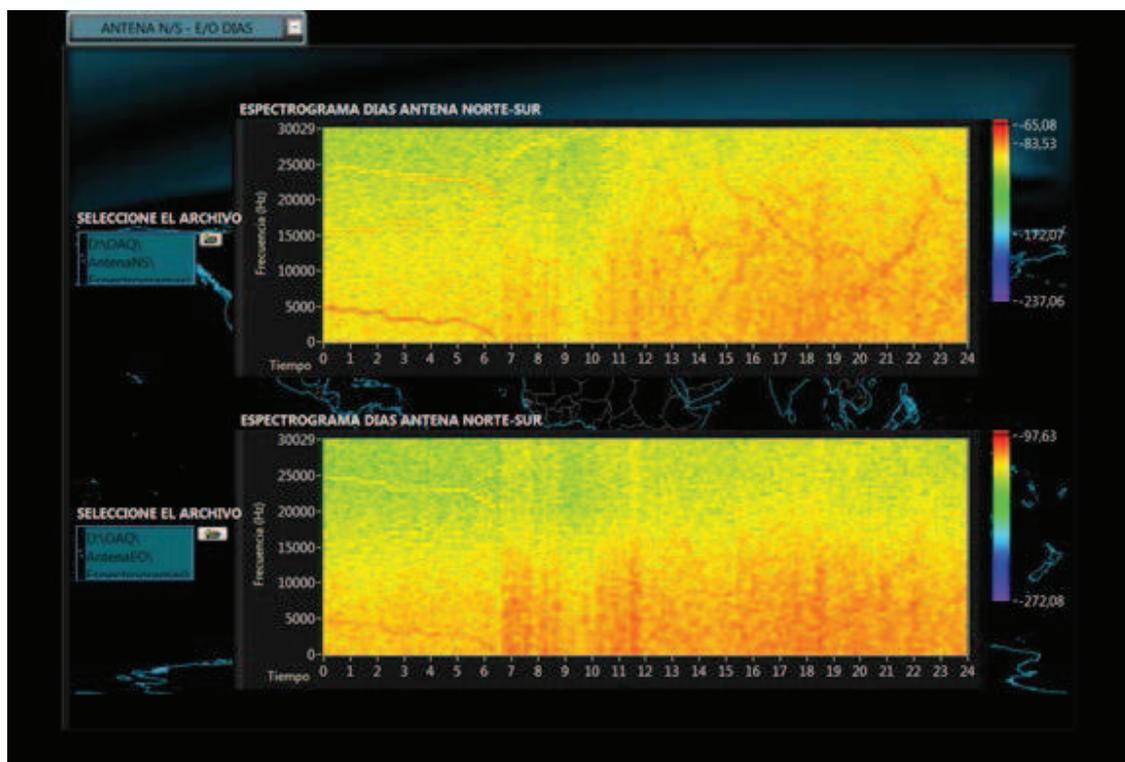


Figura 60. Pantalla de espectrogramas de días.

Adicionalmente se ha añadido un cursor gráfico que actúa como marcador de frecuencia, amplitud y tiempo, el mismo que nos señala los valores en el punto de referencia que necesitamos.

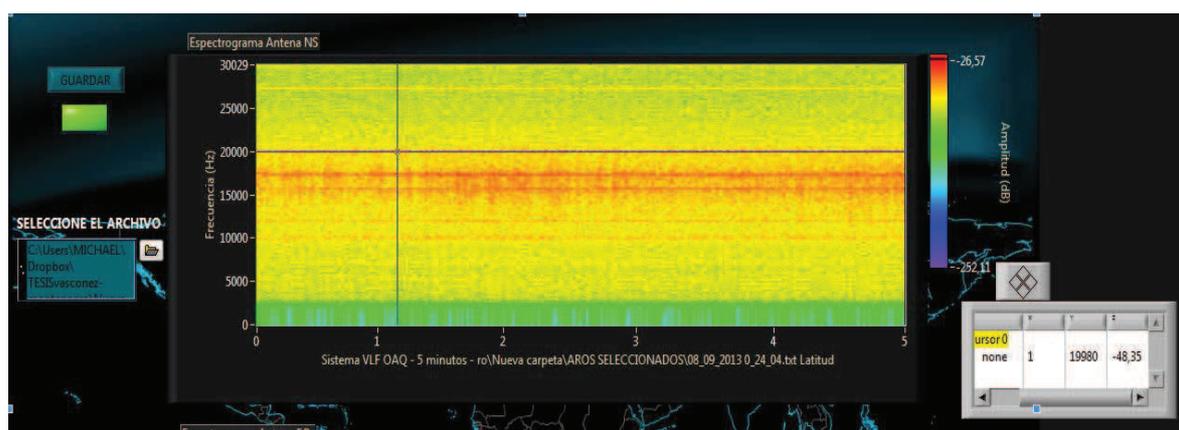


Figura 61. Cursor Gráfico.

3.1.5. Diagramas de fase y amplitud

Estos diagramas el usuario seleccionará los archivos que desee para ser estudiados, donde se presentarán el diagrama de fase y amplitud de solo un receptor, a diferencia de las anteriores pestañas que se presentaban de las antenas NS y EO, aquí podrá apreciar el comportamiento de la amplitud y de la fase de la señal captada.



Figura 62. Diagramas de Amplitud y Fase.

Por la importancia de los diagramas de fase y amplitud para el estudio de las señales, se ha creado la opción de guardar dichos diagramas, el usuario puede presionar el botón guardar e inmediatamente las gráficas que se observan en pantalla se guardarán en su correspondiente carpeta con el nombre de la hora y fecha de guardado además de la fecha que corresponde a la señal estudiada como se puede observar en la Figura 63.

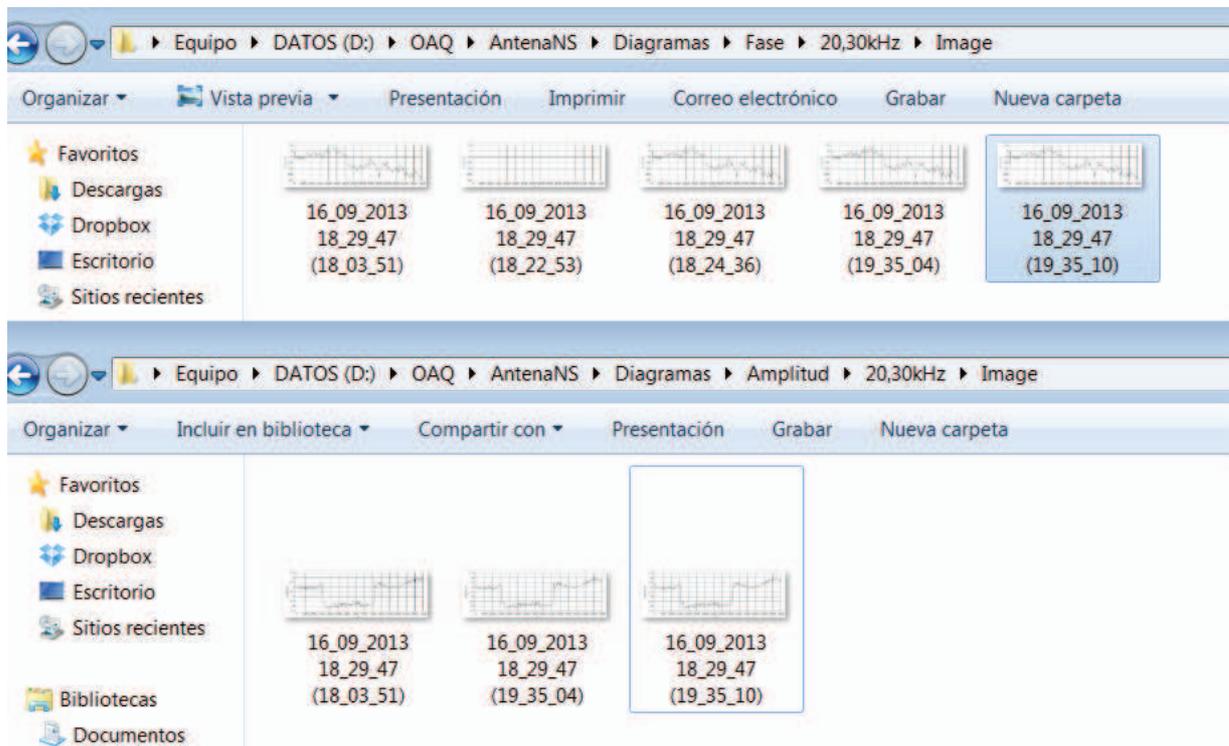


Figura 63. Guardado de los Diagramas de Fase y Amplitud.

3.2.PROGRAMA PRINCIPAL

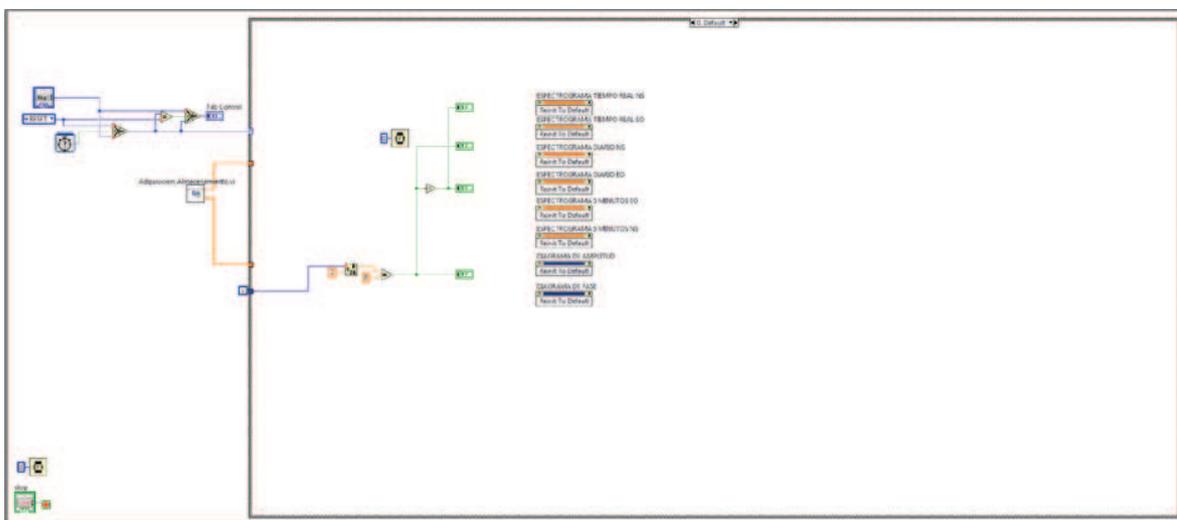


Figura 64. Programa principal

El programa principal está constituido por las siguientes etapas:

- Estructura While.
- Estructura Case.
- Comunicación serial y procesamiento de la información proveniente del GPS.
- Subvi *Adquisición_Almacenamiento.vi*
- Control de casos.

3.2.1. ESTRUCTURA WHILE



Figura 65. Lazo While

Se utilizó principalmente para que LabView no se ejecute en forma continua de manera que se ahorra recursos del computador, abarca todo el programa y posee el botón de Stop para detener el programa al salir del lazo.

3.2.2. Estructura Case

En esta estructura están las diferentes etapas del sistema como: graficas a tiempo real, graficas de datos guardados y diagramas, al ingresar a cada caso se ejecutará la función seleccionada por el usuario.

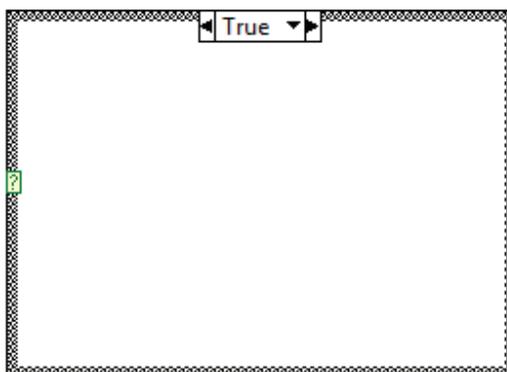


Figura 66. Estructura Case.

Se escogió la función *case* por la capacidad de trabajar con los procesos independientemente de otros, para que no exista un desborde en la memoria del computador o se genere retardos al procesar la información en el sistema. Además en todos los casos se colocó un *Invoke Node* de cada una de las gráficas que están en los otros casos, para que reinicien los valores previamente graficados pues, en LabView al realizar una gráfica, la misma queda memorizada, en pocas palabras aunque el usuario se encuentre en otra pantalla la imagen de la pantalla anterior seguía memorizada, lo cual consumía memoria del buffer y cuando el usuario realizaba varios procesos la memoria se desbordaba.

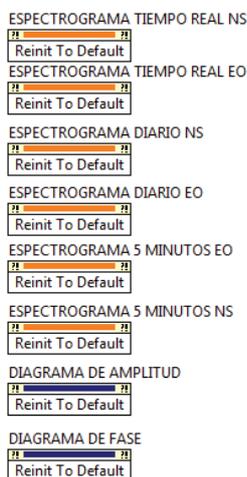


Figura 67. Invoke Node de cada gráfica

3.2.3.COMUNICACIÓN SERIAL Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PROVENIENTE DEL GPS.

Una vez que se obtuvo niveles de voltaje compatibles entre cada dispositivo se realizó un programa que permita leer los datos que el módulo GPS envía constantemente por defecto. En él, es necesario configurar el puerto de comunicaciones tanto en el computador como en la programación, de manera que no exista conflicto entre el dispositivo y el computador.

No es necesario que la configuración del puerto y el establecimiento del buffer de entrada sea una acción que se la realice constantemente, es decir, con establecer estos parámetros en primera instancia es suficiente para lograr comunicar el computador con el módulo GPS. No siendo así el caso de la lectura, ya que esta acción se la debe realizar en todo momento, razón por la cual, esta sección de programación se encuentra dentro del lazo while del programa principal.

Los parámetros del puerto de comunicaciones son valores constantes debido a que estos nunca van a variar, al igual que los valores por defecto con los que el GPS está configurado. Únicamente se tiene un controlador que permita escoger el puerto de comunicaciones.

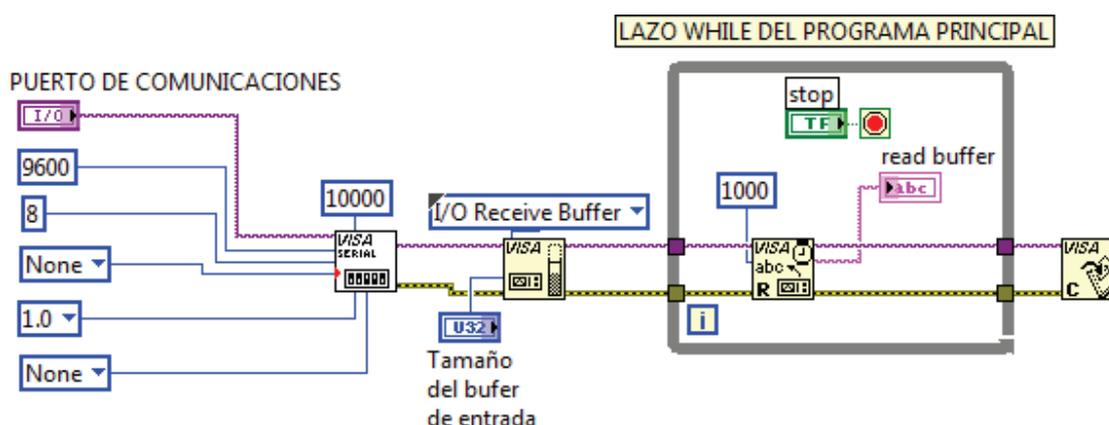


Figura 68. Programación de la recepción serial.

El GPS utilizado envía la información a través del puerto serial en el formato antes explicado, del cual utilizamos la información de fecha y hora en formato UTC para la creación de los archivos que se van a crear posteriormente, mientras que los datos de latitud y longitud enviados por el GPS son presentados en pantalla para que el usuario pueda observar la locación del proyecto.

Para la creación de los archivos los datos de fecha y hora son modificados en su nomenclatura para que puedan ser reconocidos como nombres de los archivos y tengan una visualización legible y entendible para el usuario, de la siguiente manera:

DD_MM_AA HH_MM_SS

Una vez que el mensaje está con la configuración deseada es enviada en formato string al SubVI “Adquisición_Almacenamiento”, para que dentro del subvi mencionado se haga la respectiva concatenación y transformación de formato string a formato path que acepta el computador como dirección y nombre de archivos.

En cambio, los datos de latitud y longitud recibidos desde el GPS son también modificados en su nomenclatura con la finalidad de obtener un formato en grados, minutos y segundos, que pueden ser reconocidos por el usuario, ya que estos datos se presentan en la parte superior de la interfaz.

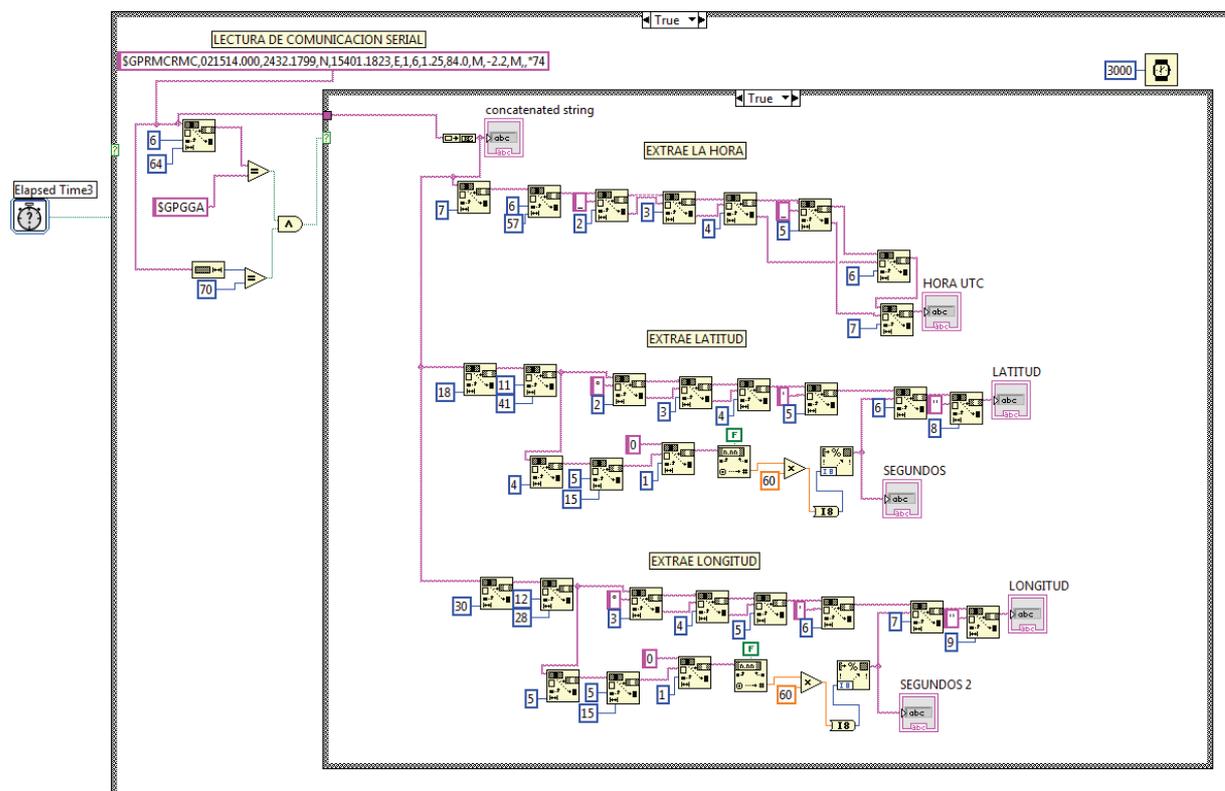


Figura69. Procesamiento de la información proveniente del GPS.

3.2.4.SUBVI “ADQUISICIÓN_ALMACENAMIENTO”

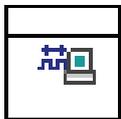


Figura 70. Icono del SubVI Adquisición_Almacenamiento

LabView permite crear Subvis para luego ser utilizadas como funciones en el Vi principal, basándose en esta facilidad que ofrece el software se creó un subvi, el cual cumple con la función de adquisición, filtrado y almacenamiento de las señales provenientes del sensor.

Este subvi consta de 3 etapas principales:

- Adquisición de Datos.
- Filtrado y selección de señales.
- Direccionamiento y almacenamiento de las señales.

3.2.4.1. ADQUISICIÓN DE DATOS



Figura 71. Daq Assitant.vi

- Aquí se configura los puertos físicos de entrada de la Tarjeta de Adquisición de National Instrument, así como la configuración del tipo de adquisición y sus diferentes parámetros.
- El DAQ Assistant.vi presenta los parámetros “Samples to Read” y “Rate”, donde:

Samples to Read: es una cuenta de las muestras para leer o recuperar.

Rate: Es la frecuencia de muestreo, que también se presenta como las muestras por segundo.

- Se adquiere las señales de las 2 antenas con los siguientes parámetros de (2.56).

Donde $f_{max} = 30kHz$ es la frecuencia máxima a trabajar para estas señales VLF.

Por lo tanto la frecuencia de muestreo es:

$$f_s = 2 * f_{max}$$

$$f_s = 60kHz$$

- Se toman 50000 muestras para leer, las mismas que son divididas equitativamente para cada señal provenientes de las antenas quedando como resultado 25000 muestras para leer para cada señal.
- Los parámetros previamente indicados nos permiten además de tomar los datos necesarios ayudan a incrementar la memoria del buffer de la Tarjeta de Adquisición de acuerdo a la siguiente información:

Sample Rate	Buffer Size
0 - 100 S/s	1 kS
100 - 10,000 S/s	10 kS
10,000 - 1,000,000 S/s	100 kS
> 1,000,000 S/s	1 MS

Figura 72. Asignación de Buffer al tomar muestras continuas. [8]

- En el DAQ Assistant.vi se creó dos entradas análogas con las siguientes configuraciones:
 - Adquisición de datos de manera continua.
 - Entradas RSE, que indica que las tierras de las señales son diferentes y la tarjeta de adquisición asigna una tierra propia para la identificación de las señales.

- Finalmente se resetea el VI de adquisición de Datos cada 5 minutos para evitar desborde de memoria del buffer de la DAQ.

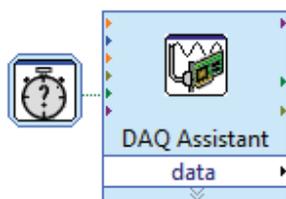


Figura 73. Reseteo de la DAQ cada 5 minutos.

3.2.4.2. FILTRADO Y SELECCIÓN DE SEÑALES.

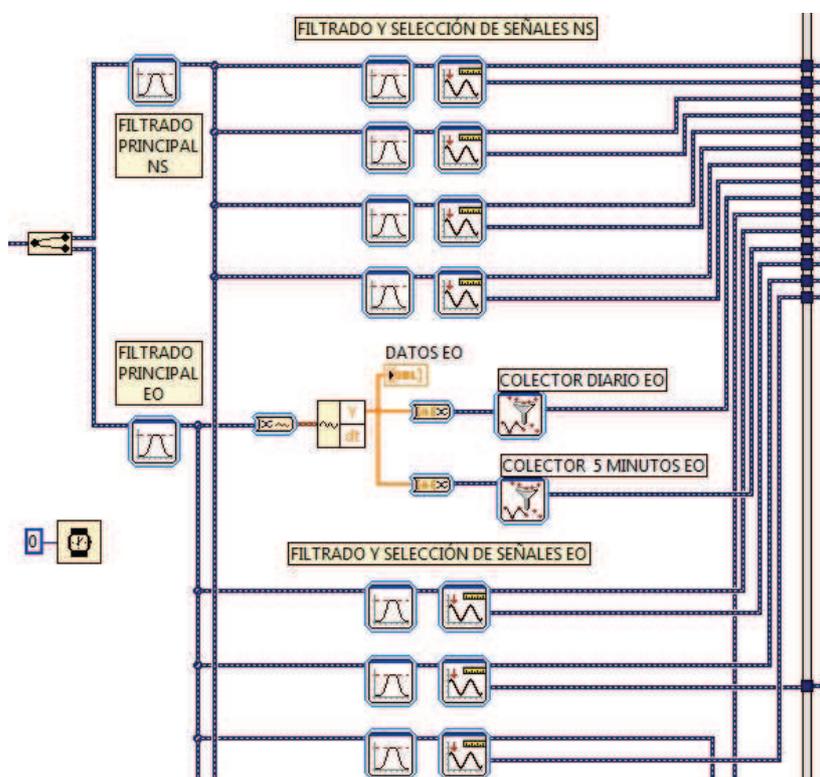


Figura 74. Filtrado y selección de señales.

Principalmente esta etapa sirve para complementar el filtrado por hardware de cada una de las señales adquiridas mediante un filtro principal pasabandas de Butterworth de orden 10 con un ancho de banda de 3 kHz a 30 kHz. También se utilizan filtros secundarios pasabanda de Butterworth de orden 10 con un ancho de banda de corte designado para cada una de las frecuencias de los transmisores

detectados, para que sean adquiridos en dichas frecuencias los valores de amplitud y fase, y posteriormente ser almacenados.

Se ha elegido un filtro de orden 10 basado en la teoría de filtros pasabandas donde mientras más alto el orden del filtro, las pendientes de corte serán menores, aprovechando esta propiedad, para hacer un corte que no permita la interferencia de frecuencias vecinas.

En esta etapa también es importante mencionar que se encuentran las salidas del SubVI, las mismas son utilizadas en el VI principal para graficar las señales en tiempo real, es decir, estas señales son enviadas instantáneamente y no almacenadas, pero antes de ser enviadas las señales son descompuestas enviando solamente los datos "Y".

Debido a la gran cantidad de datos que adquirimos, para almacenar los mismos tenemos que hacer una selección de cuantos datos vamos a guardar, puesto que si guardamos todos los datos adquiridos se crearán archivos demasiados grandes como para ser leídos posteriormente. De esta manera se ha determinado guardar aproximadamente 361000 muestras en cinco minutos, aproximadamente 415140 muestras por día y 69941 datos para los diagramas tanto de amplitud como de fase, creando así archivos cercanos a los 3 Mb de memoria de disco, con la excepción de los de amplitud y fase los cuales ocupan 608 kb de memoria.

De esta manera la resolución de las gráficas es la óptima de acuerdo a su representación de la siguiente manera:

- Los archivos para las gráficas de días toman aproximadamente 5 datos por segundo, lo que significa que observaremos el comportamiento de las señales desde un punto más amplio.
- Los archivos de las gráficas de 5 minutos toman aproximadamente 1203 datos por segundo, permitiéndonos ver con más detalle y precisión las diferentes variaciones de las señales adquiridas.

- Los archivos de amplitud y fase son valores que se obtienen de la señal principal de la cual se adquiere los valores más significativos de esa manera se toman aproximadamente un dato por cada 1.2 segundos, con la finalidad de observar la tendencia de la señal entre el día y la noche, además de cambios bruscos en las señales.

En tanto, a la selección de las señales obtenidas de los transmisores, se lo realizó mediante un VI que nos permite escoger un ancho de banda en el cual se obtiene los valores de fase y amplitud dentro del dominio previamente indicado. De esta manera almacenamos los valores de fase y amplitud para cuando sea necesario adquirirlos para realizar los diagramas correspondientes.

3.2.4.3. DIRECCIONAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE LAS SEÑALES.

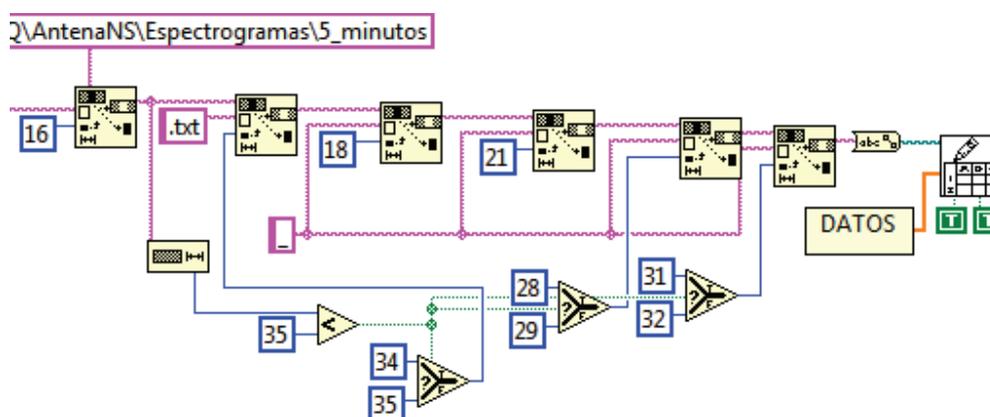


Figura 75. Direccionamiento y almacenamiento de las señales.

En esta etapa se crea un documento .txt en el cual se guarda la información de la señal recibida de manera discreta. Este bloque de guardado se lo utiliza para almacenar los valores de la señal obtenida directamente de la DAQ (previamente reducidos), así como los valores filtrados y seleccionados de cada una de las señales provenientes de los transmisores identificados.

El bloque trabaja de la siguiente manera:

- Se ingresa como una constante el string principal el mismo lleva la ubicación donde se alojará el documento.
- Se adquiere el string de la hora y fecha en la cual está creando el documento lo cual hace que se genere un string nuevo cada tiempo designado.
- Al unir estos dos textos anteriormente se crea el path deseado, pero se tiene que modificar los textos con la finalidad de reemplazar en los strings, símbolos que no son aceptados como direcciones, ya que el formato de fecha y hora es DD/MM/AA HH:MM:SS, donde tanto "/" y ":" no son símbolos aceptados para la creación de una dirección en Windows, por lo tanto son reemplazados por "_" quedando de la siguiente manera:

DD_MM_AA HH_MM_SS

- Los comparadores y los selectores cumplen la función de corregir el error que ocurre al momento de cambiar de hora por ejemplo: el número de caracteres no es el mismo al crear un documento a las 9_00_00 a que a las 21_00_00 ya que en el primero tiene un dígito menos que el otro, es por ese motivo que la corrección se lo programó automáticamente. De esta manera para que se guarde como documento al final de todo el string se coloca el string ".txt", formando así la dirección a trabajar:

D:\DIRECCION\ DD_MM_AA HH_MM_SS.txt

- Finalmente se transforma el texto que está en formato string a una dirección en formato path para ingresar al VI que crea el documento .txt donde se almacena la información deseada.

Es importante señalar que la forma de almacenamiento dentro del documento .txt es de una manera de columna, ya que los valores pese a ser insertados en forma de fila, éstos son cambiados a columna para que de esta forma al leerlos sea de una manera más óptima y su visualización al abrir el documento no sea confusa para el usuario.

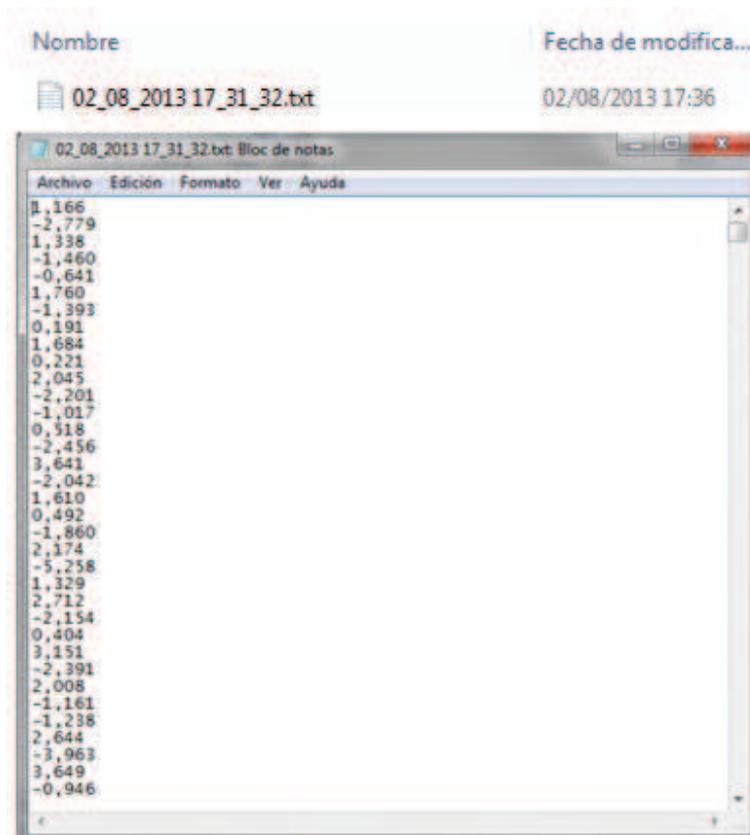


Figura 76. Datos almacenados en documento .txt

3.2.4.3.1. CREACIÓN DE CARPETAS PARA EL ALMACENAMIENTO

Se implementó un VI fuera de todo el programa que debe ser ejecutado por una sola vez antes de empezar a utilizar el Sistema VLF OAQ. La finalidad de diseñar este VI es crear todas las carpetas en las que se va a almacenar la información, de manera que todos los datos se encuentren archivados ordenadamente y puedan ser consultados y visualizados sin dificultad.

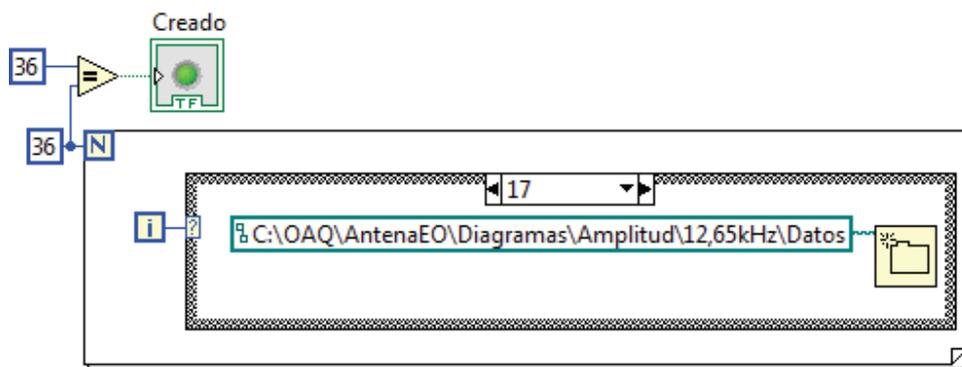


Figura 77. Creación de carpetas.

El funcionamiento es sencillo, se crearon un número adecuado de casos en los que se mencione cada carpeta en su orden adecuado. Por ejemplo, en la Figura anterior, las carpetas creadas en el disco C son: OAQ, AntenaEO, Diagramas, Amplitud, 12.65 kHz y Datos. Se puede observar que la carpeta principal es la carpeta OAQ y el resto son sub carpetas, una dentro de otra. Así logramos tener la información almacenada ordenadamente para evitar confusiones posteriores.

El lazo for debe ejecutar las ordenes desde el caso 0 hasta el caso n. Obteniendo las siguientes carpetas (para la antena NS):

- OAQ
 - ANTENA NS
 - Diagramas
 - Fase
 - 14.30 kHz
 - Datos
 - Image
 - 19.80 kHz
 - Datos
 - Image
 - 20.20 kHz

- Datos
 - Image
 - 24.00 kHz
 - Datos
 - Image
- Amplitud
 - 14.30 kHz
 - Datos
 - Image
 - 19.80 kHz
 - Datos
 - Image
 - 20.20 kHz
 - Datos
 - Image
 - 24.00 kHz
 - Datos
 - Image
- Espectrogramas
 - 5 minutos
 - Datos
 - Image
 - Diario
 - Datos
 - Image

De igual manera, se crean las carpetas y sub carpetas para la antena EO.

3.2.5.CONTROL DE CASOS

Para controlar los casos se ha utilizado dos funciones importantes de LabView:

- Tab Control.
- Ring Menu.

3.2.5.1. TAB CONTROL

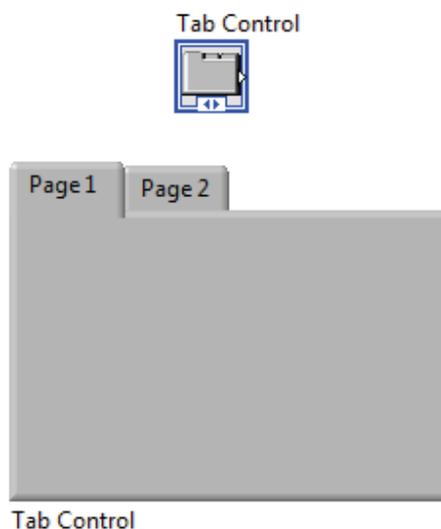


Figura 78. Tab Control en el panel frontal y en diagrama de bloques.

Este VI sirve para que se pueda observar en pantalla las diferentes etapas del sistema en forma de pestañas, la pantalla por defecto es la de inicio, la misma que sirve como presentación cuando el usuario no se encuentra manejando el sistema, pues el mismo trabaja en forma continua recolectando los datos y almacenándolos hasta que el usuario requiera usarlos.

3.2.5.2. RING MENÚ

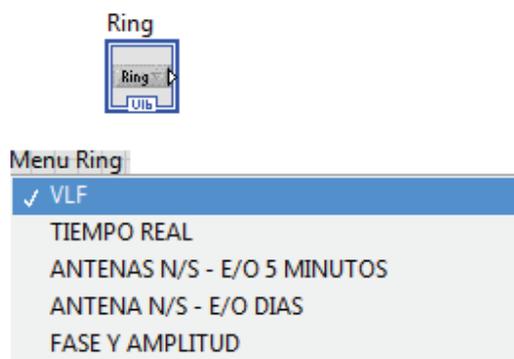


Figura 79. Ring Menu panel Frontal y en diagramas de bloques

Este VI sirve para comandar el *Tab Control* como la *Estructura Case*, en cual a cada una de las opciones presentadas se le asigna un valor numérico el mismo que indica a que caso y a que tab desea el usuario acceder, como este dato ingresa instantáneamente a los dos VI, antes mencionados, la interfaz que maneja el usuario es muy fácil y práctica.

Adicionalmente se creó un caso extra el cual no puede ser visto ni manipulado por el usuario, con la función de enviar a la pantalla principal el programa cada media hora. El acceso a este caso es automático y fue diseñado para evitar que la memoria del buffer se desborde por dejar el sistema en una de las opciones donde se tienen gráficas de una alta resolución que consumiría memoria innecesariamente, a través de un contador de tiempo enviamos cada media hora una señal al *Menu Ring* para que éste se coloque en la opción *Reset*, la cual envía un valor al caso correspondiente dentro del mismo tiene un *Invoke Node* del *Menu Ring* que por defecto es el de la pantalla principal. De esta manera nos aseguramos que sea por olvido o por mal uso del sistema no se afecte ni se interrumpa la adquisición de datos.

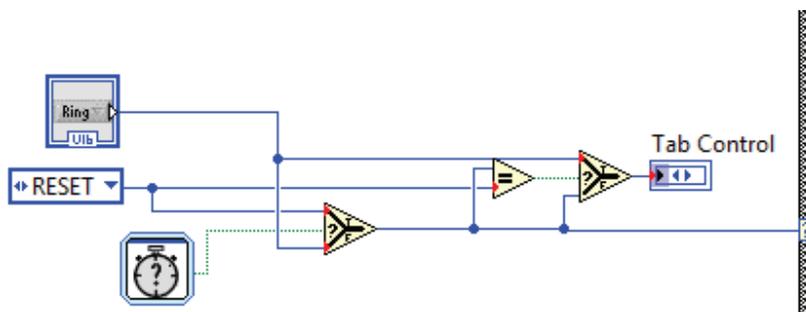


Figura 80. Control automático para la pantalla principal.

3.2.6.DISEÑO DEL ESPECTROGRAMA

Un espectrograma es una representación gráfica que contiene datos de frecuencia, amplitud y tiempo. En el eje X se denota el tiempo, en el eje Y se puede observar la frecuencia de una o más señales y en el eje Z, mediante colores, se puede conocer la potencia.

Para la programación del espectrograma se utilizó el siguiente procedimiento:

Tras la adquisición de datos mediante la tarjeta NI PCI 6034E tenemos una única salida en la que se tienen las señales provenientes de las dos antenas, por esta razón es necesario separarlas, además, debido a que los datos son de tipo dinámico se procedió a cambiarlos a un arreglo de escalares de 1D de modo que este tipo de dato pueda ser utilizado como entrada para realizar el espectrograma como se muestra en la Figura 81:

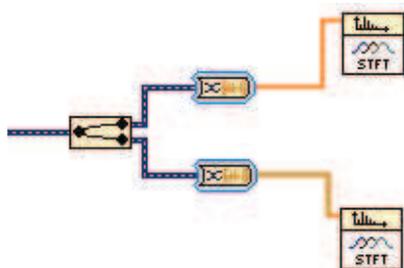


Figura 81. Separación y conversión de la salida del VI Daq Assistant.

La información primeramente es separada en fragmentos los cuales son determinados por la función ventana, esta al ser multiplicada por la señal en estudio, limita la cantidad de muestras a ser analizadas. La longitud final de la ventana es:

- 2048 muestras para visualización diaria, y de cada cinco minutos
- 1024 muestras para visualización en tiempo real.

La función ventana que ofrece mejor respuesta en frecuencia es la Gaussiana, la cual fue utilizada en el procesamiento de las señales. La ventana afecta la resolución tanto en tiempo como en frecuencia.

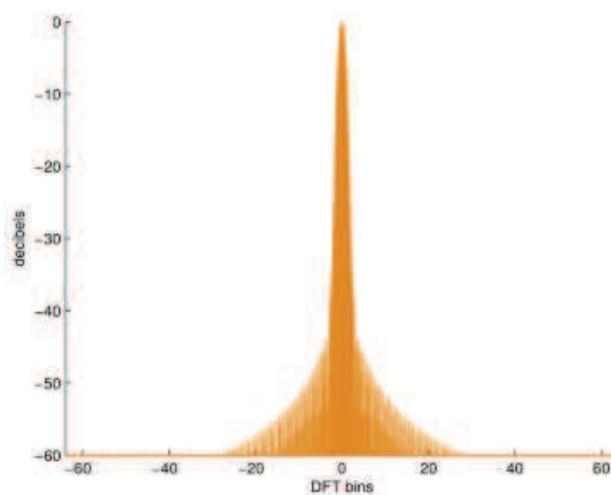


Figura 82. Respuesta en frecuencia Función Ventana (Gauss $\sigma = 0,4$) [9]

Posteriormente los fragmentos se traslapan unos con otros para poder reducir imperfecciones o discontinuidades en sus fronteras. La separación entre fragmentos está determinado por el valor en time steps, LabView coloca el número adecuado de muestras de manera que estas no excedan las 512 muestras o filas de datos en el espectrograma.

Cada fragmento pasa por una transformada rápida de Fourier de N puntos (frequency bins), así se obtiene el contenido frecuencial de cada bloque. Finalmente el primer segmento es alineado con la primera muestra de la señal en el dominio del tiempo y

los siguientes segmentos son separados por el valor en time steps o espacio entre muestras.

Finalmente, el espectrograma se calcula como el cuadrado de la magnitud de los valores resultantes de la transformada de Fourier de corto tiempo, estos datos del espectrograma calculado son transformados a dB, teniendo en cuenta que la señal de entrada posee datos de voltaje, mediante la siguiente fórmula:

$$Potencia (dB) = 10 \log(Voltaje)^2 \quad (2.69)$$

$$Potencia (dB) = 20 \log(Voltaje) \quad (2.70)$$

La resolución en el eje Y, o eje de frecuencia, depende de la frecuencia de Nyquist y del número de muestras en el bloque. El valor adecuado en el cual se obtuvo la mejor resolución fue de 2048 (2^{11}) puntos de una señal muestreada a 60 kS/s.

$$Resolución de frecuencia = \frac{Frecuencia de muestreo}{frecuency bin} \quad (2.71)$$

Reemplazando los valores requeridos tenemos:

$$Resolución de frecuencia = \frac{60000 \left(\frac{muestras}{segundo} \right)}{2048 \text{ muestras}}$$

$$Resolución de frecuencia = 29,296875 \text{ Hz} \quad (2.72)$$

Cada contenedor de frecuencia (frequency bin) representa la cantidad total de energía en esa frecuencia en particular. Así, el primer punto corresponde a 0 Hz (componente de continua), el siguiente punto corresponde a 29.296875 Hz, el tercer punto corresponde a 87,890625Hz y así sucesivamente. De esta manera, al llegar al número de muestras intermedio, el punto número 1024 corresponde a 29970.703125 Hz y en el punto 1025 obtenemos la información de frecuencia correspondiente a 30.000 Hz. Por el teorema de muestreo de Nyquist conocemos que para medir frecuencias de hasta 30 kHz, la frecuencia de muestreo debe ser mínimo de 60 kS/s.

Los puntos que son posteriores a la frecuencia de Nyquist presentan valores de frecuencia negativos. El punto 1026 corresponde a -29970.703125 Hz, el punto 1027 corresponde a -29941.40625 Hz y así sucesivamente hasta que por último obtengamos el valor de -29.296875 Hz.

En el eje x, debido a que existen 512 espacios entre cada fragmento de muestras se realizó un escalamiento para mostrar el tiempo de la muestra total entre 0 y 5 minutos dentro del espectrograma y de la misma forma en el espectrograma diario en el cual se muestra el tiempo entre 0 y 24 horas.

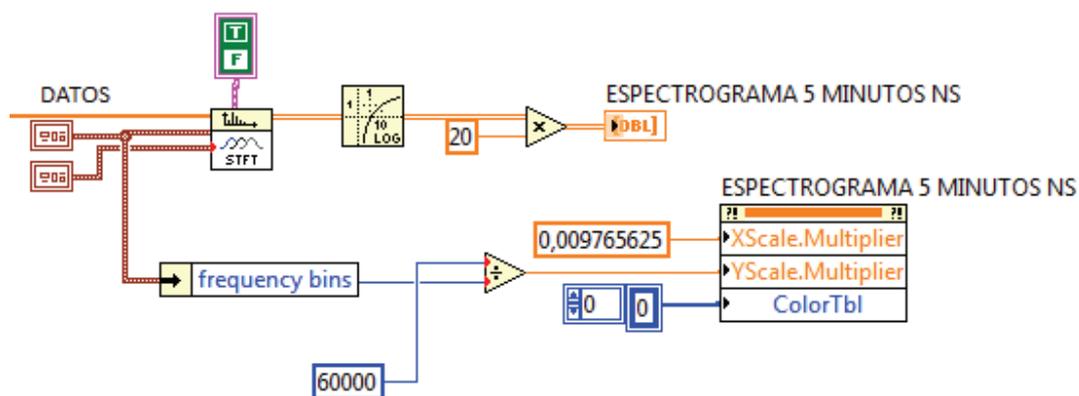


Figura 83. Programación del Espectrograma 5 minutos.

3.2.7. DIAGRAMA DE AMPLITUD

Tras haber guardado datos de amplitud y de fase para cada uno de los transmisores detectados por el sistema en sus respectivas direcciones es necesario leer estos archivos para poder procesarlos. Cada archivo almacenado es un arreglo de 1D y posee cierto número de filas (datos), para poder procesarlos es necesario convertir este arreglo en un dato dinámico. Una vez con el tipo de dato adecuado, se pasa los valores de voltaje a decibelios.

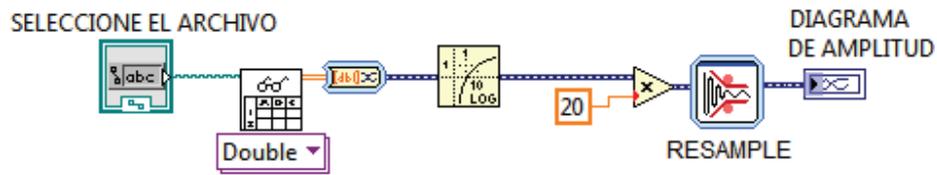


Figura 84. Programación del Diagrama de Amplitud

Para poder visualizar mejor la forma de onda, se realiza un nuevo muestreo mediante el vi *Resample*, el cual, de la gran cantidad de puntos de datos que adquiere, los comprime, realizando una media, en un número menor sin perder información importante.

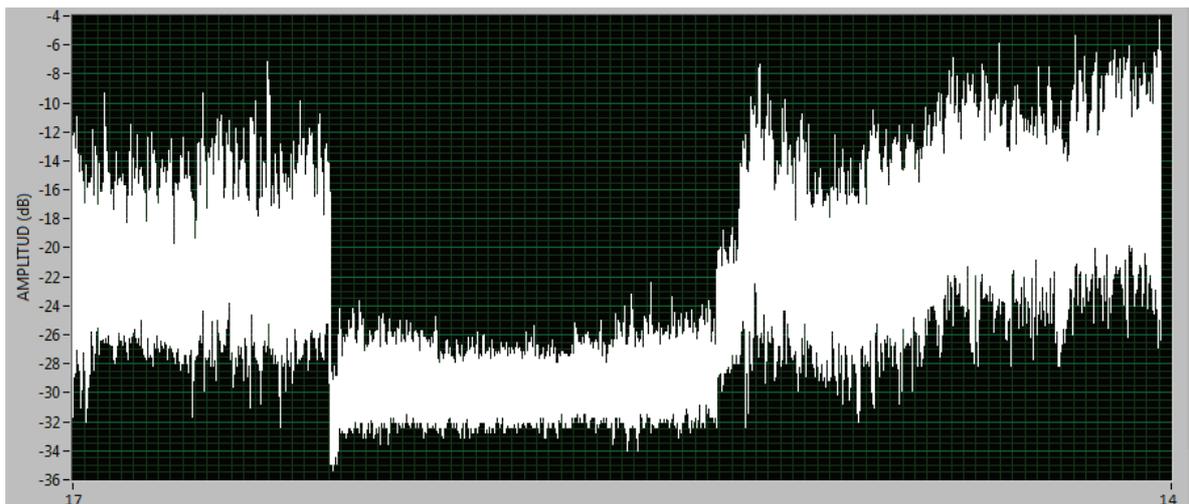


Figura 85. Diagrama de Amplitud de un transmisor de 18.20 kHz (sin Resample)

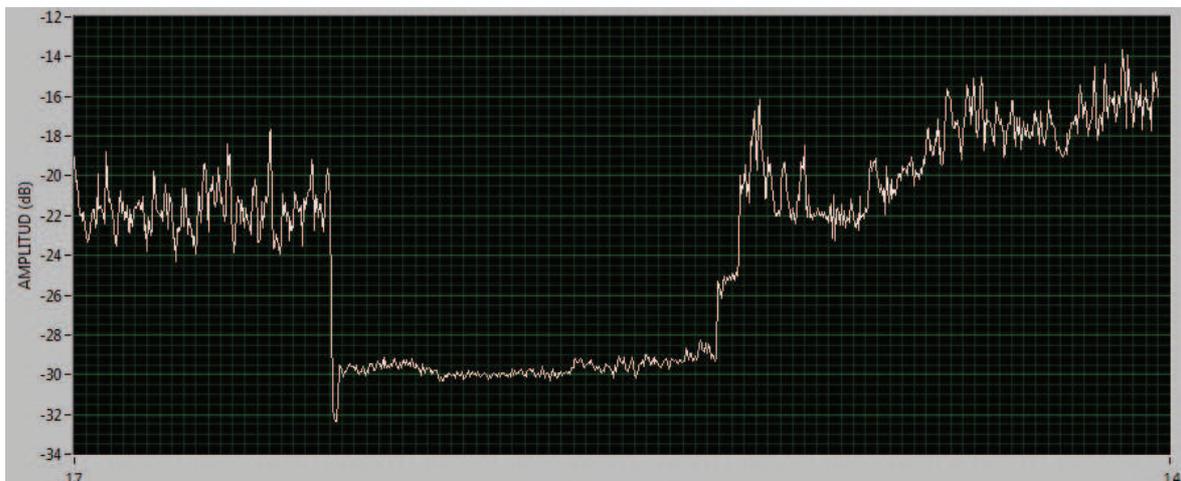


Figura 86. Diagrama de Amplitud de un transmisor de 18.20 kHz (con Resample)

3.2.8. DIAGRAMA DE FASE

De igual manera que en el diagrama de amplitud, los datos que son leídos deben ser convertidos a un tipo de dato con el que se pueda trabajar. Debido a que el VI *Tone Measurements* utiliza una transformada de Fourier y una ventana de Hanning para obtener los datos de amplitud, fase y frecuencia, los datos de fase almacenados (en grados) presentan ciertas discontinuidades en las fronteras de cada ventana, por lo que es necesario el desenvolver el arreglo de fase, para realizar esta acción se utilizó el vi *Unwrap phase*, el cual, aplica un arreglo matemático al existir una diferencia mayor a 180 grados entre dos datos adyacentes.

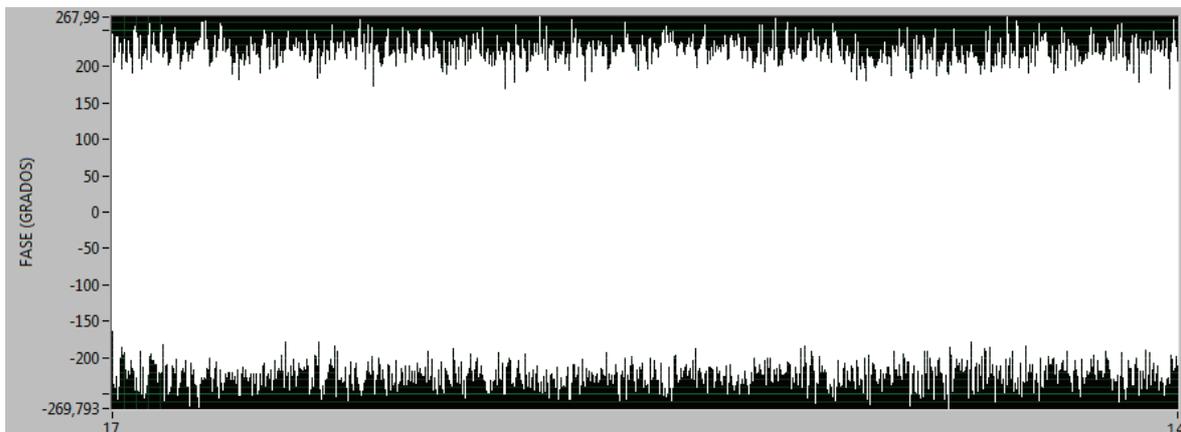


Figura 87. Diagrama de Fase de un transmisor de 18.20 kHz (sin desenvolver la fase)

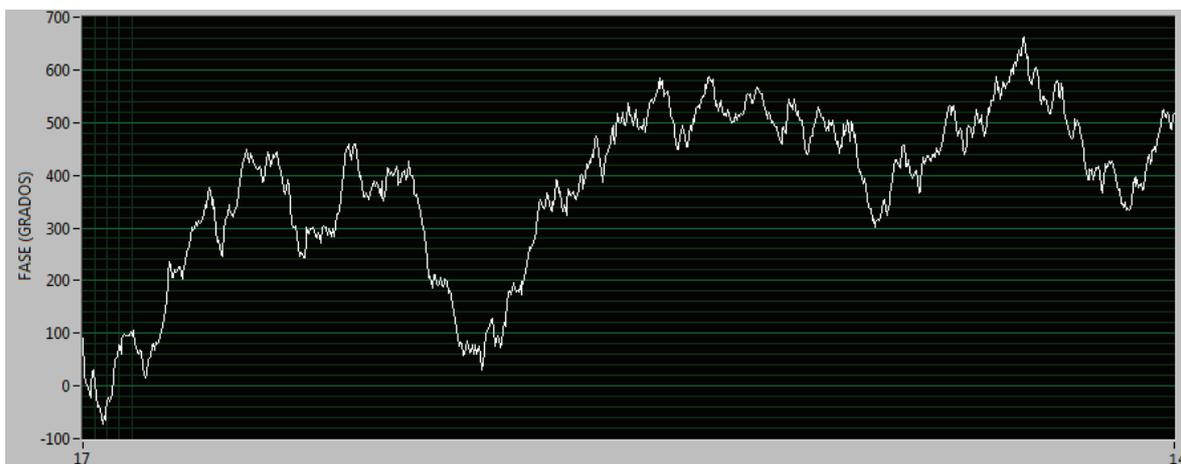


Figura 88. Diagrama de Fase de un transmisor de 18.20 kHz (Fase desenvuelta)

Finalmente, se procede a realizar un nuevo muestreo tal como se realizó en la programación del diagrama de amplitud.

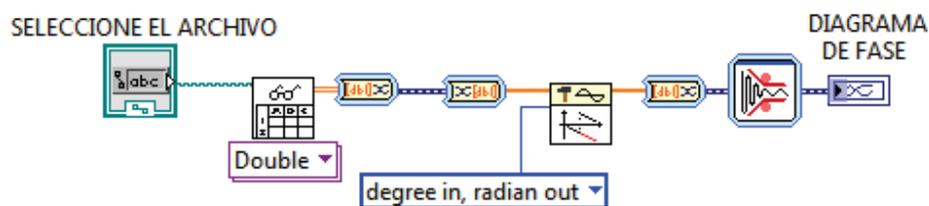


Figura 89. Programación del Diagrama de Fase

Además de almacenar la información de amplitud y fase en archivos de texto, se implementó una opción que permite guardar, si el usuario lo desea, la imagen del diagrama de fase y amplitud que se encuentre desplegada en formato BMP.

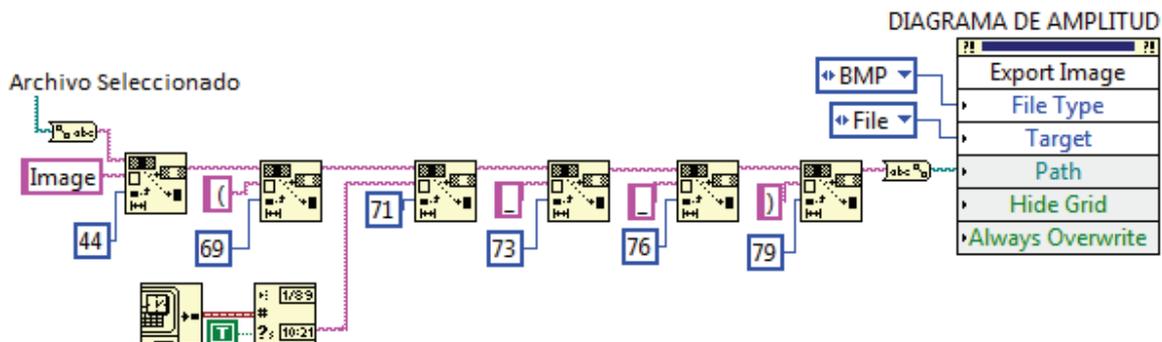


Figura 90. Programación para almacenar imágenes .bmp

Mediante la opción *Invoke Node* “Export Image” de las gráficas del diagrama de fase y amplitud podemos guardar la imagen seleccionando el tipo de archivo BMP, especificando el path y que se guardará como un archivo.

Partiendo de la dirección que se utilice para visualizar dichos diagramas (path) y utilizando la técnica empleada para el almacenamiento en archivos de texto de los datos, se reemplazó la carpeta de almacenamiento “Datos” por “Image”. Posteriormente, se adjunta la hora (HH_MM_SS) en la que la imagen fue almacenada.

Por ejemplo, en primera instancia, tras seleccionar un archivo, se tiene esta dirección (path):

D:\OAQ\AntenaNS\Diagramas\Amplitud\18,20kHz\Datos\12_09_2013 17_09_35.txt

Luego del procedimiento detallado y suponiendo que la hora en la que se ejecutó la orden de guardar la imagen es 17:30:15, la dirección resultante es:

D:\OAQ\AntenaNS\Diagramas\Amplitud\18,20kHz\Image\12_09_2013 17_09_35
(17_30_15).

El procedimiento se lo realiza para el diagrama de fase y para el de amplitud, sin embargo, Para ejecutar esta orden, esta sección de programación se encuentra dentro de una estructura Case, la cual es controlada mediante un botón "On/Off". Así, al presionar el botón "Guardar imagen", se almacenan tanto el diagrama de fase como el de amplitud cada una en su respectiva carpeta programada.

CAPÍTULO 4

4.PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1.PRUEBAS DEL SENSOR ANTENA

La primera prueba del sensor constó de la verificación de la existencia de una tensión generada en sus terminales mediante el osciloscopio. Existe un voltaje alterno de aproximadamente 6 Vp-p en la antena E-O y de aproximadamente 3 Vp-p en la antena N-S con la tendencia que se muestra en la Figura 91.

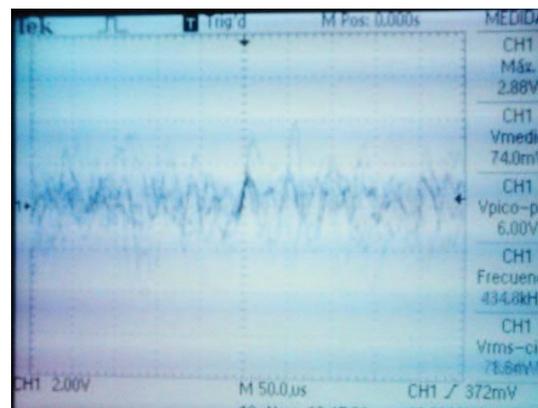


Figura 91. Forma de onda en los terminales del sensor.

Tras finalizar la amplificaci–n y filtrado se obtuvo las siguientes gr–ficas:

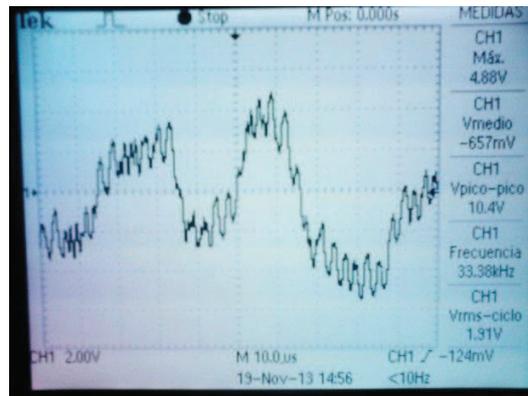


Figura92. Señal de entrada, circuito secundario. Antena NS



Figura93. Señal de entrada, circuito secundario. Antena EO.

Se pudo observar la presencia de ruido sobre la señal principal, por lo cual, se implementó un filtro antialiasing que además de preparar la señal para la discretización, disminuyó el ruido como se puede apreciar en las Figuras 94 y 95.



Figura94. Señal final. Antena NS

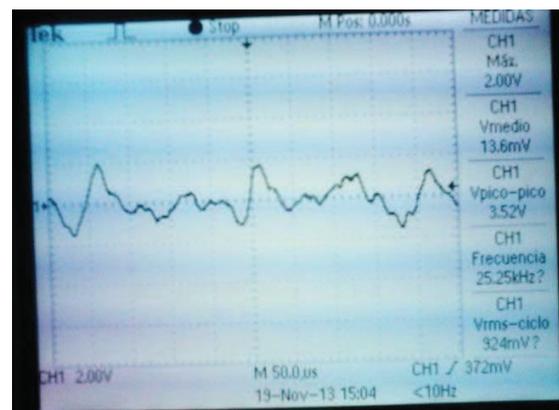


Figura95. Señal final. Antena EO.

Posteriormente, mediante un pequeño programa de recepción de señales audibles en LabView, en el que se utiliza la entrada Mic in, se procedió a conectar la señal pura al computador de manera que se pueda mostrar el espectro de frecuencias que capta cada antena para poder tener la certeza de que se esté recibiendo señales dentro del rango requerido.

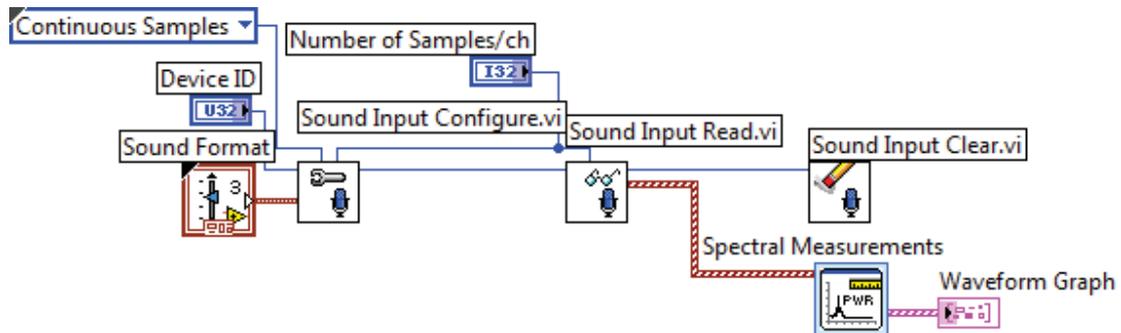


Figura 96. Programación de prueba

Para utilizar el Mic in del computador es necesario configurar la frecuencia de muestreo, ya que por defecto la frecuencia es de 44100 Hz, con ella únicamente podemos recibir señales de hasta 22050 Hz. Se configuro la entrada del micrófono para 96000 Hz. Las gráficas obtenidas son las siguientes:

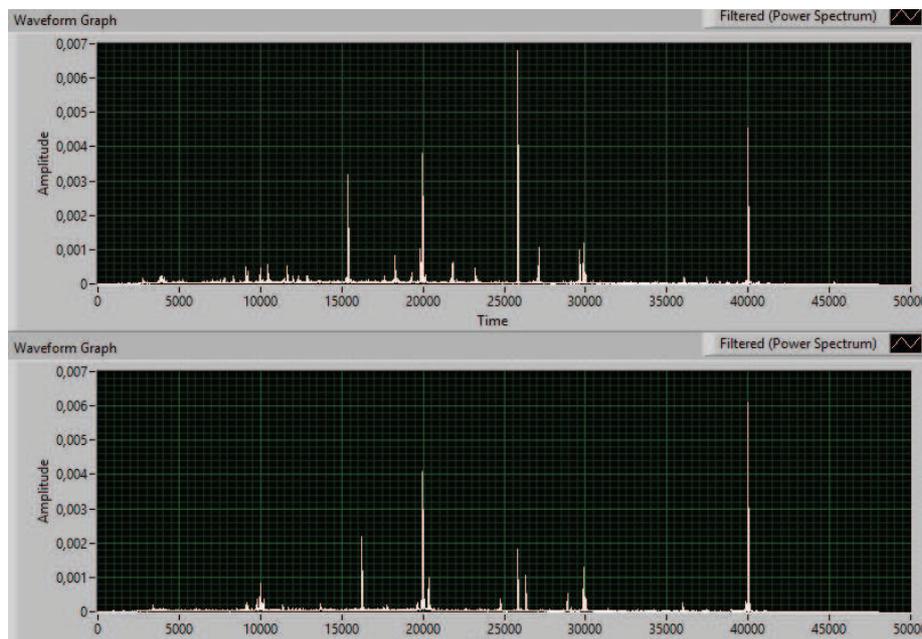


Figura 97. Primer resultado. Arriba antena NS, abajo antena EO.

Se pudo observar algunas señales en diferentes frecuencias que se encuentran dentro del rango diseñado. Por lo que los resultados obtenidos en esta instancia fueron satisfactorios.

4.1.1.MEDICIÓN DIFERENCIAL DE LA SEÑAL DE LA ANTENA

Para comprobar el voltaje de la señal proveniente de la antena se ha realizado la prueba de medición diferencial, la cual consiste en, conectar a cada extremo de la antena a dos puntas de prueba del osciloscopio para que en cada entrada se pueda apreciar el voltaje de la señal en su respectivo extremo y utilizando la función matemática del osciloscopio, realizar la resta entre las dos señales para así encontrar el voltaje existente entre las dos puntas.

Esta prueba se la realizó para cada una de las antenas, teniendo los siguientes resultados:

- ANTENA NORTE-SUR:



Figura98. Conexión prueba diferencial Antena NS

Como se puede observar en la figura 99, los voltajes que observamos en el osciloscopio corresponden de la siguiente manera. En la parte superior e inferior de la pantalla las señales en cada extremo de la antena, mientras que en el centro de la pantalla se puede observar el resultado de la resta matemática que realiza el osciloscopio. Además en la parte lateral derecha de la pantalla se puede observar los valores de voltaje de cada señal.

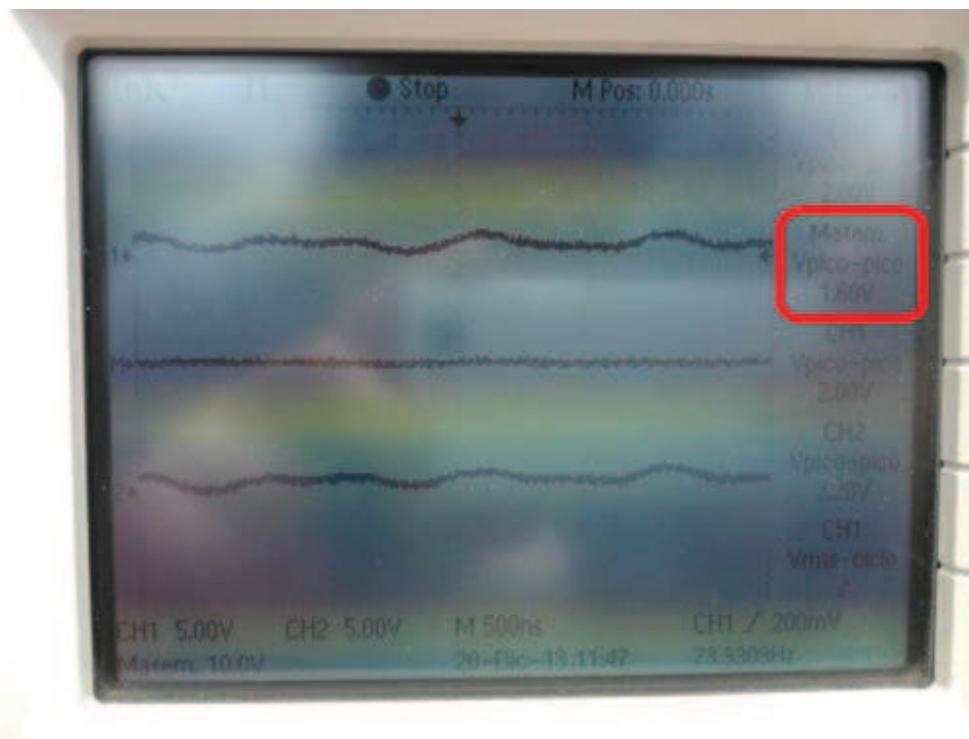


Figura99. Resultado de prueba diferencial antena NS.

El resultado de voltaje pico-pico es de 1.6V remarcado en la figura 99.

- ANTENA ESTE-OESTE:



Figura100. Conexión prueba diferencial Antena EO.

De la misma manera que en la medición de la antena NS se puede observar en la figura 101, las señales de los extremos de esta antena, así como la señal resultante de la diferencia de las señales y en la parte lateral de la pantalla del osciloscopio el valor del voltaje resultante.

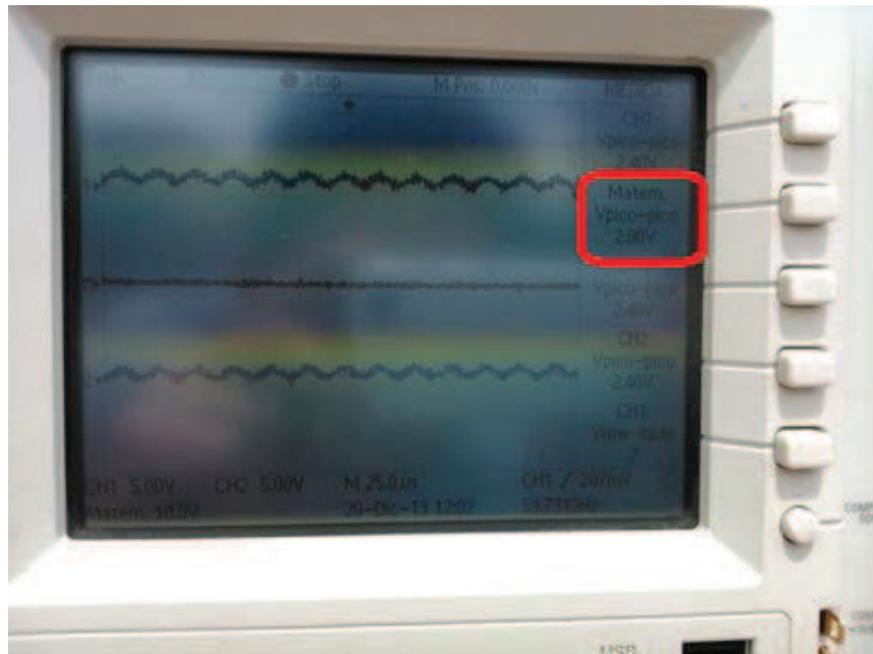


Figura101.Resultado de prueba diferencial antena NS.

El valor resultante es de 2V pico-pico de la resta matemática de las dos señales, remarcada en la figura 101.

En conclusión los valores de voltaje provenientes de la antena son valores similares a los observados previamente para el cálculo de los amplificadores de las señales. De esta manera se puede comprobar que los valores de las señales están en el orden de los voltios.

4.2.COMUNICACIÓN SERIAL PC-GPS

Mediante el hardware y la programación se pudo obtener los mensajes completos que el módulo envía constantemente por defecto. Se determinó además que los mensajes que envía el GPS llegan cada segundo (característica que ofrece el módulo SKM58).

El mensaje completo que contiene toda la información requerida para la aplicación, RMC, se le recibió, tras discriminarlo de entre los registros GGA, GSA Y GSV, de esta manera:

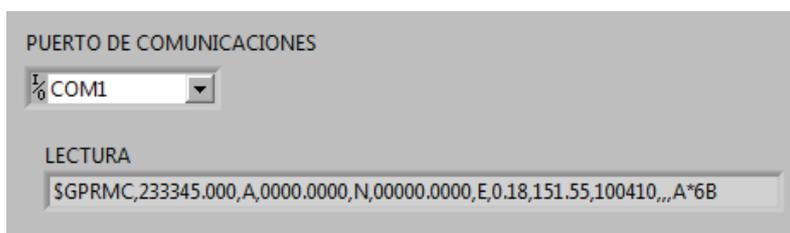


Figura 102. Lectura de la comunicación serial.

El contenido de toda la oración recibida es el siguiente:

Tabla 11. Descripción de la oración completa.

NOMBRE	INFORMACIÓN	DESCRIPCION
Message ID	\$GPRMC	Encabezado del protocolo
Posición UTS	233.345.000	hhmmss.sss
Status	A	A = dato válido or V = dato no válido
Latitude	0000.0000	ddmm.mmmm (grados, minutos)
N/S Indicator	N	N = Norte, S = Sur
Longitud	00000.0000	dddmm.mmmm (grados, minutos)
Indicador E/O	E	E = Este, W = Oeste
Velocidad sobre tierra	0,18 nudos	—
Curso sobre tierra	151.55 grados	Curso verdadero
Fecha (UTC)	100410	ddmmyy
Variación magnética	Null	null = no usado
Dirección de la variación magnética	Null	E = Este, W = Oeste (null = no usado)
Modo de arreglo	A	A = autónomo, N = no arreglado, D = DGPS, E = DR
Checksum	*6B	Suma de verificación
EOL	<CR><LF>	Fin del mensaje

El GPS necesita de aproximadamente 25 minutos para inicializarse por primera vez y de por lo menos 2 satélites para poder establecer todos los parámetros que contienen sus mensajes por defecto. Los primeros datos en sincronizarse son los de la fecha y la hora UTC. Posteriormente y paulatinamente, se va ajustando la posición geográfica hasta obtener el siguiente mensaje:

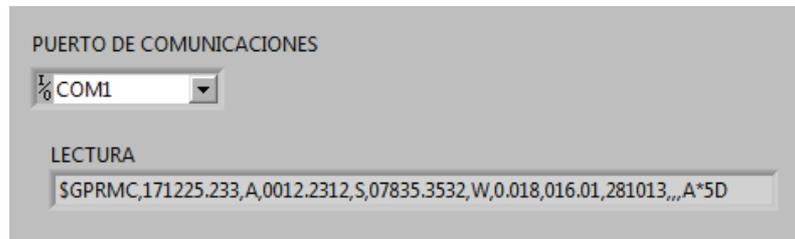


Figura 103. Mensaje con la información completa.

4.3. DIAGRAMAS DE FASE Y AMPLITUD

Los diagramas de amplitud y de fase obtenidos por el sistema desarrollado se basan en los diagramas mostrados por el equipo del proyecto AWESOME de la Universidad de Stanford donde a pesar de ser de años anteriores las gráficas resultantes son similares.

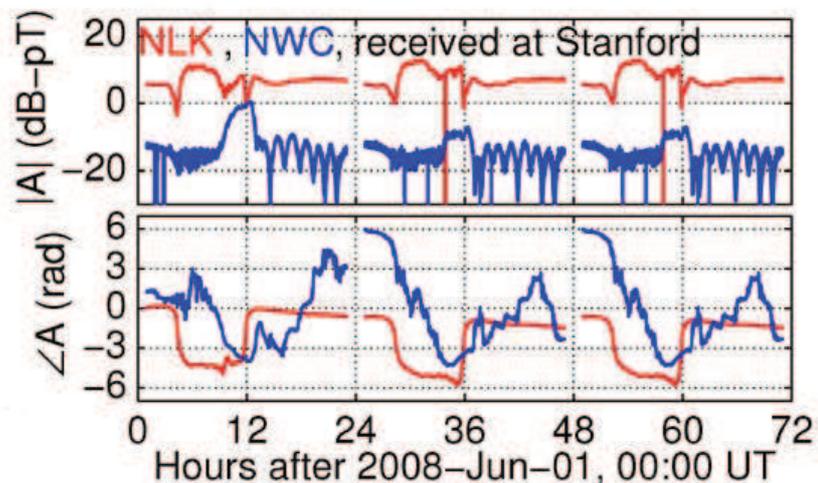


Figura 104. Diagramas de Fase y Amplitud proyecto AWESOME. [10]

También al comparar nuestros datos obtenidos con los diagramas del proyecto SAVNET de la Universidad Nacional de ICA de Perú coincidimos en el resultado de los diagramas obviamente que al comparar las mismas existen pequeñas diferencias producidas por las diferencia de fechas ya que los resultados provistos por los proyectos mencionados son a diferente tiempo tanto como lugar en el planeta.

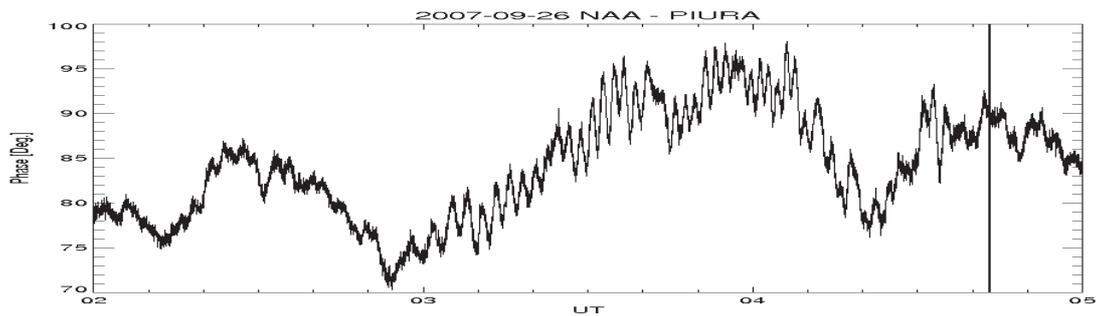


Figura105. Diagrama de Fase proyecto SAVNET. [11]

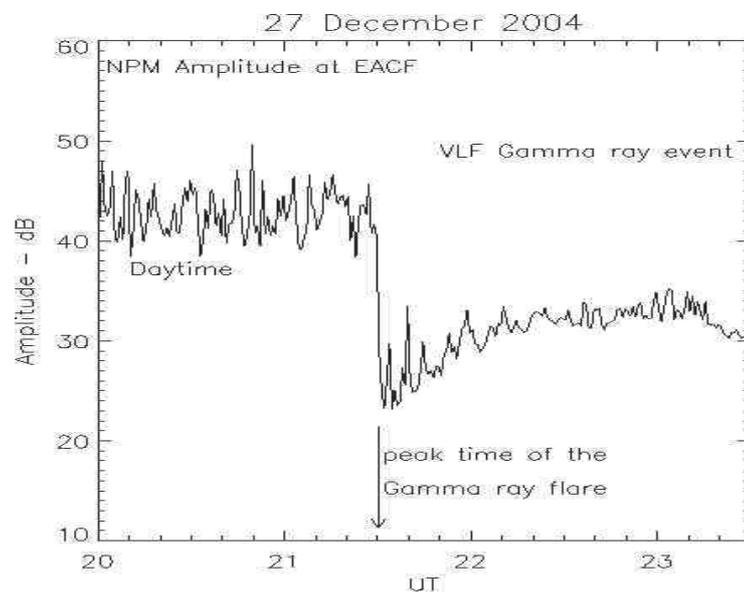


Figura106. Diagrama de Amplitud proyecto SAVNET [11]

Al observar las gráficas de los proyectos mencionados y comparar con los resultados de nuestro proyecto, se puede apreciar resultados similares en los diagramas de amplitud y los de fase como indica la Figura 107:



Figura107. Diagramas de Amplitud y Fase del proyecto.

Como conclusión, los datos obtenidos mediante el sistema permiten al usuario distinguir los cambios de amplitud y fase que se presentan en cada una de las señales captadas en el transcurso del día, mediante estas figuras se pueden realizar comparaciones entre cada día, así se podrían establecer tendencias de dichas variaciones y de esa manera detectar anomalías provocadas por algún fenómeno.

4.4.ESPECTROGRAMAS

El espectrograma que podemos observar en la Figura 108, es el resultado de la investigación en el proyecto AWESOME, que se dedica a captar las mismas señales que nuestro proyecto con la diferencia de que está ubicado en otra parte del mundo, se pueden comparar las señales obtenidas por ellos.

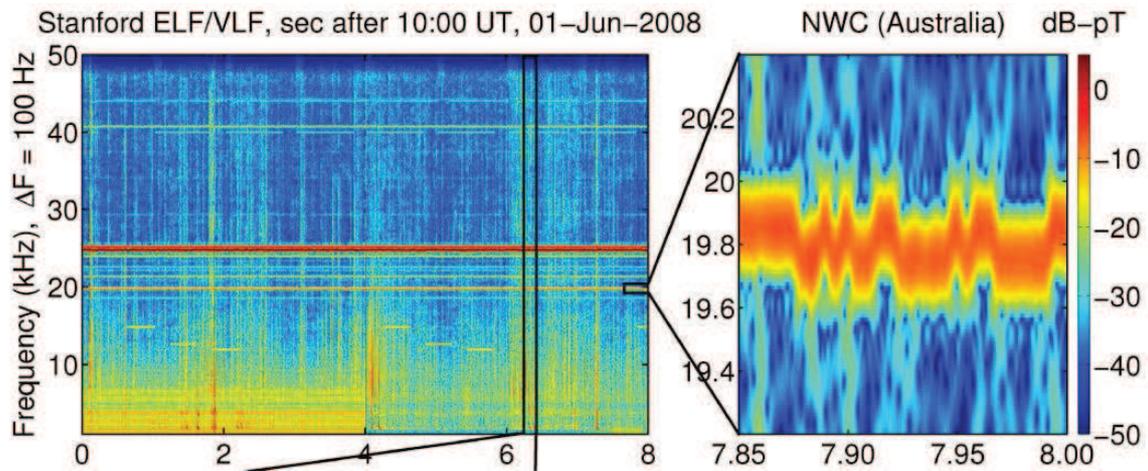


Figura108. Espectrograma proyecto AWESOME [10]

La Figura 109 es uno de nuestros archivos presentados en el sistema en el cual se puede apreciar algunas de las señales captadas y si hacemos un acercamiento a una de ellas se observa que la forma de la señal tiene similares características a la señal captada en AWESOME.

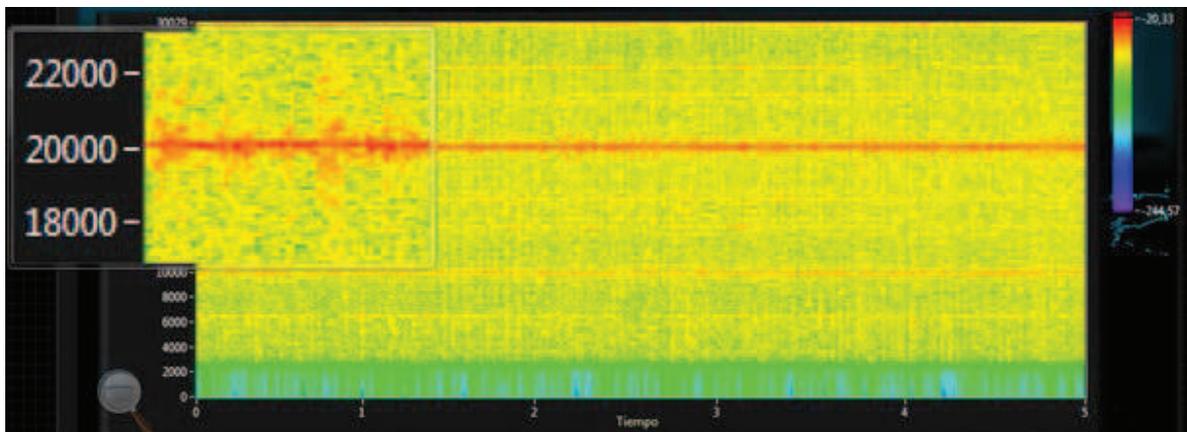


Figura109. Espectrograma 5 minutos antena N/S del sistema VLF.

En la Figura 110 de un espectrograma de cinco minutos, se puede observar el fenómeno llamado spheric, el cual se produce por la radiación producida por un rayo.

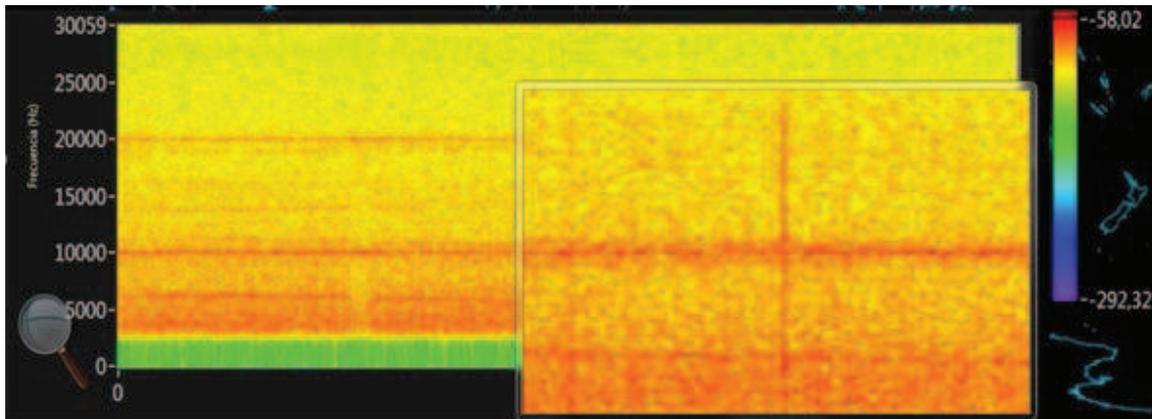


Figura110. Detalle de un spheric en el espectrograma de 5 minutos.

En la Figura 111 se puede observar un espectrograma de un día completo, en él, se distinguen los efectos de la radiación solar en la ionósfera en el día y en la noche, en la parte central (color verde) apreciamos un decremento en la potencia de las señales captadas, así como también de menor ruido. Además se puede distinguir la radiación solar de la tarde (lado izquierdo) y la radiación solar de la mañana (lado derecho).

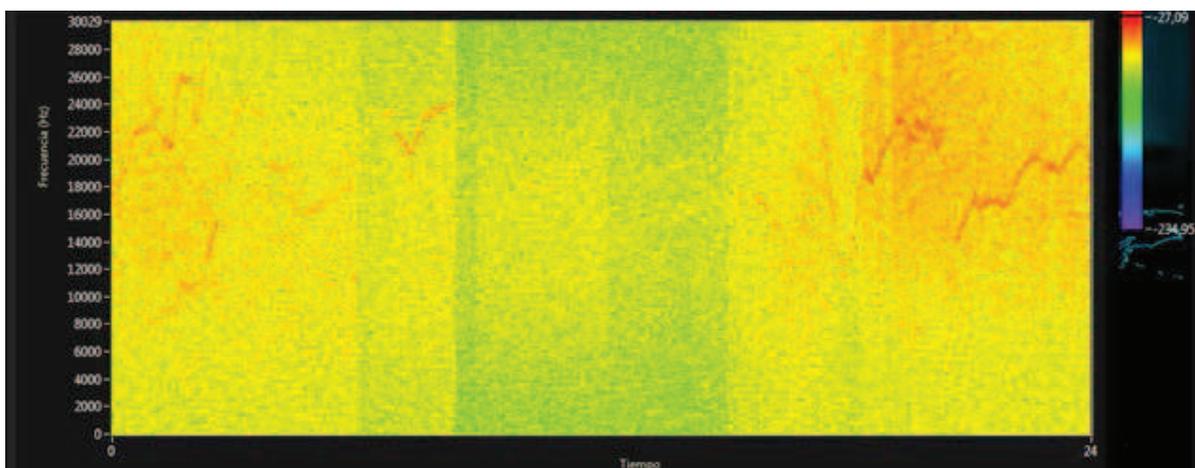


Figura111. Espectrograma de un día completo.

En la Figura 112, se puede observar la llegada de algunos spherics., de lo que podemos concluir que han existido rayos atmosféricos dentro del radio de algunos miles de kilómetros de la antena receptora. Debido a la intensidad se puede decir que la actividad fue cercana.

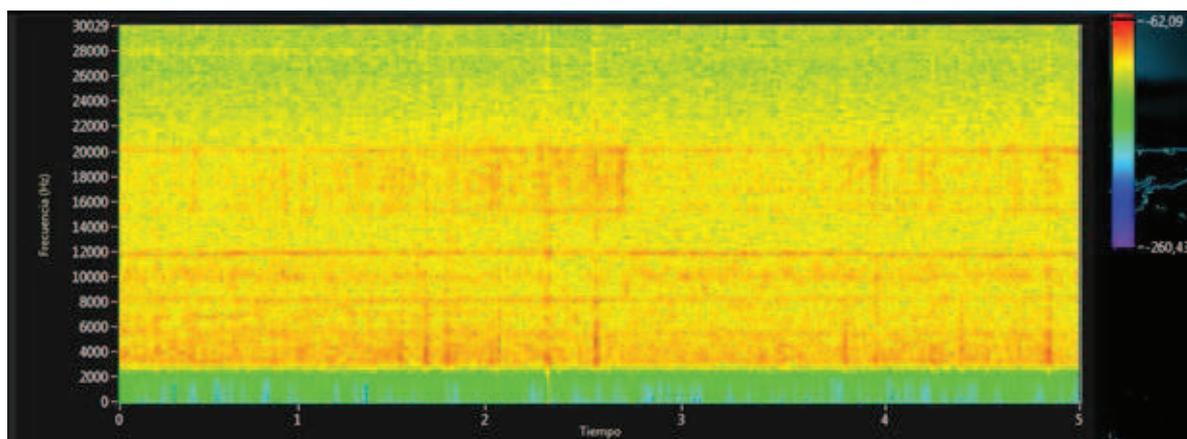


Figura 112. Fenómenos observados en espectrograma de cinco minutos, antena E/O.

En conclusión, observando las Figuras 110, 111 y 112 el sistema fue capaz de captar diferentes fenómenos en sus distintas configuraciones (cinco minutos y diario), además de distinguir los transmisores que se detectan en esta zona del globo terráqueo.

Los transmisores de señales de muy baja frecuencia se los puede observar en la página <http://www.mwlist.org/vlf.php>, en la cual existe una lista completa y la ubicación en la que se encuentra cada transmisor. Los transmisores captados por el Sistema VLF en nuestra zona son:

- Alpha/RSDN-20. Ubicado en Rusia, la frecuencia a la que trabaja es de 12.65 kHz.
- HWU. Ubicado en Francia, la frecuencia a la que trabaja es de 22.60 kHz.
- ICV. Ubicado en Italia, la frecuencia a la que trabaja es de 20.30 kHz.
- RDL. Ubicado en Rusia, la frecuencia a la que trabaja es de 18.90 kHz.

CAPÍTULO 5

5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se diseñó y construyó el sensor (antena) según las especificaciones necesarias para captar los diferentes transmisores, en términos de rangos de frecuencia, para lo cual fue imprescindible el seguir lo más estrictamente posible los parámetros establecidos en el diseño como: la longitud y diámetro del conductor, posición correcta al enrollar el cable, y la longitud de los lados del lazo ya que cada uno de ellos está involucrado en la correcta recepción de las señales.
- Se diseñó e implementó el hardware necesario para trabajar con señales de baja amplitud (propensas a interferencias), para lo cual, se utilizó amplificadores operacionales de bajo ruido, de modo que las etapas de filtrado y amplificación no tengan información errónea. De igual manera fue necesario implementar un acoplamiento de impedancias entre los terminales de la antena y la etapa de amplificación ya que al existir alta impedancia y por ende baja corriente, no existirá caídas de voltaje que dañen la señal recibida. Además, se utilizó un acoplamiento de impedancias entre las etapas de amplificación y filtrado
- Se acondicionó la señal proveniente del GPS utilizando la información de fecha y hora UTC como nombre de los archivos para que estos puedan ser almacenados en una base de datos ya que de esta manera se sincronizó la información para que pueda compararse con datos captados en otros lugares del mundo donde se realizan estudios de la ionósfera.

- Se desarrolló un HMI en el cual el usuario puede observar de manera detallada los diagramas de fase y amplitud de cada transmisor detectado, así como también de espectrogramas en tiempo real, en archivos de cinco minutos y diarios, en los que se pudieron observar que transmisores fueron detectados y los diferentes fenómenos que se captaron.
- Se diseñó y construyó filtros antialiasing para disminuir el ruido y como un paso previo para ingresar la señal de cada antena al computador.
- Se analizó y escogió la tarjeta de adquisición (DAQ) como el mejor método de adquisición de señales análogas en modo continuo en comparación con la entrada de audio del computador utilizando el método de criterios ponderados.
- Se implementó un filtro digital que complementó la disminución del background presente en las señales captadas.
- Se implementó una base de datos en la cual se pudo almacenar la información de forma ordenada para poder ser consultada y presentada en gráficas donde se puede observar las variaciones de las señales.
- Se obtuvo las gráficas de espectrogramas, las cuales nos permitieron conocer tres datos muy importantes que posee este tipo de información: el tiempo en que se desarrolló el evento, la frecuencia y la potencia de la señal, todo organizado en un gráfico de tres dimensiones: eje X (tiempo), eje Y (frecuencia), y eje Z (potencia) representado en la escala de colores.
- Al momento de escoger el tipo de la función ventana en la programación de los espectrogramas es recomendable conocer las características de la respuesta en frecuencia de la misma con la finalidad de obtener los datos más precisos posibles

- Se recomienda desenvolver los datos de fase para realizar los diagramas ya que si no se realiza esta operación lo único que se obtiene es una forma de onda sin sentido en la que no se puede distinguir tendencias ni mucho menos fenómenos.
- Es recomendable designar los parámetros correctos al graficar un espectrograma ya que si no se asigna bien se puede producir pérdida de datos o en su contrario una redundancia de datos causando un desbordamiento de la memoria del buffer.

6. Bibliografía

- [1] CCÄPITALIA, «Emisiones VLF,» [En línea]. Available: <http://www.ccapitalia.net/?p=979>. [Último acceso: 19 04 2013].
- [2] T. Gombosi, de *Physics of the space enviroment*, Cambridge University Press, 1998.
- [3] U. d. S. E. Unidos, «Centro Solar de Stanford,» [En línea]. Available: <http://solar-center.stanford.edu/SID/AWESOME/>. [Último acceso: 14 04 2013].
- [4] C. A. E. d. Perú, «SAVNET,» [En línea]. Available: <http://www.conida.gob.pe/index.php/es/actividades/astrofisica/savnet>. [Último acceso: 16 04 2013].
- [5] R. F. Coughlin, «Filtros,» de *AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES*, Prentice Hall Hispanoamérica, S.A., 1993, p. 317.
- [6] EMANUEL, «START DIY,» 2013. [En línea]. Available: <http://diystart.blogspot.com/2012/12/teoria-y-construccion-de-fuentes-de.html>. [Último acceso: 2013 07 05].
- [7] M. C. a. N. Moussa, «Stanford VLF Group,» [En línea]. Available: http://nova.stanford.edu/~vlf/IHY_Test/Tutorials/SoundsHumHarmonics/SoundsOfVLF.pdf. [Último acceso: 21 Septiembre 2013].
- [8] S. University, «Remote Sensing of the Lower Ionosphere,» [En línea]. Available: http://nova.stanford.edu/~vlf/IHY_Test/Tutorials/VLF_Overview/OverviewTutorial.pdf. [Último acceso: 23 Septiembre 2013].
- [9] P. HAARP. [En línea]. Available: <http://yahel.wordpress.com/category/cambios->

climaticos/haarp/. [Último acceso: 29 Septiembre 2013].

[10 N. Instruments, «NI 6034E / 6035E / 6036E Family».
]

[11 N. Instruments, User Manual NI 6034E/6035E/6036E, Austin, Texas, 2001.
]

[12 Wikipedia, «Wikipedia,» [En línea]. Available:
] <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Archivo:EsquemaTarjetaSonido.png>.
[Último acceso: 23 10 2013].

[13 National Instruments, «Suport, KnowledgeBase,» 2012. [En línea]. Available:
] <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/E1E67695E76BA75B86256DB1004E9B07>.

[14 B. K., «Window Function,» [En línea]. Available:
] [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Window_function_\(gauss\).svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Window_function_(gauss).svg).

[15 U. S. I. E. W. P. Morris B. Cohen, «Sensitive Broadband ELF/VLF Radio
] Reception,» *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, p. 9.

[16 J.-P. Raulin, «Red de VLF de América del Sur (SAVNET): estudios de la
] actividad solar, geofísica y astronómica para aplicaciones científicas y tecnológicas,» de *ISWI*, Quito, 2009.

7.ANEXO 1

7.1.MANUAL DE USUARIO

El siguiente manual tiene como finalidad guiar al usuario al instalar y utilizar nuestro sistema, consta de los siguientes pasos:

- Instalación.
- Configuración.
- Modo de Uso.

7.1.1.INSTALACIÓN

1. Instalar el software Labview con todos sus paquetes y licencias.
2. Instalar los drivers de la tarjeta de adquisición DAQ de National Instruments.
3. Copiar a su computador el programa "SISTEMA VLF", el programa "Adquisicion_Almacenamiento" y el programa "Creador de Carpetas".

7.1.2.CONFIGURACIÓN

1. Crear un disco "D" en su computador, ya que está diseñado para crear ahí la base de datos.
2. Ejecutar el programa "Creador de Carpetas", recuerde solo debe EJECUTARLO UNA SOLA VEZ, ya que creará en su disco "D" todas las carpetas donde se guardaran los archivos con los datos.

7.1.3.MODO DE USO

1. Antes de iniciar el programa energizar los circuitos, y esperar unos 30 minutos para que el GPS encuentre los satélites y envíe la información correcta.
2. Abrir el programa "VLF", en el momento de abrir Labview le pedirá que seleccione un subvi, donde buscará y elegirá el programa "Adquisicion_Almacenamiento".
3. El programa le ofrecerá las siguientes opciones:
 - Pantalla principal.
 - Espectrogramas en tiempo real.

- Espectrograma 5 minutos
- Espectrogramas diarios.
- Diagramas de Amplitud y Fase.

El desplazamiento se lo realiza poniendo el indicador del mouse en la pestaña VLF dentro del programa, donde se puede elegir cualquiera de las opciones antes mencionadas.

- En la "pantalla principal" y en "espectrogramas en tiempo real" no se tiene ninguna opción que ejecutar, porque se presentan automáticamente.
- En "Espectrograma 5 minutos" tiene que seleccionar el archivo que desea graficar, que estará guardado en la carpeta correspondiente como por ejemplo:

D:\OAQ\AntenaNS\ESPECTROGRAMAS\5-MINUTOS\"archivo deseado"

De esa manera se cargará los datos del archivo a la gráfica ANTENA N-S.

- En "Espectrograma diarios" tiene que seleccionar el archivo que desea graficar, que estará guardado en la carpeta correspondiente como por ejemplo:

D:\OAQ\ AntenaNS \ESPECTROGRAMAS\DIARIO\"archivo deseado"

De esa manera se cargará los datos del archivo a la gráfica ANTENA N-S.

- En "Diagramas de Amplitud y Fase" tiene que seleccionar el archivo que desea graficar, que estará guardado en la carpeta correspondiente como por ejemplo:

D:\OAQ\ AntenaNS \DIAGRAMAS\Amplitud\20,30kHz\"archivo deseado"

De esa manera se cargará los datos del archivo a la gráfica Amplitud y de igual manera se debe hacer para el de Fase.

D:\OAQ\ AntenaNS \DIAGRAMAS\Fase\20,30kHz\"archivo deseado"

- Finalmente en “Diagramas de Amplitud y Fase”, existe un botón que dice GUARDAR, el cual al presionarlo permite guardar en la carpeta correspondiente las gráficas que en ese instante están cargadas en la pantalla, de la siguiente manera:

