

# SISTEMA PARA EL MONITOREO DEL CLIMA ESPACIAL EN COLOMBIA

PRESENTADO POR:  
LUISA MARÍA PUERTA GONZÁLEZ  
ÓSCAR EDUARDO PULGARÍN DUQUE



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
Pereira - Risaralda  
2014

# SISTEMA PARA EL MONITOREO DEL CLIMA ESPACIAL EN COLOMBIA

PRESENTADO POR:  
LUISA MARÍA PUERTA GONZÁLEZ  
ÓSCAR EDUARDO PULGARÍN DUQUE

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero(a) Electrónico(a)

DIRECTOR:  
M. Sc. EDWIN ANDRÉS QUINTERO SALAZAR



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
Pereira - Risaralda  
2014

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Pereira, Mayo de 2014

## **DEDICATORIA**

Deseo dedicar la finalización de este trabajo y los logros alcanzados a mi padre Leonso Pulgarín Duque (Q.E.P.D), a su memoria y a su inmenso amor el cual siempre acompañó y acompañará cada instante de mi vida. A mi madre por ser esa maravillosa mujer símbolo de sacrificio y amor incondicional.

Oscar Eduardo Pulgarín Duque

## AGRADECIMIENTOS

*“Un hombre sólo tiene derecho a mirar a otro hacia abajo, cuando ha de ayudarlo a levantarse”*

Gabriel García Márquez

En el camino recorrido desde nuestra infancia hasta la terminación del Sistema para el Monitoreo del Clima Espacial en Colombia, hemos conocido a muchas personas que han aportado conocimientos y anécdotas que forjaron nuestras personalidades. Hoy sin embargo queremos dar agradecimientos infinitos en primera instancia a Dios por darnos la vida y salud necesarias, a nuestros padres Gilma González García, Jorge Antonio Puerta Patiño, María Ruth Duque Valencia y Leonso Pulgarín Duque (Q.E.P.D) quienes siempre creyeron y esperaron lo mejor de nosotros sin tener dudas de nuestras capacidades y dándonos la fortaleza y motivación en aquellas situaciones en las que la vida nos puso trabas. A nuestras hermanas que hicieron su aporte en los momentos difíciles animándonos y consolándonos.

De forma especial, queremos agradecer al Asesor del proyecto el M. Sc. Edwin Andrés Quintero Salazar (Director del programa de Ingeniería Electrónica Director del Grupo de Investigación en Astroingeniería Alfa Orión) por guiarnos, aconsejarnos, ser una gran persona y gracias a su vocación, un excelente orientador durante toda la carrera.

A nuestros compañeros de Ingeniería electrónica por los momentos compartidos y las alegrías que quedarán en nuestras memorias y corazones.

Luisa María Puerta González  
Óscar Eduardo Pulgarín Duque

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	13
INTRODUCCIÓN .....	14
1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA .....	15
1.1. PROBLEMA.....	15
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.5. ESTADO DEL ARTE.....	16
2. ACTIVIDAD SOLAR Y CÓMO PERTURBA LA CAPA IONOSFÉRICA DE LA TIERRA .....	25
2.1. EVENTOS SOLARES.....	25
2.2. LAS SEÑALES VLF EN LA IONÓSFERA.....	30
2.3. PROPAGACIÓN IONOSFÉRICA .....	32
2.4. EFECTOS DE LA ACTIVIDAD SOLAR EN LA IONÓSFERA Y EN LA TIERRA. ....	34
2.5. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE ALTERACIONES IONOSFÉRICAS .....	36
2.5.1. La Ionosonda.. ....	36
2.5.2. La Reflexión Parcial Ionosférica.....	37
2.5.3. El radar de dispersión coherente (Csr).....	38
2.5.4. El radar de dispersión incoherente (Isr).. ....	38

3.	SISTEMA DE RADIO RECEPCIÓN .....	39
3.1.	LA ANTENA DE LAZO O LOOP .....	40
3.2.	CONSTRUCCIÓN DE LA ANTENA.....	42
3.3.	ANÁLISIS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO .....	46
3.4.	MONTAJE DEL CIRCUITO .....	54
3.5.	PUESTA A PUNTO.....	59
4.	SISTEMA DE MONITOREO: SOFTWARE MONITORCEC.....	64
4.1.	DESARROLLO DE LA APLICACIÓN .....	64
5.	RESULTADOS .....	70
6.	CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO.....	78
6.1.	CONCLUSIONES .....	78
6.2.	TRABAJO A FUTURO.....	79
7.	RECOMENDACIONES .....	80
8.	GLOSARIO.....	81
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	82
	ANEXO A. GUÍA DE USUARIO MONITORCEC.....	85
	ANEXO B. CÓDIGO FUENTE DE LA APLICACIÓN MONITORCEC.....	114
	ANEXO C. ESCALA DE CLIMA ESPACIAL DE NOAA .....	131

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Comparaciones de las mediciones del Contenido total de electrones (TEC) de los Mapas Ionosféricos Globales (GIM), en tiempo de calma (inferior) y tiempo de tormenta (superior). .....	18
Figura 2. Señal de ondas VLF obtenida con el monitor espacial CSP.....	19
Figura 3. Señal de ondas VLF obtenida por el satélite GOES de la NASA.....	19
Figura 4. Análisis EMD de la fuerza de la señal VLF (Descomposición). .....	21
Figura 5. Reconstrucción de la señal original por adición sucesiva de los componentes IMF de orden alto a orden bajo. ....	22
Figura 6. Flujo de rayos X comparados con la fase simultánea del rastreo en Punta Lobos (Perú) durante una llamarada solar el primero de junio del 2007 a las 2150 hora universal (UT) (izquierda) y un evento solar pequeño en el 2007, el 10 de julio a las 1600 UT (derecha). ....	23
Figura 7. Efecto de las llamaradas solares en las ondas VLF registrado por LAVNET-Mex el 16 de octubre de 2010. La amplitud en el lado derecho y la fase en el lado izquierdo. ....	24
Figura 8. Manchas solares observadas el día 17 de enero de 2013.....	26
Figura 9. Protuberancia solar.....	27
Figura 10. Llamarada solar. ....	28
Figura 11. Llamaradas solares detectadas por los satélites GOES. ....	29
Figura 12. Eyecciones de Masa Coronal. ....	30
Figura 13. Espectro de radio frecuencias designado por la ITU. ....	30
Figura 14. Capas de la ionósfera.....	33
Figura 15. Diagrama de bloques que describe el Sistema para el Monitoreo del Clima Espacial en Colombia. ....	39
Figura 16. Antenas <i>loop</i> (de lazo o espira). ....	41



Figura 17. Análisis geométrico de las antenas <i>Loop</i> .....	41
Figura 18. Diagrama de radiación de una antena <i>Loop</i> .....	42
Figura 19. Radiación de una antena <i>Loop</i> .....	43
Figura 20. Radiación de una antena <i>Loop</i> .....	43
Figura 21. Cálculo de la longitud de los perfiles de madera por el Teorema de Pitágoras.....	44
Figura 22. Empalme de los perfiles de madera para el armado de la antena. ...	45
Figura 23. Regleta con tornillos para conectar alambre de cobre con el cable coaxial.....	45
Figura 24. Conexión entre el alambre de cobre y el cable coaxial recubierto por termoencogible. ....	46
Figura 25. Circuito Esquemático primera etapa del MonitorCEC.....	47
Figura 26. Simulación en frecuencia de la primera etapa del circuito del MonitorCEC. ....	48
Figura 27. Diagrama de Bode de la primera etapa del circuito del MonitorCEC. ....	49
Figura 28. Circuito Esquemático de la segunda etapa del MonitorCEC. ....	49
Figura 29. Simulación en frecuencia de la segunda etapa del circuito MonitorCEC. ....	50
Figura 30. Diagrama de Bode de la segunda etapa del circuito MonitorCEC. ...	51
Figura 31. Circuito Esquemático para el análisis de la respuesta en frecuencia del MonitorCEC.....	52
Figura 32. Respuesta en frecuencia del circuito MonitorCEC.....	53
Figura 33. Diagrama de Bode. Simulación en Matlab™ del circuito amplificador. ....	54
Figura 34. Circuito Esquemático completo MonitorCEC.....	55

Figura 35. Circuito impreso MonitorCEC. ....	56
Figura 36. Circuito del MonitorCEC vista superior en 3D.....	57
Figura 37. Vista inferior del circuito del MonitorCEC.....	57
Figura 38. Vista superior del circuito del MonitorCEC sin elementos.....	58
Figura 39. Prueba de funcionamiento del circuito con onda sinusoidal. ....	59
Figura 40. Foto antena receptora de VLF instalada en el Observatorio de Astronomía de la UTP, construida con alambre de cobre suministrado por la Universidad de Stanford. ....	60
Figura 41. Foto antena receptora de VLF instalada en el Observatorio de Astronomía de la UTP, construida con alambre de cobre comprado a <i>CENNELSA</i> ©. ....	60
Figura 42. Foto del circuito del sistema MonitorCEC. ....	61
Figura 43. Foto del circuito del sistema MonitorCEC instalado en caja metálica y con conexiones de antena, salida de audio y adaptador de 5 Vdc. ....	61
Figura 44. Foto del sistema de monitoreo del Clima Espacial Colombia (software y hardware. ....	62
Figura 45. Diagrama de bloques que describe el funcionamiento de la antena y el circuito amplificador. ....	62
Figura 46. Diagrama De Bloques - Descripción Del Software. ....	65
Figura 47. Densidad Espectral de Potencia de la Señal adquirida. ....	67
Figura 48. Información detallada de la señal adquirida en tiempo real. ....	68
Figura 49. Señal generada en función del tiempo (30/04/2014). ....	68
Figura 50. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 29/03/2014. ....	71
Figura 51. Fotografía de llamarada solar presentada el día 29/03/2014.....	71
Figura 52. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 22/04/2014. ....	73

Figura 53. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 27/04/2014. ....	74
Figura 54. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 28/04/2014. ....	74
Figura 55. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 04/05/2014. ....	75
Figura 56. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 06/05/2014. ....	76
Figura 57. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 11/05/2014. ....	76
Figura 58. Señal registrada con error por el MonitorCEC el día 05/05/2014. ...	77

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estaciones transmisoras de ondas VLF.....	31
Tabla 2. Relación de costos y materiales del MonitorCEC. ....	63

## RESUMEN

El monitoreo y la detección de los cambios en el clima espacial serán tratados detalladamente y dispuestos en cada uno de los capítulos que componen la estructura del presente documento. Se inicia con la presentación y descripción de la propuesta para la realización de éste y su importancia para las personas, seguido de un capítulo que describirá el clima espacial y cuáles son los efectos del sol en la atmósfera de la tierra y sobre las comunicaciones. En el siguiente capítulo se presentarán algunos de los diferentes métodos empleados para la detección del clima espacial entre ellos el utilizado para el proyecto. Los tres últimos capítulos relatan en su orden los procedimientos con los que se desarrolló el hardware, el software y los resultados que se lograron. Como parte final estará el anexo que contiene el instructivo para el uso del ejecutable del programa.

Para entrar en contexto con los fenómenos que son motivo de monitoreo, el segundo capítulo explica los eventos solares que son tenidos en cuenta y la manera en que se ven afectadas las capas que conforman el escudo protector de la tierra que a su vez presenta cambios en las condiciones en que se realizan las comunicaciones de señales VLF.

Luego se describen procedimientos y tecnologías que han sido usadas en el monitoreo del clima espacial tales como la ionosonda, el radar de dispersión coherente (CSR), el radar de dispersión incoherente (ISR), la reflexión parcial ionosférica, el satélite GOES (Satélite Geoestacionario Operacional del medio ambiente) y la radiación de las antenas *Loop*, método empleado para éste proyecto.

Posteriormente, los siguientes dos capítulos tratan del funcionamiento del hardware implementado, la construcción de la antena, del circuito amplificador y la conexión de estos elementos, y se explica el software desarrollado para el monitoreo de las señales VLF de la ionósfera con el hardware ya instalado haciendo uso de la aplicación de Visual Studio.

Para finalizar se muestran las pruebas tomadas y los resultados obtenidos haciendo una comparación con el satélite GOES.

## INTRODUCCIÓN

El monitoreo del clima espacial por efectos solares en la ionósfera es un proceso que se lleva a cabo en diferentes países alrededor del mundo de tal manera que se ha generado toda una red de observación dedicada a este tipo de fenómenos. Debido a esto se creó la necesidad de que Colombia hiciera parte de dicha red puesto que no solo estará a la altura de varios países como USA, Australia, y algunos de Europa sino que también se pondrá a la par con otros de Latinoamérica que ya pertenecen, además de tener una herramienta muy útil para poder prevenir los posibles efectos que causan la actividad súbita del Sol.

El uso de la tecnología tanto en comunicaciones como en la distribución y uso de los servicios energéticos es cada día mayor y más indispensable, estos servicios se pueden ver afectados de forma directa por la actividad solar provocando incluso daños físicos en casos extremos, por ejemplo en las redes de distribución de energía como los transformadores, efectos que serán alcanzados y estudiados por el sistema de monitoreo del clima espacial.

Con base en las anteriores observaciones se inicia el siguiente trabajo de tipo experimental dando como resultado todo un sistema de detección, observación y análisis de las variaciones súbitas generadas por el clima espacial en la ionósfera terrestre, buscando con ello tener información de primera mano que servirá como herramienta no solo de prevención sino también de estudio y observación para los grupos interesados en la astronomía de la Universidad Tecnológica de Pereira, lugar donde estará situado el sistema en la instalaciones del Observatorio Astronómico.

## 1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

### 1.1. PROBLEMA

El planeta tierra sufre de innumerables perturbaciones provocadas por los sucesos que acontecen en el espacio exterior. El elemento del sistema solar que más interactúa con él es el Sol, el cual lo afecta física y magnéticamente con cada actividad que este presenta. Estos eventos se conocen como clima espacial y pueden variar en la ocurrencia y en su intensidad, llegando a generar<sup>1</sup> serias complicaciones en las capas externas de la tierra, especialmente en la ionósfera, la cual se caracteriza por ser la que presenta condiciones especiales para la transmisión de las ondas electromagnéticas y por ende de las comunicaciones terrestres.

Entre las posibles complicaciones generadas por el clima espacial además de la ionización de la capa más externa de la tierra, se encuentran: la geolocalización (GPS), las telecomunicaciones, las operaciones vía satélite, el seguimiento espacial, la radionavegación, las redes eléctricas y las redes de transporte de combustible. Esto conllevaría un caos socio-económico que no ha sido seriamente previsto debido a que este tipo de fenómenos se presenta de forma esporádica. Se cree que si se llegara a presentar hoy día una actividad como la del Evento Carrington<sup>2</sup>, los daños ocasionados alcanzarían hasta 20 veces (tres trillones de dólares en el primer año) las pérdidas que fueron provocadas por el huracán Katrina y tardaría hasta 10 años la recuperación total<sup>3</sup> [1] [2] [3] [4].

Desde hace varias décadas diversos países han realizado estudios encaminados a observar las alteraciones de la tierra debido al clima espacial, aun así en Colombia no existe el desarrollo de ningún tipo de dispositivo que permita la observación y el monitoreo de dichos eventos.

### 1.2. JUSTIFICACIÓN

Las variaciones en la ionósfera ocasionadas por el clima espacial se muestran con la emisión de señales de frecuencia muy baja, lo cual provoca interferencias en los diferentes tipos de sistemas eléctricos y electrónicos de uso masivo, por lo que se hace necesario el monitoreo de este tipo de señales, con el fin de detectar momentos en los cuales estos eventos generarían problemas e incluso llegar a detectar un patrón de comportamiento que permita la posible predicción de actividad solar súbita.

Por lo tanto, se pretende desarrollar un sistema de monitoreo de señales de baja frecuencia generadas por el efecto solar usando una antena, un circuito

---

<sup>1</sup> Traducido de la terminología inglesa "Space Weather".

<sup>2</sup> Tormenta solar registrada en el año de 1859.

<sup>3</sup> Tomado del documento Riesgos Derivados del Clima Espacial [1].

preamplificador y un procesamiento de estas señales, haciendo uso de un software de aplicación que permitirá observar constantemente las variaciones en la ionósfera debidas a los eventos presentados en el Sol.

Al desarrollar este proyecto, Colombia pertenecerá a la red de países que cuentan con los elementos para la detección de la actividad solar en las capas terrestres y que actualmente está conformada por: Nigeria, México, Holanda, USA, Mozambique. Uruguay, Alemania, Nueva Zelanda, Rumania, entre otros<sup>4</sup> [5]. Estos países se han unido para tener información del clima espacial desde diferentes latitudes permitiendo alcanzar una base de datos considerable para el estudio de las alteraciones atmosféricas.

Con el desarrollo de este dispositivo se logrará tener información útil de las perturbaciones que ocurren en este sector de la tierra, con su monitoreo se puede identificar posibles eventos con el fin de emitir una alerta para proteger los sistemas que se verían seriamente afectados y así minimizar el impacto.

### **1.3. OBJETIVO GENERAL**

Construir un sistema que permita realizar la detección y el procesamiento de las señales VLF (Very Low Frequency) reflejadas por la ionósfera cuando se ve afectada por la actividad solar.

### **1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar y construir una antena que detecte las señales de muy baja frecuencia (VLF) que se presentan en la ionósfera debidas el clima espacial.
- Construir un circuito detector que permita adquirir y acondicionar las señales detectadas por la antena.
- Desarrollar un software que permita procesar y visualizar la información obtenida durante el monitoreo.

### **1.5. ESTADO DEL ARTE**

Desde tiempo atrás las variaciones de frecuencia en la ionósfera han sido objeto de interés para el mundo científico, ya que sus alteraciones debidas a la actividad solar pueden afectar los sistemas de comunicación, de navegación, ferroviarios, entre otros, que son sumamente necesarios hoy en día para todos los seres humanos. A continuación se describen algunos trabajos desarrollados en este campo alrededor del mundo.

---

<sup>4</sup> Tomado de SuperSID Manual. Space Weather Monitor. Stanford University Solar Center [1].

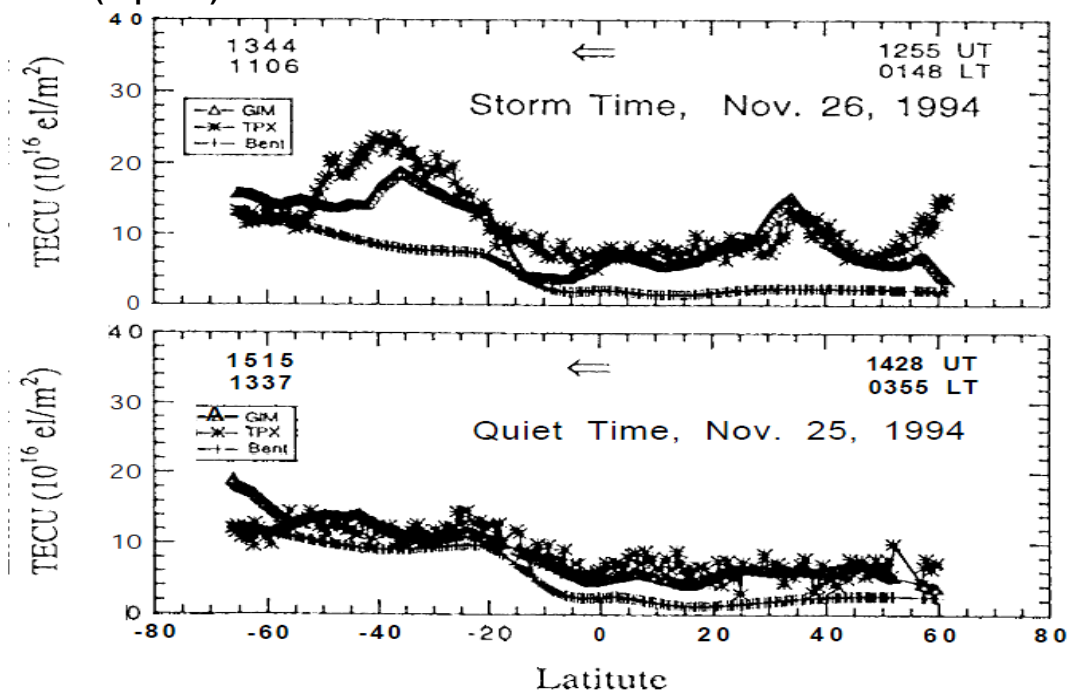


Si bien se habían realizado diferentes proyectos relacionados con la observación del clima espacial, sólo hasta el año 2007, en una asamblea de la comisión sobre la utilización del espacio ultraterrestre para fines pacíficos de la ONU, la cual se realizó en Bulgaria como conmemoración del año heliofísico internacional, se discutieron y realizaron observaciones con respecto al creciente interés y preocupación generado por la actividad solar y sus repercusiones en la atmósfera terrestre, enfatizando en la importancia de la creación de una red de monitoreo del clima espacial sobre la ionósfera. Resaltaron el abanderamiento del Departamento de Geofísica de la Universidad de Stanford quienes interesados en el fenómeno comenzaron una tarea de creación de una red mundial para la observación de los efectos de las llamaradas solares en la atmósfera de la tierra, en diferentes institutos con proyectos que los estudiantes podían realizar con sus propias manos y a bajo costo; paralelamente creaban un proyecto de monitoreo denominado AWESOME (Atmospheric Weather Electromagnetic System for Observation Modeling and Education), el cual fue también resaltado en la asamblea como un dispositivo ampliamente útil para el estudio que había sido diseñado, con el que continuaban la vigilancia de la ionósfera desde diferentes partes del mundo. Este sistema de monitoreo consta de una antena en campo cuyas señales llegan a un circuito preamplificador que se comunica por un conductor a una línea receptora, la cual haciendo uso de una antena GPS, sincroniza el muestreo de la señal adquirida y con un conversor AD (Análogo Digital), el cual está conectado a un computador que muestra la figura de las señales detectadas por la antena. Este tipo de monitor esta sintonizado a 100kHz o a 200kHz y perciben señales de diferentes transmisores a lo largo del continente, logrando observar la amplitud, la fase y la forma completa de la onda emitida por la antena y estudiar los fenómenos ionosféricos [6].

Previo a la asamblea realizada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en mayo de 1996, C.M. Ho, A.T. Mannucci, U.J. Linqwester y X.Q. Pi, en su esfuerzo por clasificar e interpretar los efectos de las perturbaciones ionosféricas, lo cual aún no se había logrado comprender ni describir de manera precisa debido a la complejidad y variabilidad de la ionósfera especialmente durante tormentas, desarrollaron una técnica denominada mapas TEC (Contenido total de electrones) o GIM (Mapas ionosféricos globales), los cuales se construyen a partir de mapas conducidos por datos interpolados de mediciones del contenido total de electrones de la ionósfera. Los mapas TEC se basan en la recuperación ionosférica basada en datos desde una red global de GPS de 60 estaciones. Cada estación recibe señales de más de 10 satélites GPS simultáneamente, las cuales son registradas cada 30 segundos y transferidas a centros de datos en máximo 24 horas. Las señales tienen un retardo de fase, y el grupo de esos retardos es usado para obtener el TEC integrado, y a su vez estas mediciones son interpoladas para producir el mapa TEC ionosférico global. Con estos mapas es posible estudiar variaciones ionosféricas en pequeña escala. Con el propósito de identificar claramente las variaciones ionosféricas durante tormentas magnéticas, desarrollaron una técnica de mapeo diferencial (DMT) que calcula el porcentaje de cambio del TEC durante la tormenta en relación con los mapas generados

durante días tranquilos. Durante la tormenta magnética ocurrida el 26 de noviembre de 1994 el mapa ionosférico diferencial mostró un incremento mayor al 20% en cambios del TEC antes del inicio de la tormenta y 15 minutos después aparecen dos picos desde 80% al 100%, uno en horas de la noche y el otro en horas de la mañana. Después se observó que los picos empezaron a hacerse más fuertes y las regiones más grandes. Este método permite un seguimiento casi instantáneo de los cambios ionosféricos globales de TEC y estas observaciones globales pueden hacer aportes importantes para el monitoreo del clima espacial y alertar prontamente una variación grande en la ionósfera, especialmente durante periodos de tormentas severas, como se puede observar en la Figura 1 [7].

**Figura 1. Comparaciones de las mediciones del Contenido total de electrones (TEC) de los Mapas Ionosféricos Globales (GIM), en tiempo de calma (inferior) y tiempo de tormenta (superior).**

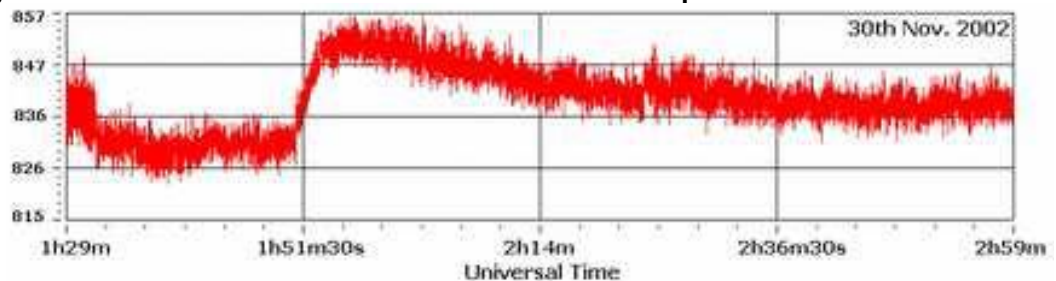


**Fuente: Global Ionospheric Perturbations Monitored by the Worldwide GPS Network.**

Posteriormente, durante dos semanas comprendidas entre el veinte de septiembre y el cuatro de octubre del año 2002, un grupo de estudiantes de diferentes institutos y universidades de la ciudad de Kolkata (Calcuta) en el estado de Bengal occidental en la India, realizaron experimentos de detección de variaciones ionosféricas con un monitor desarrollado por ellos, el cual constaba de una antena de construcción artesanal tipo Gyator II de forma cuadrada de un metro de lado conectada a un amplificador de audio y luego conectada a una tarjeta de audio de un ordenador con procesador Pentium IV. Tomaron muestras con una frecuencia de 3.2 veces por segundo, sobre una señal detectada por la antena que estaba sintonizada a 18.2 kHz, la cual es la frecuencia de transmisión de la estación de tráfico naval de la India en

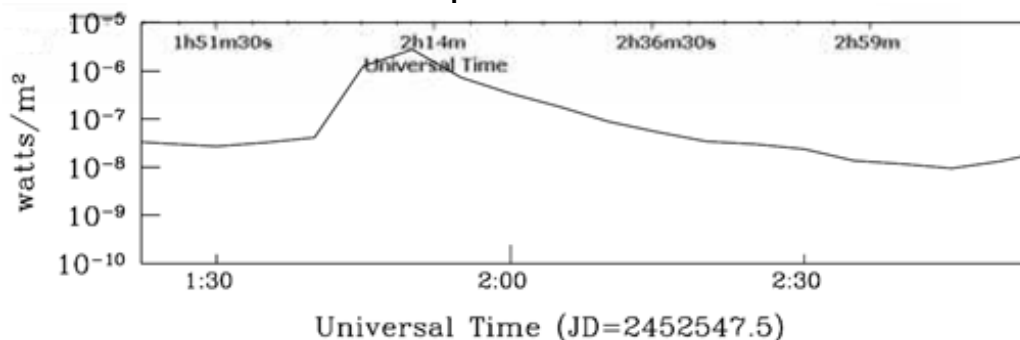
Vijayanarayanan. El campo magnético de la señal induce una corriente que es tomada por la antena y luego procesada como una señal de audio. Los resultados conseguidos guardan grandes similitudes con los reportados por la NASA que fueron tomados por el satélite GOES consistente en fecha y hora, a pesar de las diferencias existentes entre los dos métodos. Con lo anterior se logró concluir que las manchas solares provocan llamaradas magnéticas que perturban la señal constante percibida por la estación de monitoreo debido al incremento en la densidad de iones de la ionósfera [8]. En la Figura 2 se muestran los gráficos correspondientes a eventos ocurridos en los días treinta de septiembre y tres de octubre del 2002 comparados con los reportados por el satélite GOES que se muestran en la Figura 3, en los cuales se notan parámetros coincidentes teniendo en cuenta los ruidos que pueden ingresar debido a la tarjeta de audio.

**Figura 2. Señal de ondas VLF obtenida con el monitor espacial CSP.**



**Fuente: Monitoring of Sudden Ionospheric Disturbances (SID) from Kolkata (INDIA).**

**Figura 3. Señal de ondas VLF obtenida por el satélite GOES de la NASA.**



**Fuente: Monitoring of Sudden Ionospheric Disturbances (SID) from Kolkata (INDIA).**

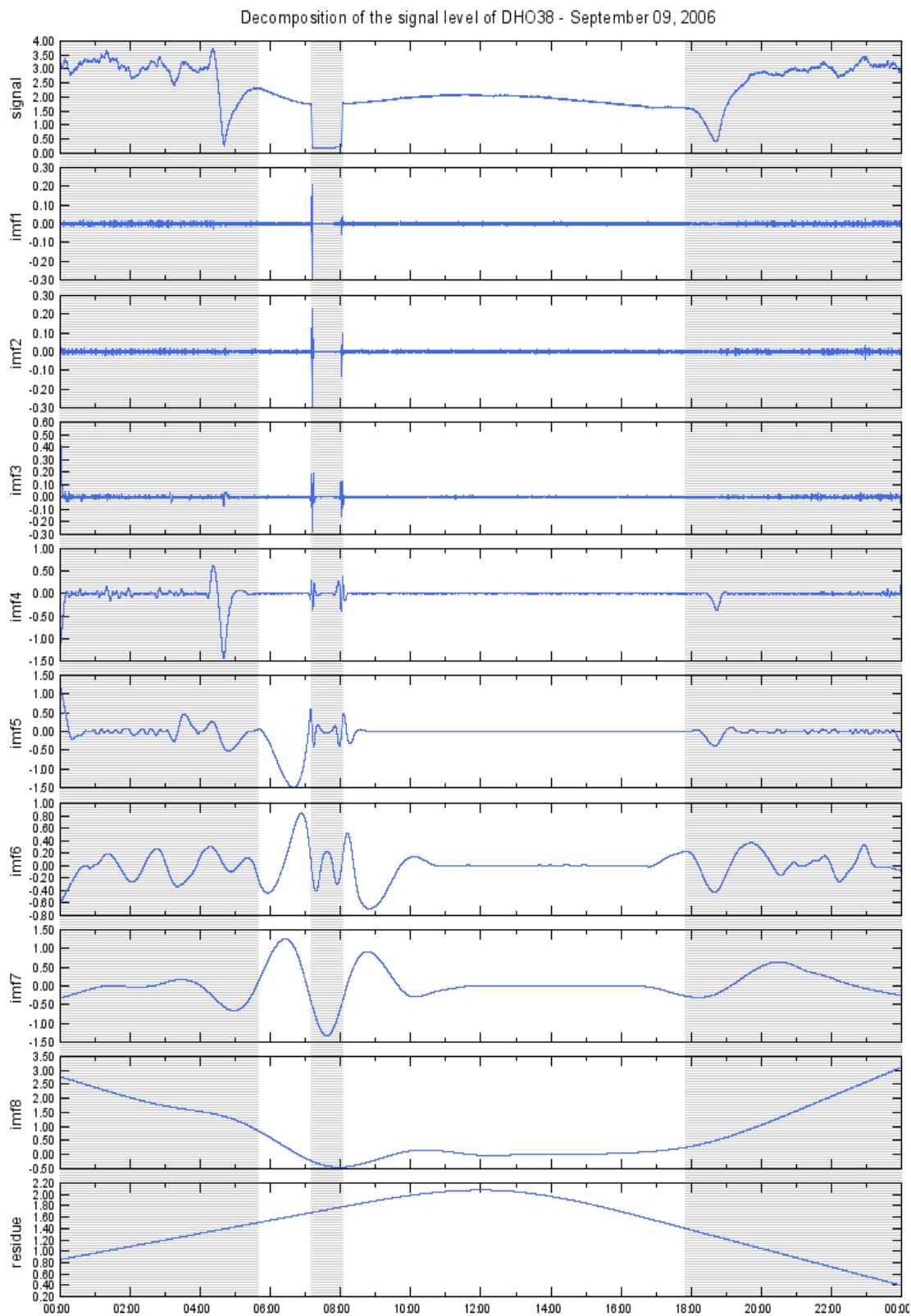
Para el 2006, en Francia, Lionel Loudet implementó una estación de monitoreo de perturbaciones ionosféricas en el sur de Francia en la cual recibe señales VLF (Very Low Frequency) por medio de una antena y a través de un filtro activo analógico de orden cuatro centrado en 23.4 kHz, trabajando en conjunto con monitores de transmisores VLF en el norte de Alemania. A diferencia de las demás estaciones de monitoreo, allí se desarrolló una aplicación de un método de descomposición empírica, basándose en el uso de la transformada Hilbert-Huang (HHT) generando a partir de esto funciones de modo intrínseco (IMF) lo que proporciona valores de frecuencia instantáneos haciendo que el monitoreo

sea en tiempo real y la reconstrucción de la señal detectada por la antena sea mucho más precisa. El método de descomposición es realizado por un software que trata de representar de forma más exacta las propiedades físicas de la señal. En los datos obtenidos con la aplicación de este método, lograron observar que las IMF de bajo orden (1, 2 y 3) solamente contienen ruido, por lo tanto no contiene información relevante de la señal; las IMF de orden 4 a 6 contienen modos oscilatorios correspondientes a los patrones de salida y puesta del sol, estos componentes representan las fluctuaciones a mediano plazo de las mediciones de la señal que están claramente correlacionadas con las propiedades físicas remarcadas de la propagación de la señal VLF; y las IMF de orden 7 y 8 representan la evolución de las características de propagación entre el día y la noche, los cuales representan las fluctuaciones a largo plazo de la propagación de las VLF. Estos resultados a pesar de ser empíricos, permiten reconocer valores en las señales que en algunos monitores SID no son detectados, ver Figura 4 y Figura 5 [9].

En el 2009, un grupo de científicos de diversas universidades de Brasil se unieron para instalar una red denominada SAVNET (South América VLF Network) para el monitoreo de frecuencias muy bajas con el fin de observar la actividad solar en escalas temporales cortas y extensas. SAVNET está constituido por siete estaciones receptoras VLF ubicadas en Brasil, Argentina Y Perú. Los receptores rastrean las señales desde transmisores de comunicación potentes compuestos cada uno por tres sensores, de los cuales dos son sensibles al campo magnético de la onda entrante (a través de una antena *loop square*), y uno a su campo eléctrico (Antena whip). Las señales amplificadas son digitalizadas por medio de una tarjeta de audio. Con el fin de tener un tiempo de referencia preciso y estable se usó un sistema de GPS que provee un pulso por segundo. Para la interpretación de datos se empleó un código de propagación VLF, el cual requiere como entrada parámetros de características de transmisión de la antena, su posición y la potencia de emisión. En la Figura 6 se observa que los cambios de fase alcanzaron valores de aproximadamente 30 grados/Mm. Uno de los resultados más relevantes de esta investigación, consiste en que la comparación del tiempo y de la amplitud de la respuesta ionosférica para llamadas solares observadas simultáneamente, lo que permitirá el estudio de la estructura espacial de los procesos de ionización [10].

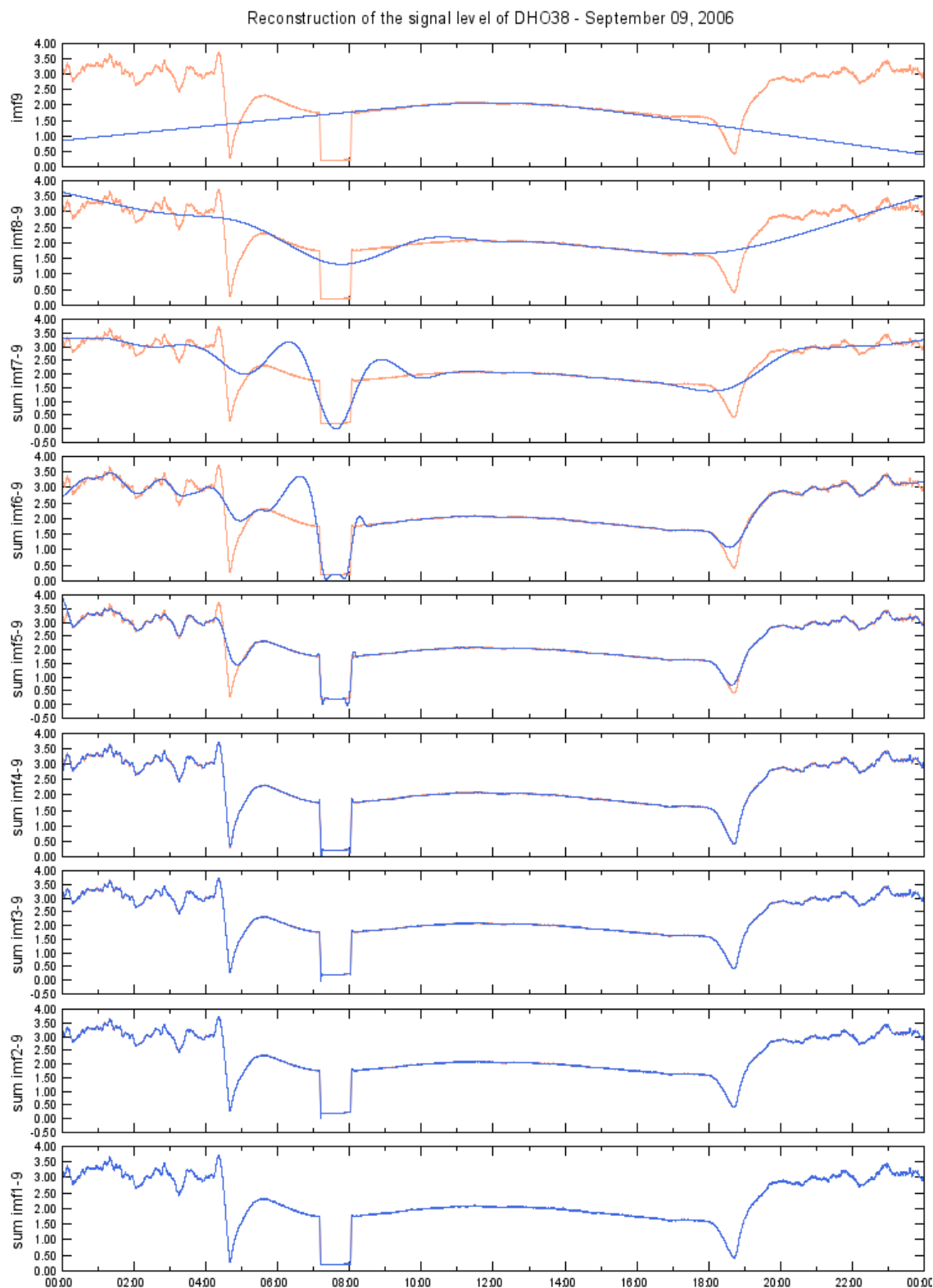
A comienzos de 2010, la estación VLF LAVNET-MEX fue construida para detectar y estudiar los cambios en la amplitud y fase de las ondas reflejadas por la ionósfera (ondas VLF), por la preocupación que generaba el hecho de que el satélite GOES de la NASA no alcanzaba a detectar los cambios en latitudes bajas de la atmósfera. LAVNET-MEX está habilitado para observar la parte baja de la ionósfera, la región D. La estación se encuentra en el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). LAVNET-MEX observa las ondas reflejadas por la ionósfera en un rango de frecuencia de 10kHz a 48kHz, y puede ser usada para monitorear la actividad de las llamadas solares y otros fenómenos ionosféricos. LAVNET-MEX está formado por dos antenas (tipo *loop*), preamplificadores de bajo ruido y una tarjeta de sonido comercial como digitalizadora.

**Figura 4. Análisis EMD de la fuerza de la señal VLF (Descomposición).**



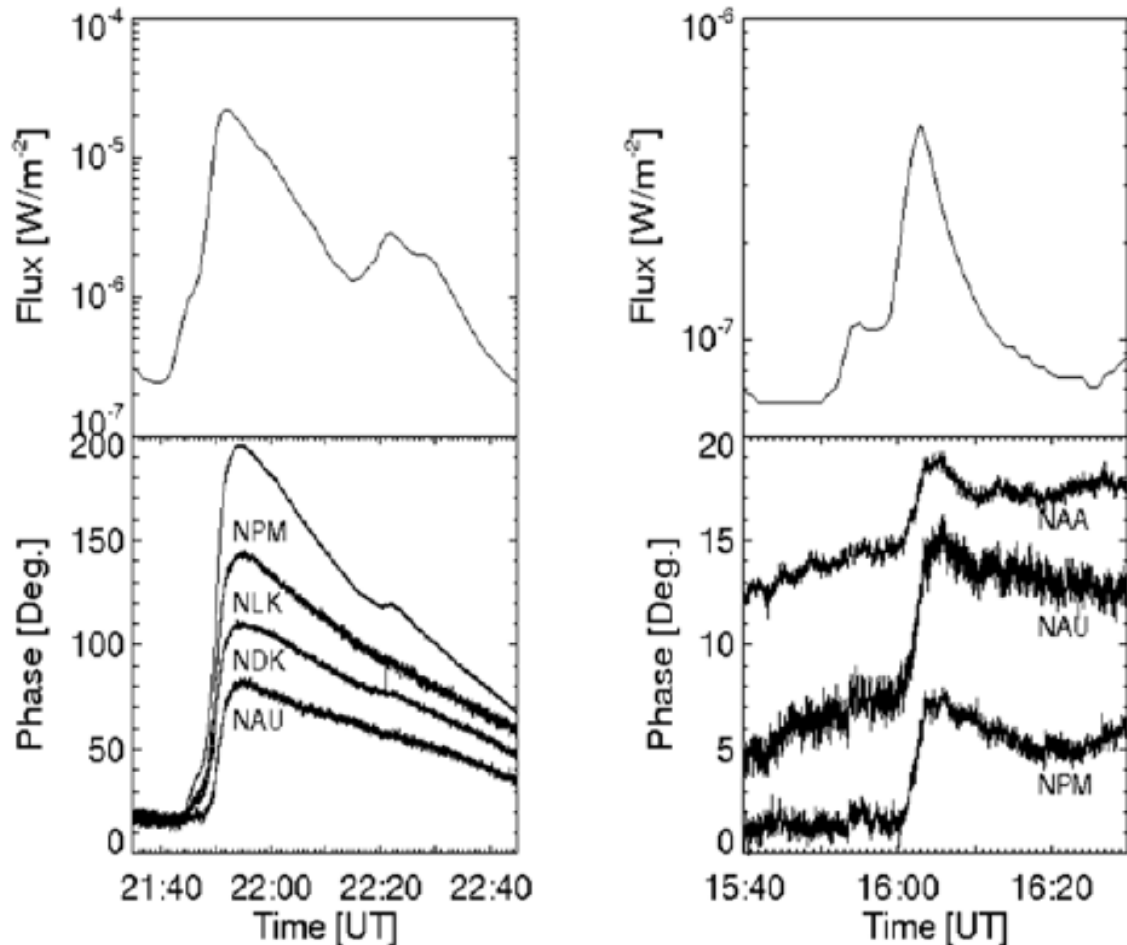
**Fuente: Application of Empirical Mode Decomposition to the detection of Sudden Ionospheric Disturbances by monitoring the signal of a distant Very Low Frequency transmitter.**

**Figura 5. Reconstrucción de la señal original por adición sucesiva de los componentes IMF de orden alto a orden bajo.**



**Fuente: Application of Empirical Mode Decomposition to the detection of Sudden Ionospheric Disturbances by monitoring the signal of a distant Very Low Frequency transmitter.**

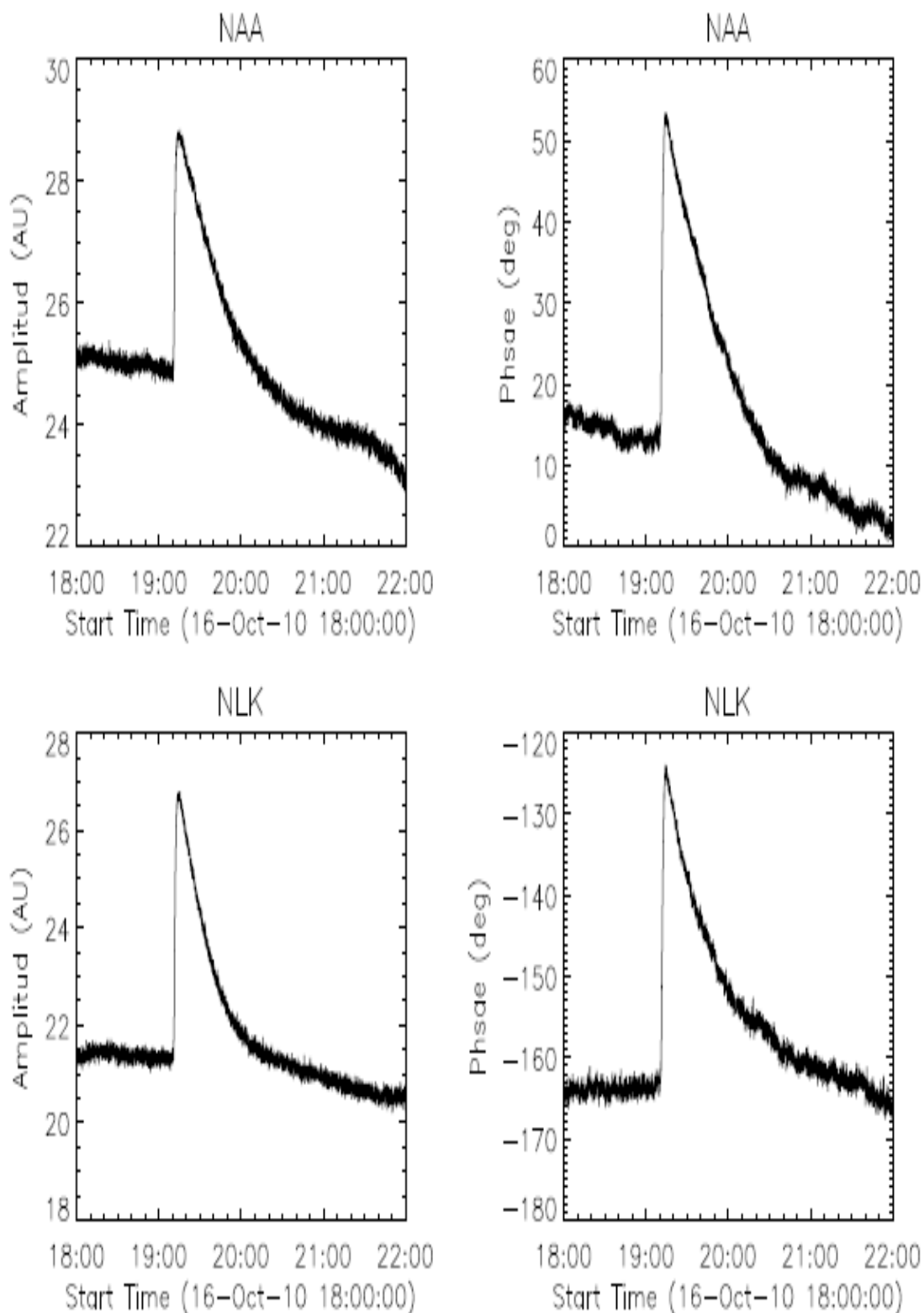
Figura 6. Flujo de rayos X comparados con la fase simultánea del rastreo en Punta Lobos (Perú) durante una llamarada solar el primero de junio del 2007 a las 2150 hora universal (UT) (izquierda) y un evento solar pequeño en el 2007, el 10 de julio a las 1600 UT (derecha).



Fuente: The South America VLF NETwork (SAVNET): Development, installation status, first results.

En el LAVNET-MEX, los preamplificadores usan un amplificador operacional de muy bajo ruido en configuración de entrada diferencial. El sistema de banda ancha del circuito preamplificador es de 40kHz centrado en 30kHz, contiene dos tipos de antena: una hecha con tubos de PVC y otra hecha en aluminio, la señal es amplificada y digitalizada por la tarjeta de sonido profesional. El tiempo de referencia es logrado con un receptor GPS compacto, a través de una señal de un pulso por segundo. Esto es necesario para buscar la tarjeta de sonido de cristal, para que las medidas de fase puedan ser logradas. Durante una llamarada solar ocurrida el 16 de octubre de 2010, se logró detectar variaciones en la amplitud y en la fase de las señales emitidas desde dos estaciones, evidenciando que el pico de la perturbación ionosférica se presenta alrededor de dos minutos después del flujo de rayos X, aunque el tiempo de inicio es muy similar, más aún la recuperación de fase de la perturbación ionosférica es mucho más extensa que la duración de los rayos X, lo que se muestra en la Figura 7 [11].

**Figura 7. Efecto de las llamaradas solares en las ondas VLF registrado por LAVNET-Mex el 16 de octubre de 2010. La amplitud en el lado derecho y la fase en el lado izquierdo.**



**Fuente: The Ionosphere and the Latin America Very Low Frequency Network Mexico (LAVNet-Mex) The Ionosphere and the Latin America Very Low Frequency Network Mexico (LAVNet-Mex).**



## **2. ACTIVIDAD SOLAR Y CÓMO PERTURBA LA CAPA IONOSFÉRICA DE LA TIERRA**

El Sol, la estrella que da vida al planeta Tierra se encuentra a 150 millones de kilómetros de la Tierra y está compuesto principalmente por hidrógeno y helio y otros elementos que pueden ser más de 60, que a causa de las altas temperaturas se encuentran frecuentemente ionizados. La energía radiante del Sol es generada en su interior, que es sede de una serie ininterrumpida de reacciones termonucleares, al igual que en su superficie también se pueden presentar alteraciones.

En la superficie del Sol se presentan una gran cantidad de eventos, y aunque en algunos casos se desconoce la manera en que se originan (como las protuberancias), sí es clara la forma en que afectan la atmósfera terrestre y por ende a todos los seres que habitan la Tierra. El Sol afecta la Tierra de dos modos: el primero es en forma de energía mediante los rayos X o energía ultravioleta extrema (EUV) que se presentan con las llamaradas cuando el Sol ha entrado en erupción, y el segundo es a través del impacto de materia desde el Sol que se puede dar por una "Eyección de Masa Coronal". Los rayos X y los rayos ultravioleta son los que alteran la capa ionosférica, provocando de este modo la perturbación en la propagación de las radioondas. El flujo de materia solar en la atmósfera es el que produce las auroras boreales y australes, los cambios en el campo magnético terrestre y las tempestades magnéticas.

Cuando la propagación de las radioondas se ve alterada a causa de la actividad solar, se ven afectados los sistemas de telecomunicaciones, navegación, comunicación con submarinos, sistemas eléctricos y electrónicos.

### **2.1. EVENTOS SOLARES**

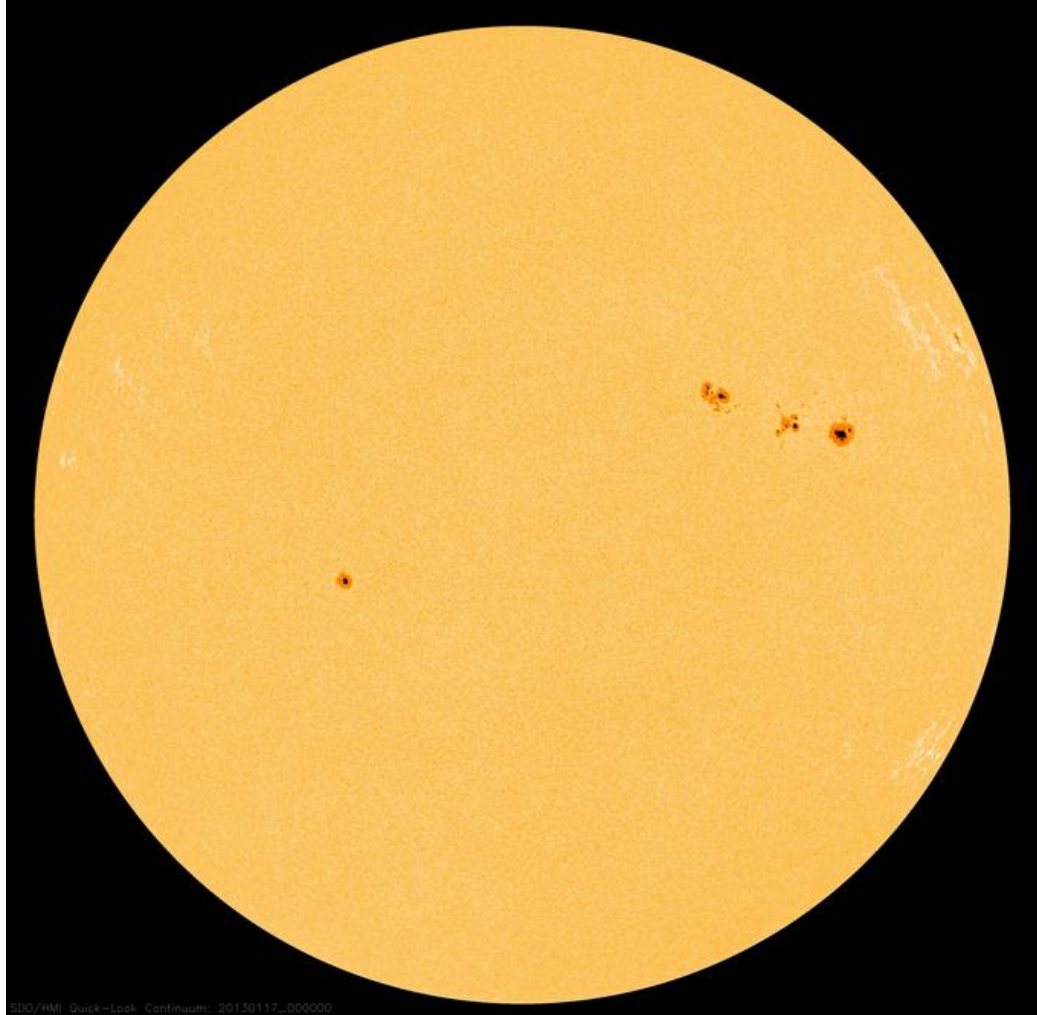
El Sol está en constante actividad, y por consiguiente al hablar de actividad solar se refiere a la cantidad de eventos y fenómenos ocurridos en él con un ciclo de aproximadamente 11 años [1]. Entre los eventos más importantes se encuentran las manchas solares, las protuberancias o prominencias, las llamaradas o fulguraciones solares y las eyecciones de masa coronal (CME).

#### **➤ Manchas solares**

Las manchas solares son zonas en el Sol que resaltan por ser más oscuras que el resto de la superficie. Se originan cuando los campos magnéticos que se generan en el Sol debido a las corrientes eléctricas que se producen en él, emergen de la superficie (siempre y cuando el campo magnético sea lo suficientemente fuerte) gracias a los procesos dinámicos que se dan en su interior, haciendo que haya una disminución de la temperatura en esa zona desde donde emerge, pasando de 6.000 grados C a 4.200 grados C aproximadamente, logrando que la región que queda más fría luzca más

oscura. Se extienden hacia el interior del Sol y pueden persistir desde horas hasta varios meses. Ver Figura 8.

**Figura 8. Manchas solares observadas el día 17 de enero de 2013.**



Fuente: [www.spaceweather.com](http://www.spaceweather.com)

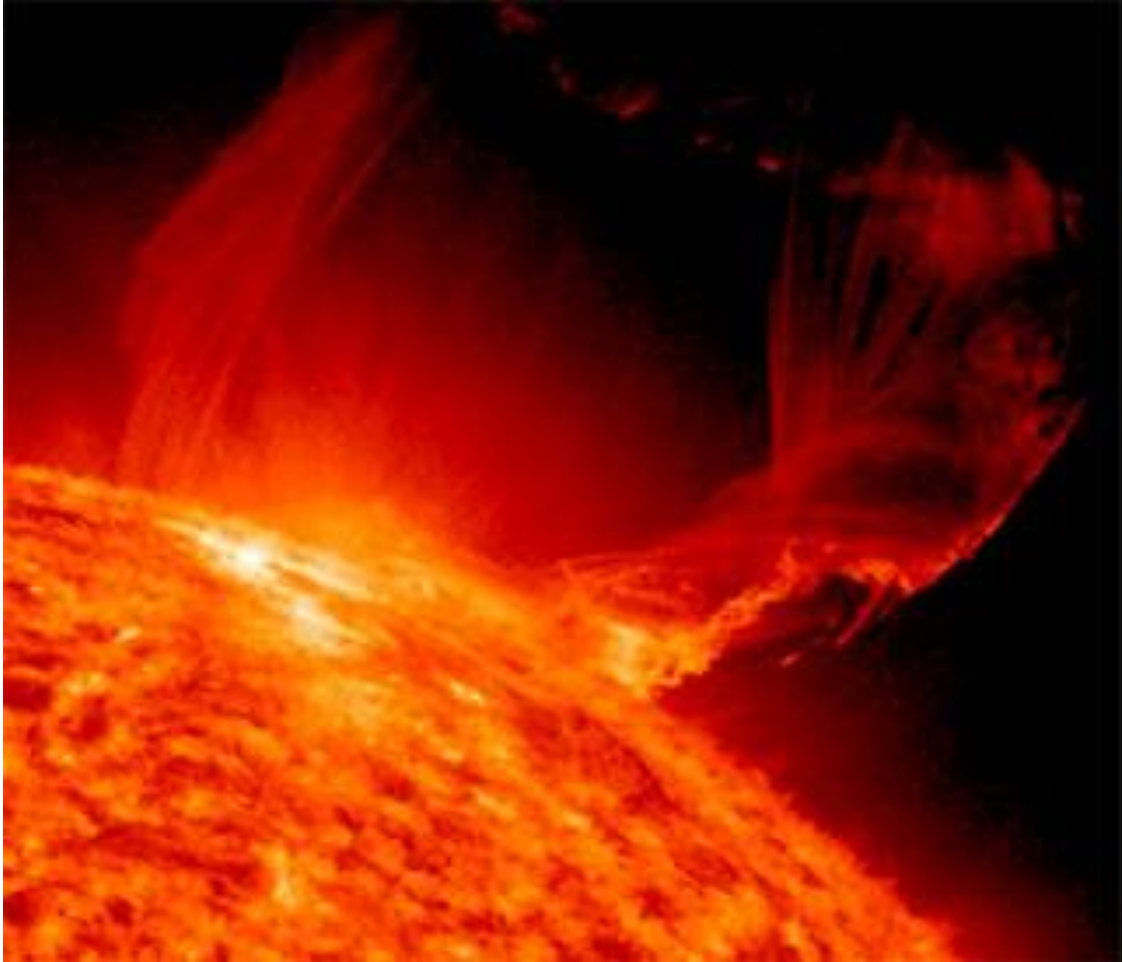
Las manchas solares pueden estar asociadas con campos magnéticos complejos, lo cual hace que se presenten liberaciones de energía originando los siguientes fenómenos: lazos magnéticos, prominencias o protuberancias solares, fulguraciones o llamaradas solares y eyecciones de masa coronal. Debido a que los lazos magnéticos no generan efectos importantes en la Tierra, no se tendrán en cuenta en este capítulo.

#### ➤ **Protuberancias solares**

Las protuberancias solares son liberaciones de grandes cantidades de plasma que se encuentran controladas por las líneas del campo magnético del Sol, en ocasiones pueden estar acompañadas por explosiones, las cuales expanden las partículas del plasma y se adhieren en el viento solar, ocasionando que

puedan alcanzar la atmósfera terrestre. El impacto del viento solar cargado con estas partículas con las moléculas de aire es el causante de las auroras boreales y australes. Ver Figura 9.

**Figura 9. Protuberancia solar.**



Fuente: [www.spaceweather.com](http://www.spaceweather.com)

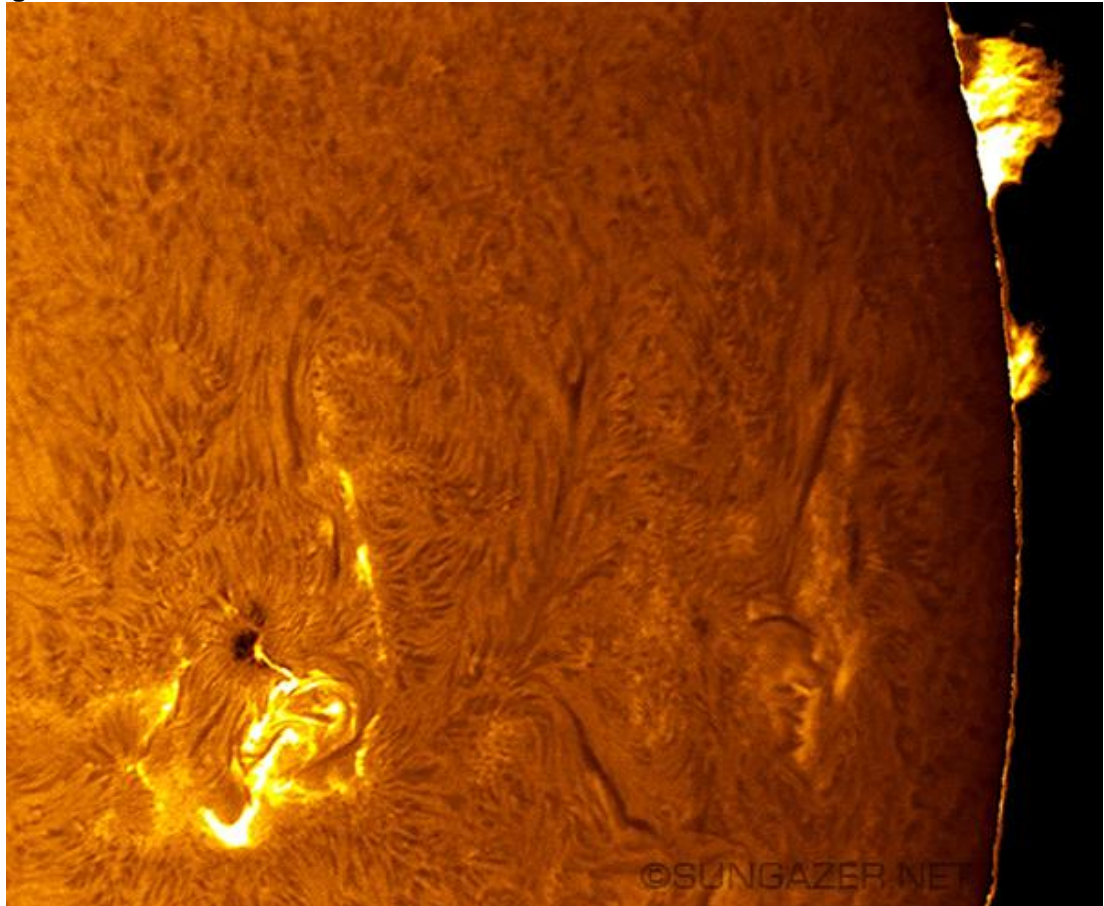
Las protuberancias tienen formas complejas, son de estructura fibrosa y son relativamente persistentes. Pueden ser visibles durante un eclipse total de Sol y son de aspecto rojizo, lo cual se debe a la cromosfera solar [1] [5].

#### ➤ **Llamaradas solares**

Las llamaradas o fulguraciones son más violentas que las protuberancias, son explosiones de gran intensidad que liberan enormes cantidades de materia y radiación, que puede alcanzar una temperatura de 500.000K e incluso generar algunas reacciones nucleares [12]. Estas se presentan cuando la energía almacenada en campos magnéticos (localizados normalmente encima de las manchas solares) es soltada repentinamente. Las llamaradas producen un

estallido de radiación a través del espectro electromagnético, desde las ondas de radio hasta los rayos-X y los rayos-gamma [13]. Ver Figura 10.

**Figura 10. Llamarada solar.**



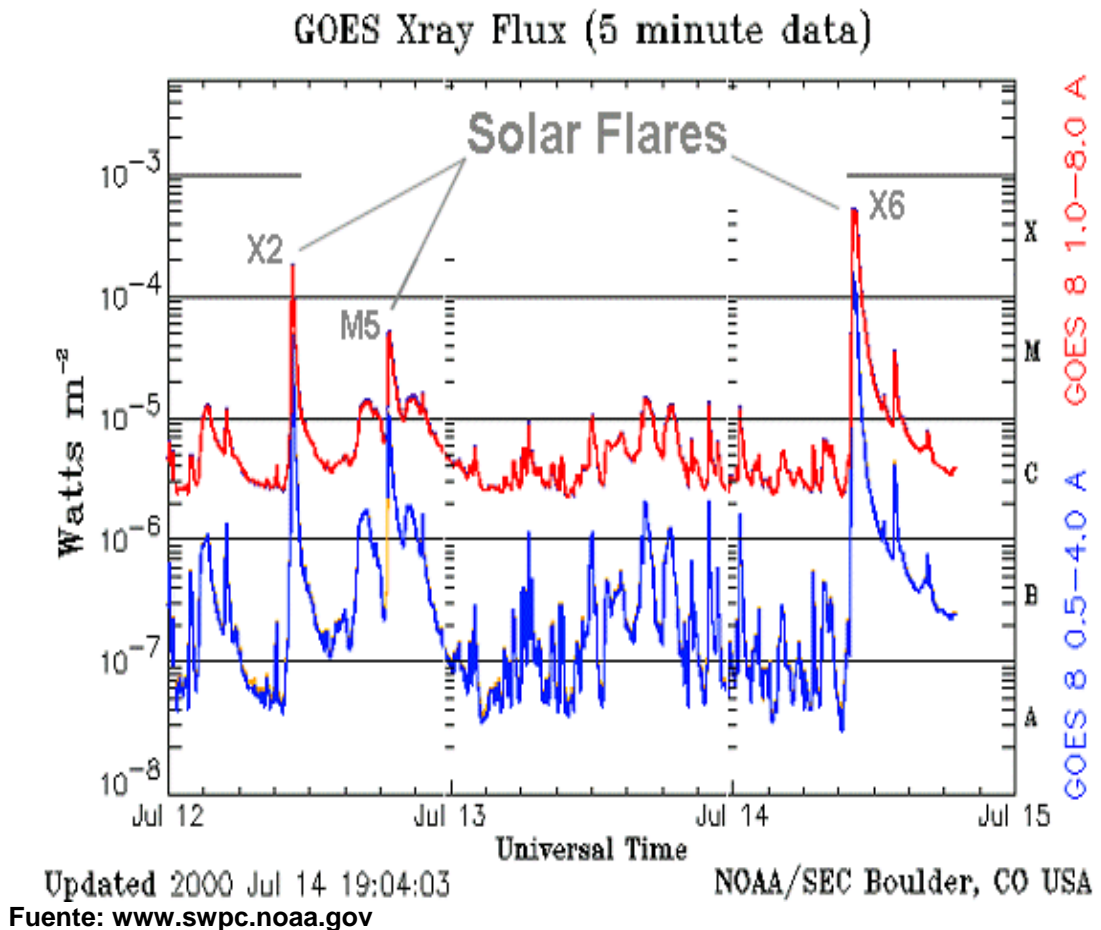
Fuente: [www.spaceweather.com](http://www.spaceweather.com)

Algunas llamaradas solares liberan gran cantidad de protones que pueden alcanzar la Tierra en unos 30 minutos. Al llegar a la Tierra, comienzan a moverse siguiendo una trayectoria espiral a lo largo de las líneas del campo geomagnético, penetrando en las capas altas de la ionósfera, donde aumentan los niveles de ionización [1].

Los científicos clasifican a las llamaradas solares de acuerdo a su brillo en rayos-X, en el intervalo de 1 a 8 Angstroms. Existen tres categorías: las llamaradas de clase X son grandes; son eventos de gran magnitud que pueden desatar apagones en las ondas de radio en todo el planeta así como tormentas de radiación de larga duración. Las llamaradas de clase M son de tamaño mediano; pueden generalmente causar ligeros apagones en el radio que afectan las regiones polares de la tierra. A veces hay tormentas de radiación menores tras de una llamarada de clase M. Comparados con los eventos de tipo X y M, las llamaradas de clase C son pequeñas y de consecuencias poco notorias aquí en la Tierra [13].

La Figura 11 muestra una serie de llamaradas solares detectadas por los satélites GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) en Julio del 2000.

Figura 11. Llamaradas solares detectadas por los satélites GOES.



➤ **Eyecciones de Masa Coronal (CME, *Coronal Mass Ejections*)**

Las eyecciones de masa coronal son el fenómeno solar más imponente y que libera las mayores cantidades de energía desde el Sol. La materia liberada en este evento impacta todos los planetas del Sistema Solar y satélites artificiales, y usualmente viajan a velocidades de entre 500 y 1500 km/s, tardan de 2 a 3 días en recorrer los 150 millones de kilómetros que separan a la Tierra del Sol. Al impactar con la magnetósfera de la Tierra ocasiona las tormentas geomagnéticas y perturbaciones en las radiocomunicaciones en HF (*High Frequency*) [1] [14]. Ver Figura 12.

Las eyecciones de masa coronal no son tenidas en cuenta en este trabajo ya que liberan energía en forma de materia, y sólo se tendrá en cuenta la energía liberada en forma de rayos X y ultravioleta generado por las llamaradas solares.

Figura 12. Eyecciones de Masa Coronal.

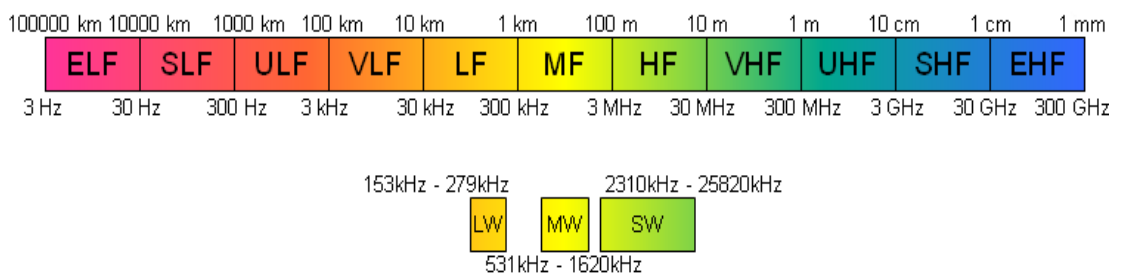


Fuente: [www.spaceweather.com](http://www.spaceweather.com)

## 2.2. LAS SEÑALES VLF EN LA IONÓSFERA

La designación VLF (Very Low Frequency, Frecuencia Muy Baja) se usa para denominar a la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias radioeléctricas de 3 kHz a 30 kHz, según ha sido designado por el tratado de las regulaciones de radio ITU (International Telecommunication Union) como se muestra en la Figura 13. Las ondas de VLF tienen una longitud de onda de 100–10 km, pueden penetrar el agua a una profundidad entre 10 a 40 metros, dependiendo de la frecuencia propia y la salinidad del agua [15].

Figura 13. Espectro de radio frecuencias designado por la ITU.



Fuente: <http://sidstation.loudet.org>

Las ondas de radio VLF provienen de transmisores instaurados por diferentes naciones para comunicarse con sus submarinos, y pueden ser rastreadas ya que estas rebotan en la ionósfera de la Tierra. Como el Sol afecta la ionósfera terrestre, la fuerza de los cambios de estas ondas VLF añaden ionización, perturbando de esta manera el salto de las ondas.

En la Tabla 1 se encuentran algunos de los transmisores de VLF que pueden ser utilizados para el monitoreo de las perturbaciones en la ionósfera, su ubicación, su frecuencia y su identificación.

**Tabla 1. Estaciones transmisoras de ondas VLF.**

<i>Country</i>	<i>Location</i>	<i>Name</i>	<i>Frecuency (kHz)</i>	<i>Power (kW)</i>
USA	Cutler, ME	NAA	24.0	1000
	Jim Creek, WA	NLK	24.8	250
	Lualualei, HI	NPM	21.4	566
	LaMoure, ND	NML	25.2	500
	Aquada, Puerto Rico	NAU	40.75	100
Antarctica	South Pole	VLF	20.0	
Australia	Harold E. Holt (North West Cape)	NWC	19.8	1000
China	Changde	3SA (alternates 3SB)	20.6	
	Datonge	3SB (alternates 3SA)	10.6	
France	Rosnay	HWU	20.9	400
	St. Assie	FTA	16.8	
	LeBlanc (NATO)	HWV	21.75	
Germany	Rhauderfehn	DHO	23.4	500
Iceland	Keflavik (US Navy)	NRK	37.5	100
	Keflavic	TFK	37.5	
India	Katabomman	VTX3	18.2	
Italy	Tavolara	ICV	20.27	43
	Sicily	NSC	45.9	
	Ebino	JJI	22.2	
Norway	Kolsas	JXN	16.4	45
Russia	Arkhangelsk	UGE	19.7	150 input
	Batumi	UVA	14.6	100 input
	Kaliningrad	UGKZ	30.3	100 input
	Matotchkinchar	UFQE	18.1	100 input
	Vladivostok	UIK	15.0	100 input
	Bafa	TBB	26.7	
Turkey	Bafa	TBB	26.7	
United Kingdom	Anthom	GBZ	19.6	500
	Anthom (NATO)	GQD	22.1	500
	London	GYA	21.37	120

**Fuente: SuperSID Manual.**

Cuando la energía solar proveniente de los eventos solares golpea la ionósfera, esta despoja a los electrones de su núcleo. Este proceso es llamado ionización, la ionósfera empieza a estar repentinamente más ionizada, cambiando así la

densidad y localización de las capas. Con el incremento de la ionización, las señales VLF rebotan desde la capa más baja de la ionósfera, la capa D. Estos electrones libres tienen una fuerte influencia en la propagación de las señales de radio. Las radio frecuencias de muy baja frecuencia (VLF) reflejan esos electrones en la ionósfera permitiendo así las radio comunicaciones a través del horizonte y alrededor de la curvatura de la Tierra, pero cuando se ven alteradas por la actividad del Sol este proceso puede ser interrumpido [5].

### 2.3. PROPAGACIÓN IONOSFÉRICA

Desde las primeras comunicaciones radiales a principios del siglo XX hechas por Marconi, se despertó la curiosidad acerca de los factores que permitían la difusión de las señales por los cielos, fue por esto que en 1903 se dio paso a la teoría de las capas de *Kennelly-Heaviside*<sup>5</sup> con lo que posteriormente se descubrió la existencia de las diferentes capas que componen la parte exterior de la tierra. Dentro de ellas está la ionósfera, que forma parte fundamental en la transmisión de ondas electromagnéticas al estar constituida por un plasma que al ser ionizado por la actividad solar y otros factores como los rayos cósmicos, provee un ambiente similar a los dieléctricos en que las ondas pueden ser atenuadas, reflejadas o refractadas. En el momento que una onda electromagnética ingresa a la ionósfera incidiendo verticalmente, su campo eléctrico ejerce una fuerza sobre las partículas cargadas de la capa y por ende genera una corriente.

El proceso de ionización se origina por la radiación solar en forma de rayos X y rayos ultravioleta (UV). Los protones que llegan a la ionósfera tienen la suficiente energía para despojar los electrones desde el átomo y a la vez, esos electrones libres pueden ser capturados por iones positivos, por lo que se da una recombinación. La proporción entre ionización y recombinación determina la densidad de los electrones. Esto depende de la densidad del gas (en las altitudes más bajas, se acelera el procedimiento de recombinación) y de la cantidad de radiación recibida desde el espacio (principalmente del Sol). En consecuencia, la ionósfera presenta un efecto diurno (día o noche), un efecto según la estación (verano o invierno) y una fuerte relación con la actividad solar.

La ionósfera se encuentra dividida en las siguientes capas (ver Figura 14):

- **Capa D:** Es la más cercana a la superficie terrestre. Esta capa está principalmente en el día, pero en la noche los rayos cósmicos producen una cantidad residual de ionización. No refleja las ondas de radio de alta frecuencia (HF) pero es principalmente la capa responsable de su absorción, particularmente de las ondas de muy baja frecuencia (VLF).
- **Capa E:** Es más alta que la capa D. Solamente refleja ondas de radio de frecuencia menor a 10MHz y absorbe parcialmente frecuencias superiores.

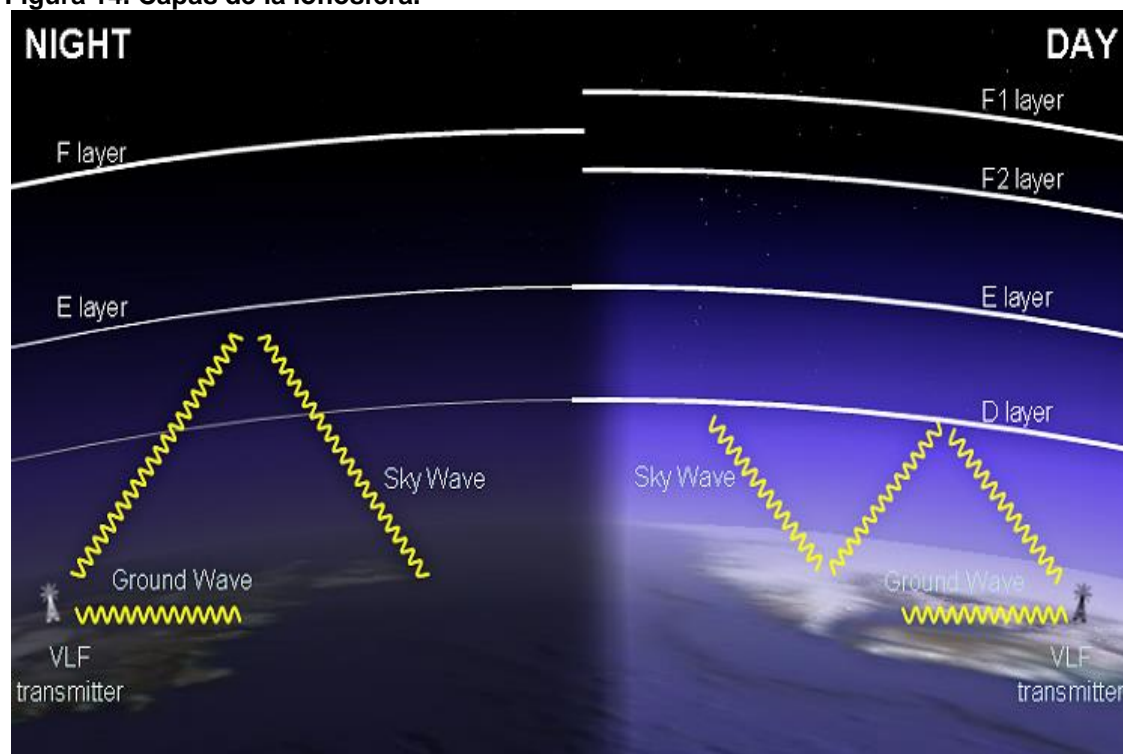
---

<sup>5</sup> En honor a los dos científicos que descubrieron la capa E de la ionósfera.



- **Capa F:** Se encuentra desde 120 km a 400 km por encima de la superficie terrestre. Es la responsable de la mayor parte de la propagación de las ondas de radio. En el día se divide en dos capas llamadas F1 y F2.

Figura 14. Capas de la ionósfera.



Fuente: <http://sidstation.loudet.org/ionosphere-en.shtml>

La capa D es la más importante para la detección de variaciones en la ionósfera, ya que en esta capa penetran la energía de las llamaradas solares y de las explosiones de rayos Gamma. En el día, las longitudes de onda de las señales VLF son tan largas como las ondas de radio que conducen las guías de onda entre la superficie de la Tierra y la región D de la ionosfera; la propagación es muy estable y la atenuación de la señal es baja. Las variaciones que se presentan fuera de lo normal son las que se utilizan para observar cómo la ionósfera ha sido afectada por la actividad solar a través de las llamaradas que contienen los rayos X. En la noche la capa D desaparece y las ondas se reflejan en las capas E y F, el coeficiente de reflexión es más alto por lo que se incrementa la intensidad de la señal, pero la propagación se ve muy afectada por las características ionosféricas, dando lugar a variaciones importantes en la señal que impiden su monitoreo.

Como ya se ha mencionado, las características de propagación de la ionósfera cambian dependiendo de la época del año, hora del día y zona geográfica, así durante el día la ionización es mayor que en la noche. Esto produce que el plasma que la constituye varíe sus características físicas como su frecuencia angular el cual está determinado por la expresión (2.1)

$$\omega_p = \sqrt{\frac{N e^2}{m \epsilon_0}} \quad (2.1)$$

Donde  $N$  es la densidad de los iones,  $e$  es la carga electrónica ( $1.6 \times 10^{-19}$  C),  $m$  es la masa de las partículas y  $\epsilon_0$  es la permitividad del vacío.

Si la frecuencia de la onda que se propaga por el plasma es menor que la frecuencia de este, la onda se atenúa aunque esto no indica que exista absorción de potencia ya que el plasma actúa como una guía de onda, así toda onda que pase del espacio libre hacia el plasma será totalmente reflejada haciendo posible la transmisión a largas distancias y su valor está determinado por la densidad de electrones así:

$$f_0 = 9 \sqrt{N_{max}} \quad (2.2)$$

De lo anterior se puede observar que esta frecuencia depende totalmente de la densidad de electrones presentes en el plasma [17].

#### 2.4. EFECTOS DE LA ACTIVIDAD SOLAR EN LA IONÓSFERA Y EN LA TIERRA.

Las llamaradas solares o las explosiones de rayos Gamma ocasionan un aumento en la densidad de ionización en la región D de la ionósfera, por lo cual surge una perturbación súbita en ella. Durante uno de estos eventos, el lado de la Tierra que está siendo iluminado por el Sol es golpeado por rayos X y por radiación UV (ultravioleta). Estos penetran en la capa D, e incrementan el proceso de ionización y la densidad de los electrones, lo cual a su vez incrementará la absorción de las ondas de radio, principalmente en los rangos de frecuencia superiores MF (300kHz – 3MHz) e inferiores HF (3MHz – 30MHz), causando un apagón de radio. Para las frecuencias muy bajas VLF (3kHz – 30kHz) se incrementa el coeficiente de reflexión, dando lugar a una onda ionosférica más fuerte. Debido a las interferencias entre las ondas de la tierra (propagación directa) y del cielo (reflejadas por la capa D) la intensidad de la señal puede aumentar o disminuir durante un evento solar.

Uno de los efectos que afectan las ondas electromagnéticas que se propagan en la ionósfera, es un efecto magneto-óptico o efecto Faraday, en que el plano de polarización de la onda se gira bajo la influencia de un campo magnético paralelo a la dirección de propagación. La magnitud de la rotación, en radianes está dada por  $R_m \lambda^2$ , en que  $\lambda$  es la longitud de onda y  $R_m$  es un factor de medida de rotación, que se ve afectado por la densidad de flujo magnético  $B$  y por la densidad electrónica.

$$R_m = \frac{e^2}{2\pi m^2 c^4} \int_0^d n_e B ds \quad (2.3)$$

Donde  $e$  es la carga electrónica,  $m$  la masa,  $c$  la velocidad de la luz en el vacío y  $n_e$  la densidad electrónica. Las ondas electromagnéticas que se propagan en la ionósfera también están sometidas a la rotación de Faraday y, como indica la ecuación (2.3), el efecto es proporcional al cuadrado de la longitud de onda. Un efecto adicional es que si una onda está polarizada linealmente, se torna polarizada elípticamente. La magnitud de la rotación es proporcional a la intensidad del campo magnético y de la distancia recorrida por la onda en el medio de propagación [17].

Los eventos solares afectan a la Tierra de muchas maneras, uno de los más sorprendentes es la formación de las auroras que son debidas a las tormentas geomagnéticas inducidas por el Sol cerca de las regiones polares y por lo que se puede observar en el cielo brillos de diferentes colores. Las auroras son el único evento maravilloso que se puede percibir gracias a la actividad solar, ya que los demás efectos sobre la Tierra perjudican diferentes sistemas que los seres humanos utilizan hoy día con gran frecuencia. A continuación, se enuncian algunos de los sistemas que se podrían ver afectados en caso de presentarse algún evento solar.

➤ Sistemas de comunicaciones:

Son muchos los sistemas de comunicaciones que se ven afectados con las perturbaciones en la ionósfera debidas a los eventos solares, ya que la mayoría la utilizan para reflejar las señales de radio a grandes distancias, y a causa de las tormentas ionosféricas podrían seguir rutas de propagación erradas. Es el caso de las comunicaciones aero-terrestres, barco-puerto, radio-aficionados entre otros [18].

Existen sistemas militares de detección que para facilitar el rastreo del despegue de naves y misiles reflejan las señales radar en la ionósfera, al igual que algunos sistemas de localización de submarinos, por lo que la actividad solar que perturba la ionósfera los perjudicaría enormemente.

➤ Sistemas de navegación:

Los sistemas de navegación como LORAN y OMEGA utilizan señales de muy baja frecuencia para poder determinar posiciones de barcos o aviones. Ante un evento solar, los sistemas proporcionarían información incorrecta de localización incluso de varios kilómetros de diferencia.

➤ Satélites:

Debido a las altas temperaturas que se producen en la parte alta de la atmósfera terrestre debido a la actividad solar, los satélites podrían salirse de órbita, ocasionando que entren a la Tierra antes de tiempo y por ende quemándose. Además de esto, debido a que los componentes electrónicos son cada vez más pequeños, fácilmente se podrían quemar y perjudicar su funcionamiento ya que también pueden ocasionar cambios en los comandos de

los programas en las computadoras que controlan los satélites. Del mismo modo, su sistema eléctrico se podría ver afectado a causa de una descarga eléctrica ocasionada por las partículas energéticas del Sol que penetren en él.

➤ **Energía Eléctrica:**

Cuando hay tormentas geomagnéticas, se inducen corrientes casi directas en los equipos generadores de energía debido a que el campo magnético se mueve cerca del conductor, por lo que los equipos de transmisión se verían seriamente perjudicados si las empresas de energía eléctrica no reciben a tiempo una alerta sobre este tipo de actividad solar para minimizar los daños, y además al quemarse los transformadores muchas personas se verían afectadas tanto a nivel social como económico por la falta de energía.

## **2.5. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE ALTERACIONES IONOSFÉRICAS**

El monitoreo del clima espacial se ha convertido en un estudio de alta importancia para diferentes empresas que podrían resultar afectadas a causa de la interacción física y magnética del Sol con la Tierra, por ejemplo las empresas de telecomunicaciones, aviación, energía, entre otras, por los motivos que fueron explicados en el capítulo anterior. Igualmente, también es de gran interés para cada país ya que los daños que podría ocasionar un evento solar perjudicarían enormemente su economía.

La ionósfera puede ser estudiada mediante la observación de la amplitud y la fase de las señales VLF recibidas de remitentes a diferentes distancias. De estos datos, la altura de reflexión efectiva y la conductividad son fácilmente deducibles, y las variaciones pueden ser monitoreadas durante el día y durante las perturbaciones que se presenten.

La propagación VLF en distancias de unos cientos de kilómetros es tratada teóricamente en términos de onda guía limitada por el interior de la tierra y por encima de la ionósfera. En este orden de ideas hay un grupo de técnicas que permiten la detección de este tipo de señales, algunos de los más usados se describirán brevemente en este capítulo.

**2.5.1. La Ionosonda.** La ionosonda es una de las técnicas más antiguas usada para el estudio de la ionósfera y que sigue siendo una de las más importantes. El principio de la onda ionosférica es transmitir verticalmente pulsos de radio y medir el tiempo que transcurre antes de que el eco sea recibido.

Una ionosonda se compone de un transmisor y receptor de pulsos, los cuales se encuentran sincronizados en frecuencia, y el tiempo de retardo del eco es grabado como una función de la frecuencia de radio. Anteriormente, la altura se mostraba contra la frecuencia de radio en un tubo de rayos catódicos, dando como resultado un ionograma el cual era grabado fotográficamente.

Actualmente, esta técnica cuenta con instrumentos más modernos que están bajo el control de un microprocesador y los datos son grabados digitalmente.

La interpretación del ionograma no es adecuado por dos razones, la primera indica que las frecuencias de radio emitidas desde la tierra no viajan a la velocidad de la luz y segundo la ionósfera consta de diferentes capas por lo cual en condiciones especiales la señal de radio puede regresar desde diferentes alturas [19].

**2.5.2. La Reflexión Parcial Ionosférica.** Esta técnica provee valiosa información en el estudio de la ionósfera debido a la reflexión parcial de longitudes de onda más cortas.

Si una onda electromagnética es normalmente incidente sobre el límite marcado entre el medio de índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$ , una fracción  $(n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2$  de la potencia incidente es reflejada. Cerca de los 100km de latitud la turbulencia de la atmósfera produce irregularidades espaciales, desde las cuales la reflexión parcial puede ser recibida a frecuencias medias, aproximadamente sobre la banda 2MHz – 6 MHz (longitud de onda 0.5km a 1.5km). En esta región los ecos son débiles, equivalentes a un mero  $10^{-3}$  o  $10^{-5}$  de la amplitud del total de reflexiones, y así son necesarios un transmisor de alto poder (hasta 100kW) y una antena grande. Si las reflexiones parciales son recibidas desde una altura  $h$ , la onda ha recorrido dos veces la ionósfera interior, y allí será parcialmente absorbida. El perfil de densidad de electrones está determinado por cómo se mide la absorción con la variación de la altura, hasta que no sea posible asegurar una adecuada calibración en términos absolutos, el enfoque usual es transmitir pulsos de ondas E y O circularmente polarizadas y alternadas para comparar las altitudes de los ecos recibidos. El rango está dado por:

$$\frac{A_E}{A_O} = \frac{R_E}{R_O} \exp \left[ -2 \int_0^h (K_E - K_O) dh \right] \quad (2.4)$$

Donde  $R_E/R_O$  es el rango del coeficiente de reflexión teórico en un medio magneto-iónico<sup>1</sup>, y  $K$  representa los vectores de propagación en el plano [19].

La importancia de este método es que hace posible que la ionósfera pueda ser observada de manera continua sobre el rango de altura de 60 – 90km. Esto es difícil de lograr de otro modo, particularmente en latitudes medias y bajas, porque la densidad de los electrones es demasiado pequeña para ser detectada con una ionosonda.

**2.5.3. El radar de dispersión coherente (Csr).** Un radar de dispersión detecta energía dispersa desde dentro de un medio cuando se presentan variaciones espaciales o irregularidades.

El radar de dispersión coherente es un radar diseñado para recibir ecos desde estructuras físicas dentro de un medio ionizado. Estos ecos provienen desde irregularidades en la ionización auroral, los cuales se forman cuando un electrojet<sup>6</sup> vuela en la región auroral E, generando inestabilidades por las dos corrientes y los mecanismos de gradiente derivado. Las ondas así producidas dentro del medio se desplazan de forma casi perpendicular al campo magnético, siendo una importante consecuencia que las irregularidades son alineadas con el campo y los ecos son un aspecto fuertemente susceptible.

**2.5.4. El radar de dispersión incoherente (Isr).** Es una de las técnicas más recientes para la observación de la ionósfera. Es una base terrestre de técnica de sensado remoto que en los últimos 25 años aproximadamente ha sido desarrollada como una herramienta poderosa y flexible capaz de medir muchas cantidades ionosféricas y algunas propiedades y comportamientos de la atmósfera neutral. Tiene como fundamento físico la dispersión de Thomson, la radiación de la energía electromagnética incidente por electrones libres.

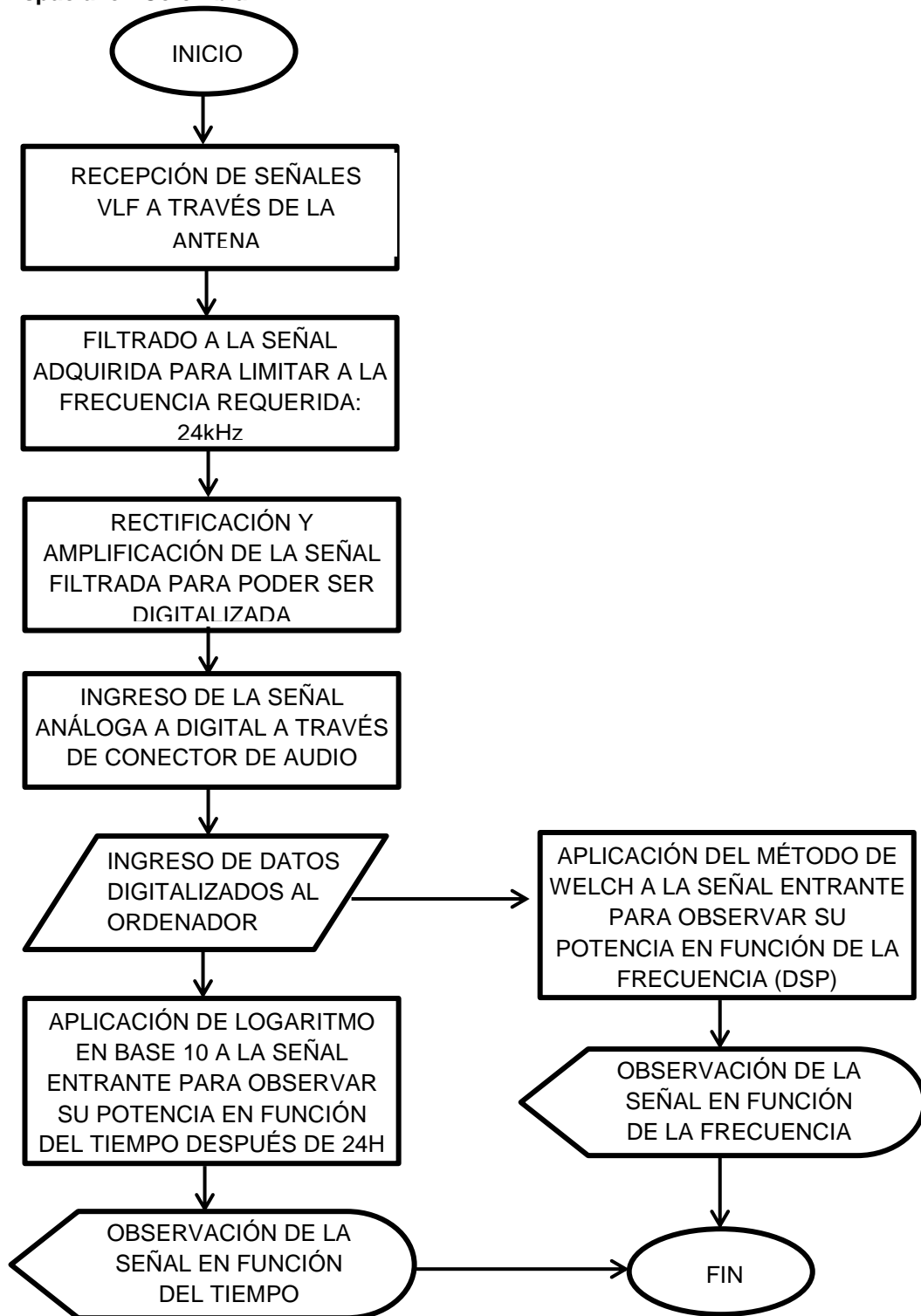
Comparado con la ionosonda tiene dos grandes ventajas: una es que no está restringida a la región interior del nivel pico de la densidad de electrones pero puede observar ambos lados del pico simultáneamente, y la otra es que la antena debe ser de un largo relacionado con la longitud de onda de radio, lo cual produce un haz angosto que alcanza mejor la resolución espacial. La principal desventaja es que debe trabajar con una señal muy débil, lo que requiere un transmisor de alto poder, una antena grande, el receptor más sensitivo y el procesador de datos más sofisticado, haciéndolo excesivamente costoso.

---

<sup>6</sup> Flujo eléctrico en el Ecuador magnético.

### 3. SISTEMA DE RADIO RECEPCIÓN

Figura 15. Diagrama de bloques que describe el Sistema para el Monitoreo del Clima Espacial en Colombia.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 15 se describe a grandes rasgos el funcionamiento del Sistema para el Monitoreo del Clima Espacial en Colombia, en el cual se encuentra cada uno de los pasos realizados para lograr el objetivo y que serán explicados de manera más detallada en el presente capítulo lo referente al hardware, y el el cuarto capítulo lo relacionado con el software.

En la cotidianidad se pueden apreciar las diferentes formas en que las ondas electro-magnéticas son tomadas por equipos que hacen parte de nuestras vidas. Desde su descubrimiento, estas han sido objeto de estudio, manipulación y procesamiento, pasando por codificación, modulación y demodulación con el fin de hacer uso de ellas para las comunicaciones en la mayoría de los casos. Ahora, se mostrará la recepción de ondas VLF con antenas de lazo o *loop*, en las cuales debido a sus características de longitud de onda y sobre todo frecuencia permiten observar las variaciones que ocurren en las capas atmosféricas de la tierra.

Las antenas irradian o interceptan energía electromagnética. El circuito generador suele ser la etapa de amplificación final de un transmisor y el medio de conexión a éste y la antena, una línea de transmisión o una guía de onda. Es posible considerar la antena como un dispositivo que permite la transición de una onda guiada a una onda no guiada o radiada al espacio, en una línea de transmisión. La onda guiada por una línea de transmisión es generalmente plana, en tanto que la onda radiada posee características de onda esférica.

### 3.1. LA ANTENA DE LAZO O LOOP

Este tipo de antena se usa para un amplio rango de frecuencias. El tipo más empleado es el de espira circular, aunque de igual forma se usen las cuadradas y las rectangulares, como se puede observar en la Figura 15. Las antenas de lazo pueden ser pequeñas eléctricamente, si su radio es menor de  $\lambda/3$  y grandes si el radio es del orden de una longitud de onda o mayor. Las antenas pequeñas tienen baja eficiencia de radiación ( $\eta$ ), la cual es la relación entre la potencia radiada ( $P_{rad}$ ) y la potencia disipada ( $P_d$ ) definida por la ecuación (3.1) [20], y son más usadas en los controles para abrir o cerrar puertas a distancia, en sistemas de comunicaciones en interiores y como sondas en equipos de medición.

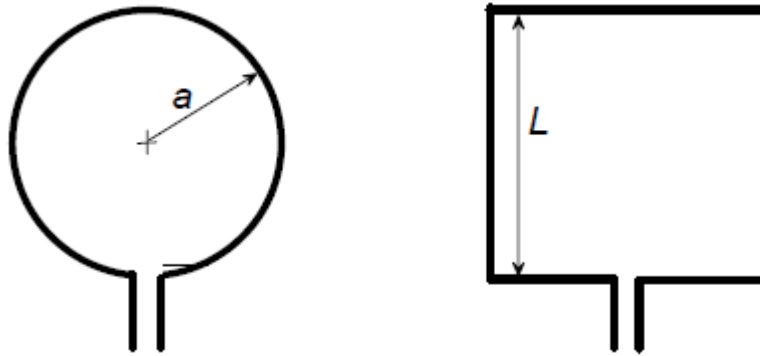
$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{rad} + P_d} \quad (3.1)$$

Las antenas son elementos pasivos cuyas características pueden considerarse bidireccionales, es decir, que permiten también la transición de una onda no guiada que se propaga en el espacio, a una onda guiada en una línea de transmisión conectada a un receptor.



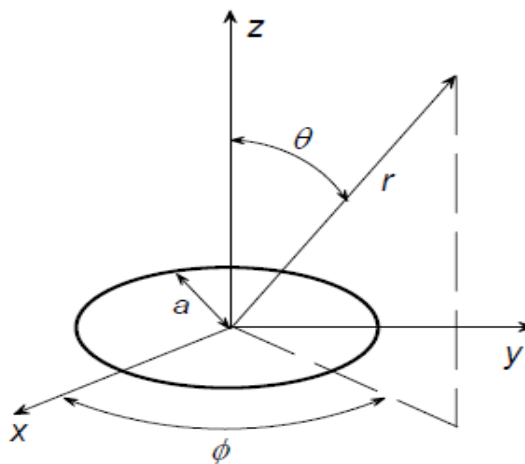
La geometría para el análisis de los campos eléctrico y magnético radiados por una espira, se ilustran en la Figura 16.

Figura 16. Antenas *loop* (de lazo o espira).



Fuente: **Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Tomasi, W.**

Figura 17. Análisis geométrico de las antenas *Loop*.



Fuente: **Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Tomasi, W.**

Estos campos están descritos por las ecuaciones (3.2) y (3.3):

$$E_{\theta} = \frac{Z_0 \beta a N I_m e^{j(\omega t - \beta r)} J_1(\beta a \sin \theta)}{2r} \quad (3.2)$$

$$H_{\theta} = \frac{\beta a N I_m e^{j(\omega t - \beta r)} J_1(\beta a \sin \theta)}{2r} \quad (3.3)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.4)$$

Donde  $\beta$  es una constante igual a  $2\pi/\lambda$  (ecuación 3.4),  $a$  es el radio de la espira,  $N$  es el número de espiras o vueltas del hilo de cobre  $Z_0$  es igual a  $120\pi \Omega$  y  $I_m$  es la corriente en la espira.

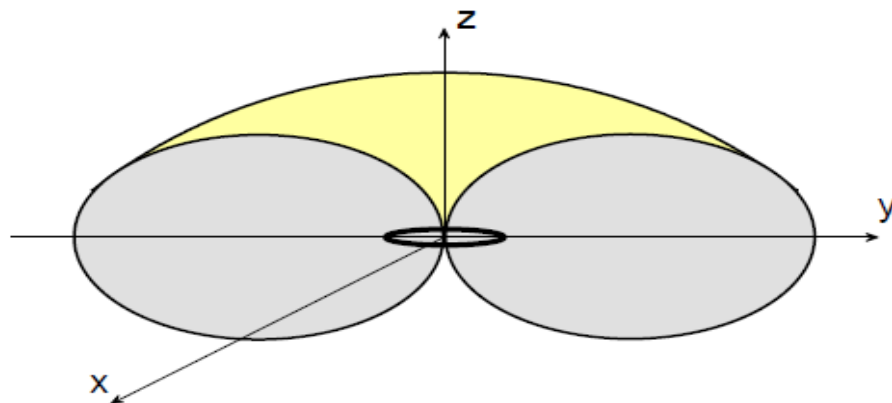
Para espiras cuadradas de lado  $L = \lambda/10\pi$ , el comportamiento es el mismo que el de una antena de espira circular pequeña.

Para antenas de pequeño diámetro, en que  $\lambda/100 \leq a \leq \lambda/30$ , la resistencia de radiación es muy pequeña, menor aún que su resistencia óhmica, lo que la desacopla de las líneas de transmisión prácticas. Esta resistencia puede aumentarse con el número de espiras, aumentando la circunferencia efectiva. Esta técnica aumenta la resistencia de radiación, y también la reactancia, aun si el valor es igual a la impedancia característica de la línea. Esto no plantea problemas ya que la reactancia puede cancelarse con una reactancia de signo opuesto conectada a las terminales de la antena para hacerla resonante.

El diagrama de radiación de una antena de espira es muy similar al de un dipolo y se ilustra en la Figura 17, para una antena de espira situada en el plano  $xy$ .

Este diagrama es válido para antenas en que  $a < \lambda$ . A un radio mayor, se tienen varios lóbulos, semejantes a los de un dipolo de longitud mayor que  $\lambda$  [17].

**Figura 18. Diagrama de radiación de una antena Loop.**



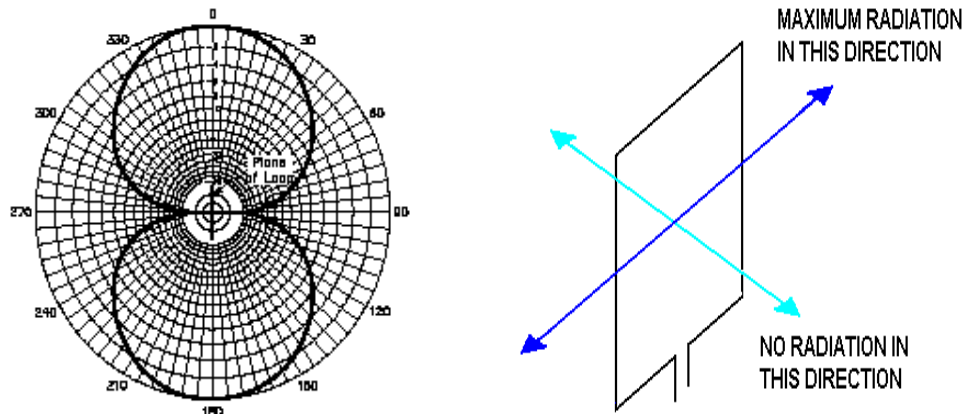
Fuente: **Sistemas de telecomunicaciones. Pérez Vega, Constantino.**

### **3.2. CONSTRUCCIÓN DE LA ANTENA**

La construcción de la antena se realiza de forma artesanal ya que no se requiere un diseño muy especial, pero se debe tener en cuenta que el alambre de cobre debe ser aislado, es necesario revisar su calibre y analizar la cantidad de vueltas que se requieren según la longitud de cada lado con la que se decida realizar la antena. Cumpliendo con estos parámetros se garantiza una óptima recepción de las señales que son reflejadas desde la ionósfera.

Como se ha establecido la antena a ser usada se conoce como antena de lazo, la cual en características de radiación cumple con el mismo patrón de radiación de la antena de dipolo determinado por el eje a lo largo del bucle o giro y no a través de él [23]. Esto se puede notar en la Figura 19

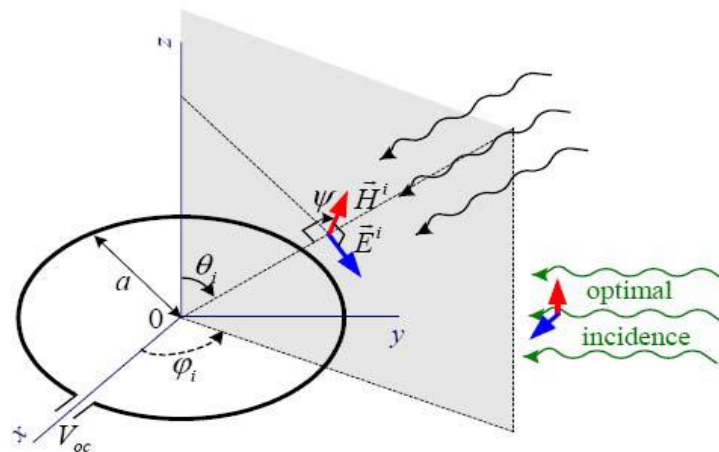
Figura 19. Radiación de una antena *Loop*.



Fuente: <http://www.radioaficion.com/HamNews/articles/1521.html>.

En este tipo de antenas la impedancia es inductiva por lo que su valor es muy bajo o prácticamente con resistencia cero, dada esta característica el voltaje en los terminales de la antena estarán dados por la ecuación (3.4) y se puede notar en la Figura 20.

Figura 20. Radiación de una antena *Loop*.



Fuente: [www.ece.mcmaster.ca/faculty/georgieva/antenna\\_dload/current\\_lectures](http://www.ece.mcmaster.ca/faculty/georgieva/antenna_dload/current_lectures).

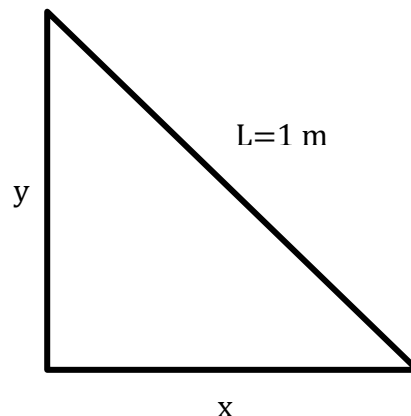
$$V_{oc} = j\omega\mu SH^i \cos\psi \sin\theta_i = j\beta SE^i \cos\psi \sin\theta_i \quad (3.5)$$

En la ecuación (3.4) se puede apreciar que el diferencial de potencial depende directamente de los campos de incidencia de  $H^i$  y  $E^i$  con sus respectivos ángulos.

El tipo de antena utilizado puede ser pequeña con una longitud de un metro por cada lado ( $L=1\text{m}$ ) o de tamaño grande con longitud 2m o más ( $L=2\text{m}$ ). En el caso en que se decida construir una antena grande se requiere tener cable aislado calibre AWG 22 o AWG 24, y se construye con 25 vueltas tratando de dejar suficiente cable en los extremos para conectarla al cable coaxial. Para este proyecto se construyó una antena pequeña ( $L= 1\text{m}$  por lado) con 24 vueltas de cable aislado calibre AWG 22 (100 m), la cual, aunque por ser pequeña puede perder algo de sensibilidad en la recepción, conserva los lóbulos de radiación mostrados en la Figura 18.

Para iniciar, se tomaron dos perfiles de madera para el armazón, los cuales, realizando un sencillo análisis por el Teorema de Pitágoras deben medir 0.71 metros para cada lado, en total 1.42 metros de largo para así obtener 1 metro de alambre por cada lado, como se ilustra en la Figura 21:

**Figura 21. Cálculo de la longitud de los perfiles de madera por el Teorema de Pitágoras.**



**Fuente: Elaboración propia.**

En este caso  $x=y$ , por consiguiente de acuerdo con el teorema de Pitágoras se tiene que:

$$x = \sqrt{\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

Aunque según este resultado cada perfil debe medir en total 1.42 metros, se deben adicionar 5 cm con el fin de realizar el empalme entre los dos perfiles sin perder su longitud adecuada de 0.71 metros. Para realizar este empalme se realizan unas muescas en el centro de cada uno de la longitud mencionada, acto seguido se unen en forma de cruz y se sujetan con tornillos y tuercas,

como se puede observar en la Figura 22. Si se desea, se puede reforzar la sujeción entre los perfiles con cable.

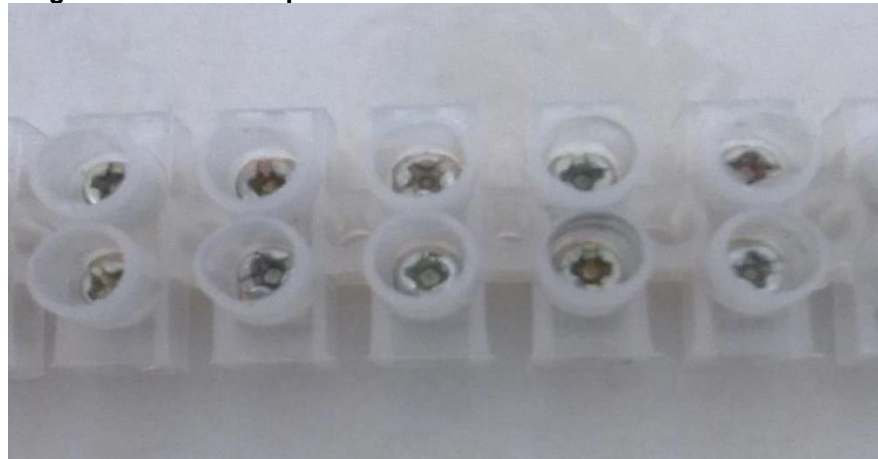
**Figura 22. Empalme de los perfiles de madera para el armado de la antena.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Posteriormente y para finalizar, se procede a enrollar el alambre de cobre alrededor de los perfiles de madera hasta obtener la cantidad de vueltas necesarias, con la precaución de dejar libre una cantidad de alambre considerable para la conexión con el cable coaxial. Esta conexión se realiza a través de una regleta con tornillos como la que se ilustra en la Figura 23, en la que en un extremo van el alambre inicial y final del cobre y en el otro los alambres del cable coaxial. Se debe tener especial precaución en que cada alambre quede bien sujetado a los tornillos y, adicionalmente esta conexión se debe aislar con material termoencogible para evitar oxidación, la cual afectaría la señal. Ver Figura 24.

**Figura 23. Regleta con tornillos para conectar alambre de cobre con el cable coaxial.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 24. Conexión entre el alambre de cobre y el cable coaxial recubierto por termoencogible.**



Fuente: Elaboración propia.

### **3.3. ANÁLISIS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO**

Para poder procesar la señal que es captada por la antena a través del computador, se hace necesario la implementación de un circuito preamplificador que aumente el nivel de la señal y conserve sus valores de frecuencia puesto que la diferencia de potencial dada por la antena está en el orden de los mili-voltios mV (200mVac), lo que no permite que sea fácilmente reconocida por la tarjeta de audio del ordenador o que la interprete como ruido.

Para desarrollar el circuito se toma como base el sistema diseñado por la Universidad de Stanford, conocido como Monitor SID, el cual fue adquirido por la Universidad Tecnológica de Pereira para el Observatorio de Astronomía y que toma un rango de frecuencias desde 1kHz hasta 1 MHz y permite captar las señales dentro de todo el rango de las VLF. El circuito es un amplificador pasa banda que consta de dos etapas centrado en 10 kHz, con un circuito de protección formado por una configuración de doble MOV PPTC (*Metal Oxide Varistor – Polymeric Positive Temperature Coefficient*), para protección de sobre voltajes y sobre corriente que puedan provenir desde la antena debido a que esta estará expuesta a la intemperie constantemente.

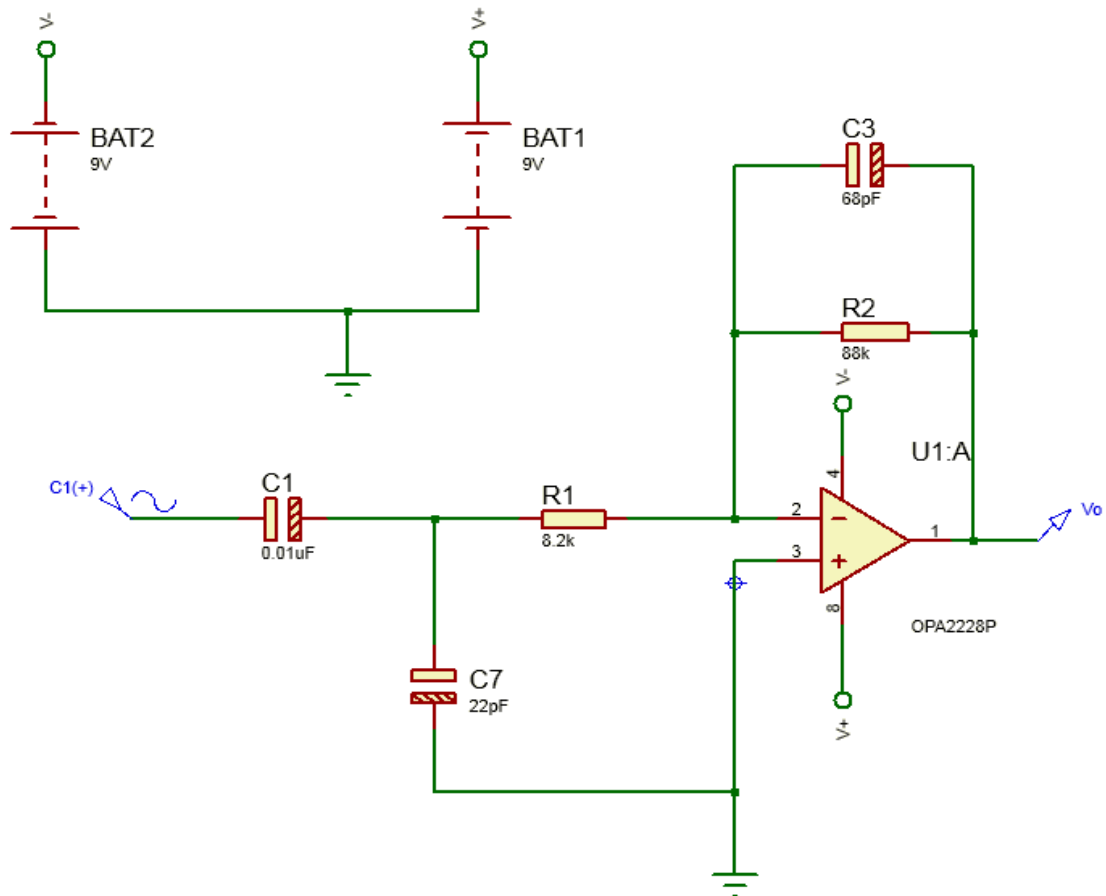
Para el caso del Monitor CEC se centrará la recepción de la señal VLF proveniente de la estación NAA ubicada en Cutler (Maine, EU), la cual emite señales en la frecuencia de 24.4kHz y es la que llega con mayor intensidad a esta zona de Suramérica. Con esta información se procedió a cambiar el diseño del circuito en cada etapa de amplificación con el fin de mejorar el rango de frecuencias de la banda pasante sin afectar la ganancia del amplificador, según la ecuación 3.6:

$$f_m = \frac{1}{2\pi * R * C} \quad (3.6)$$

La simulación del circuito y el análisis de su respuesta en frecuencia se hicieron usando la plataforma de *Proteus 8 Professional*™. Se suprimieron los componentes de protección (varistores PPTC referencia LVM2Pro y el transistor TLE2426C) debido a que no se encontraban habilitados en dicha aplicación, teniendo en cuenta que su ausencia no afectaría la respuesta en frecuencia. Los valores de resistencia obtenidos fueron puestos dentro de la simulación como resistencias variables para así calibrar el mejor valor que permitiera una señal más óptima. Los valores definitivos se muestran en el circuito simulado. Se realizaron simulaciones de repuesta en frecuencia del circuito y se calcularon las funciones de transferencia por etapas y del circuito total para compararlas y comprobar que el circuito modificado cumple con el requerimiento para la aplicación del sistema en cuanto a la frecuencia. El análisis de circuito para hallar las funciones de transferencia se hizo por el método de nodos dado por la Ley de Kirchhoff.

En la Figura 25 se puede observar la primera etapa del circuito.

**Figura 25. Circuito Esquemático primera etapa del MonitorCEC.**



Fuente: Elaboración propia.

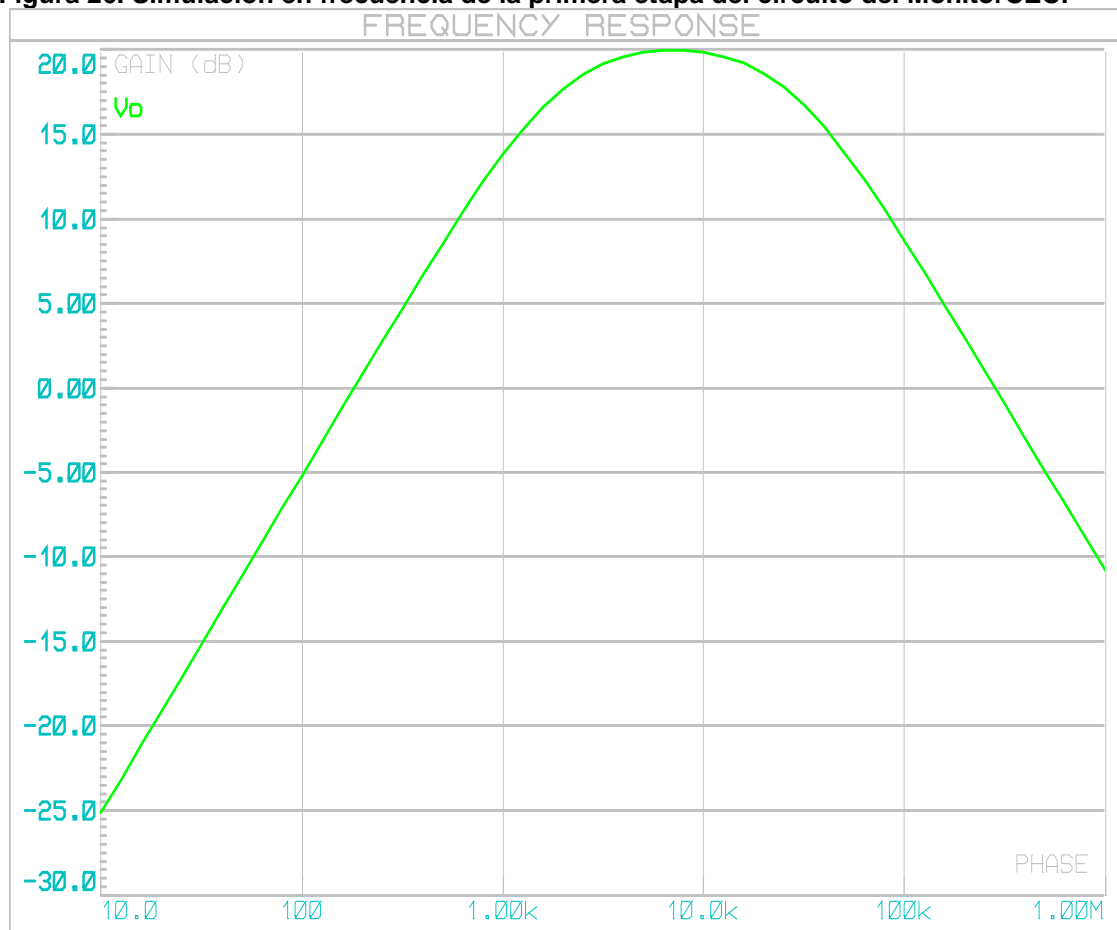
Posteriormente en la Figura 26 se puede observar su respuesta en frecuencia

Para el análisis del circuito la función de transferencia de la primera etapa de amplificación es:

$$H(s)_{etapa1} = -\frac{8.8 \times 10^{-4} s}{4.918 \times 10^{-10} s^2 + 8.816 \times 10^{-5} s + 1} \quad (3.7)$$

Como se puede observar en la ecuación 3.7, la función de transferencia corresponde a un filtro pasa bandas de segundo orden cuya simulación en Matlab™ se muestra mediante el diagrama de Bode en la Figura 27

**Figura 26. Simulación en frecuencia de la primera etapa del circuito del MonitorCEC.**

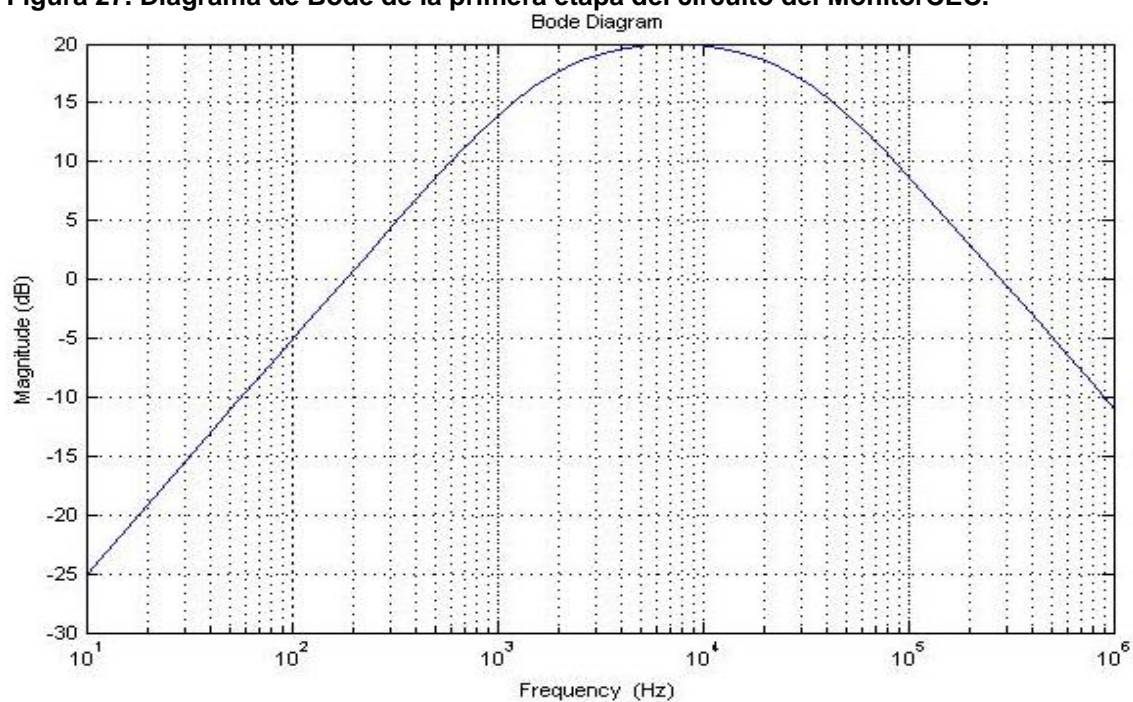


**Fuente: Elaboración propia.**

En las Figuras 26 y 27 se pueden notar la igualdad tanto en frecuencia como en magnitud conservando cada uno de los valores característicos del filtro y su respuesta en frecuencia.



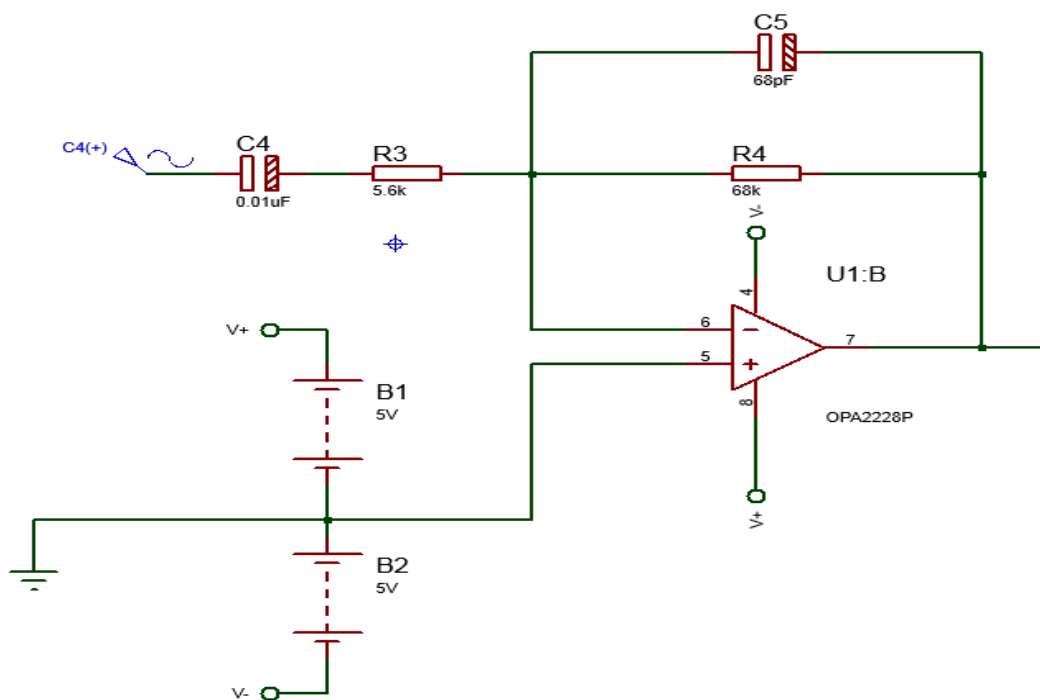
Figura 27. Diagrama de Bode de la primera etapa del circuito del MonitorCEC.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 28 se ilustra la segunda etapa del circuito amplificador simulado en Proteus™.

Figura 28. Circuito Esquemático de la segunda etapa del MonitorCEC.



Fuente: Elaboración propia.

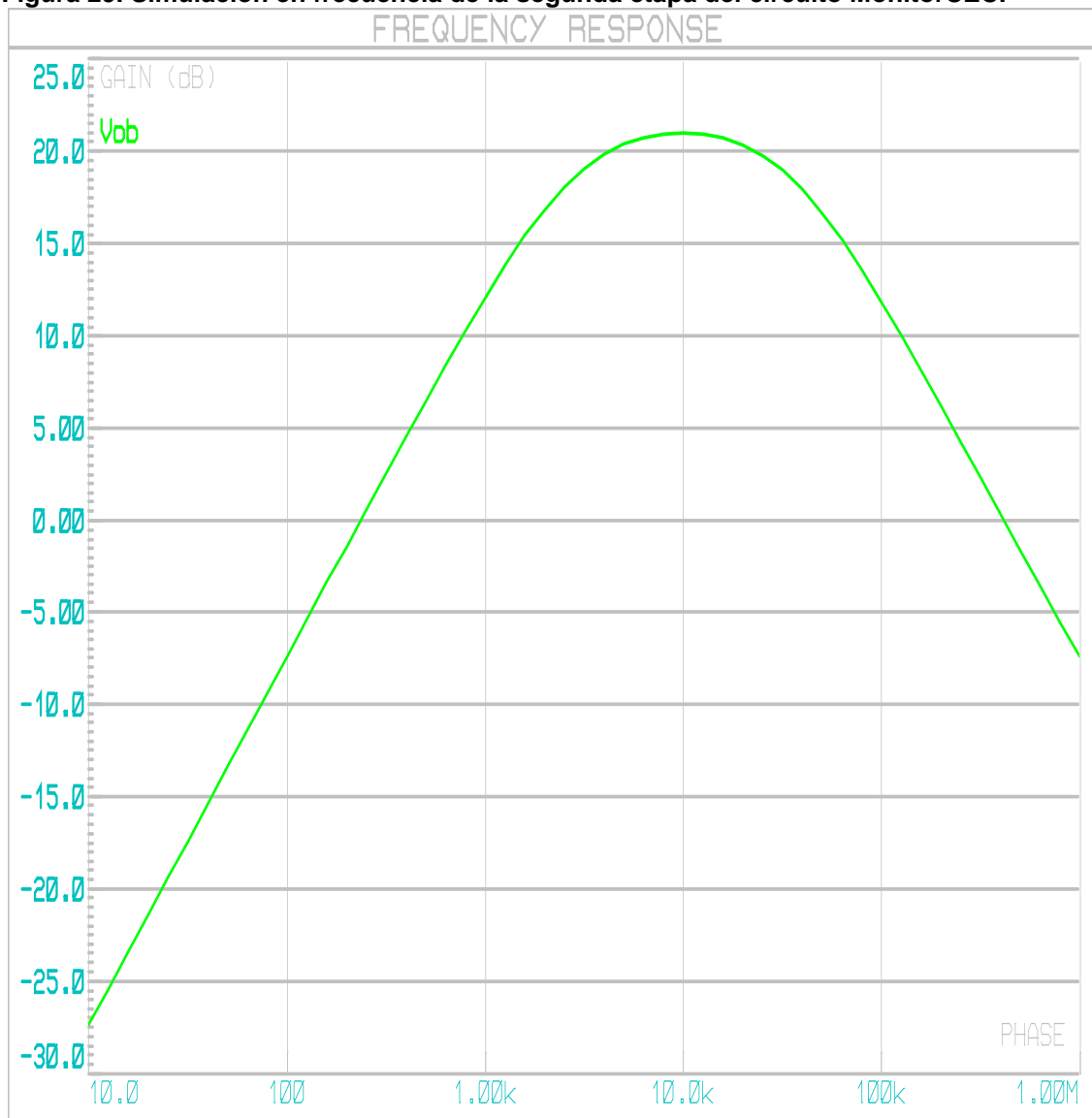
Para la etapa 2 del amplificador se tiene la siguiente función de transferencia:

$$H(s)_{etapa2} = -\frac{6.8 \times 10^{-4} s}{2.589 \times 10^{-10} s^2 + 6.062 \times 10^{-5} s + 1} \quad (3.8)$$

Se puede apreciar en la ecuación 3.6 que al igual que la etapa 1 este es un filtro pasa-bandas de segundo orden cuyo diagrama de Bode se ve en la Figura 30.

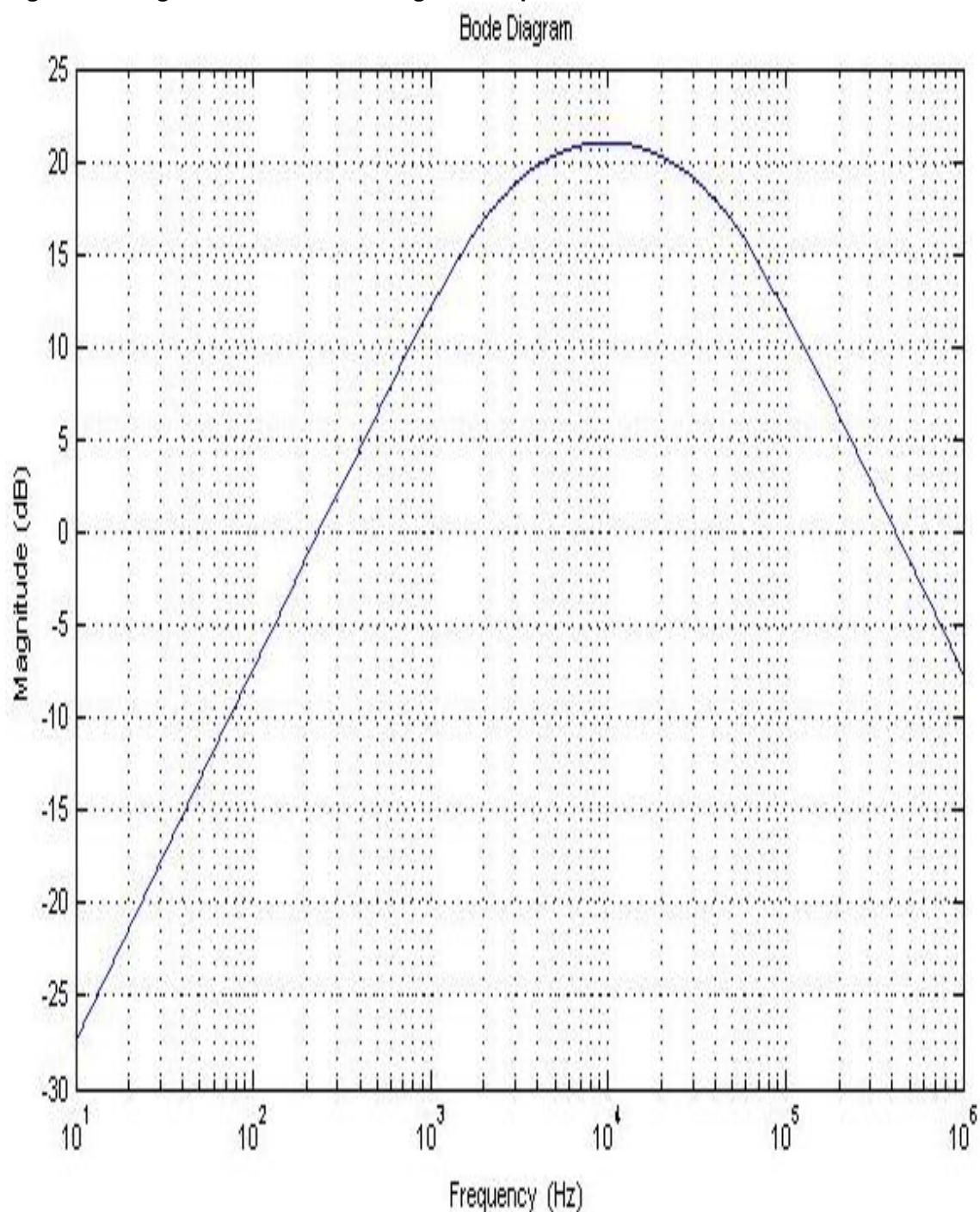
También se puede notar en las Figuras 29 y 30 que la respuesta en frecuencia del circuito y su diagrama de Bode corresponden en todos los parámetros.

**Figura 29. Simulación en frecuencia de la segunda etapa del circuito MonitorCEC.**



Fuente: Elaboración propia.

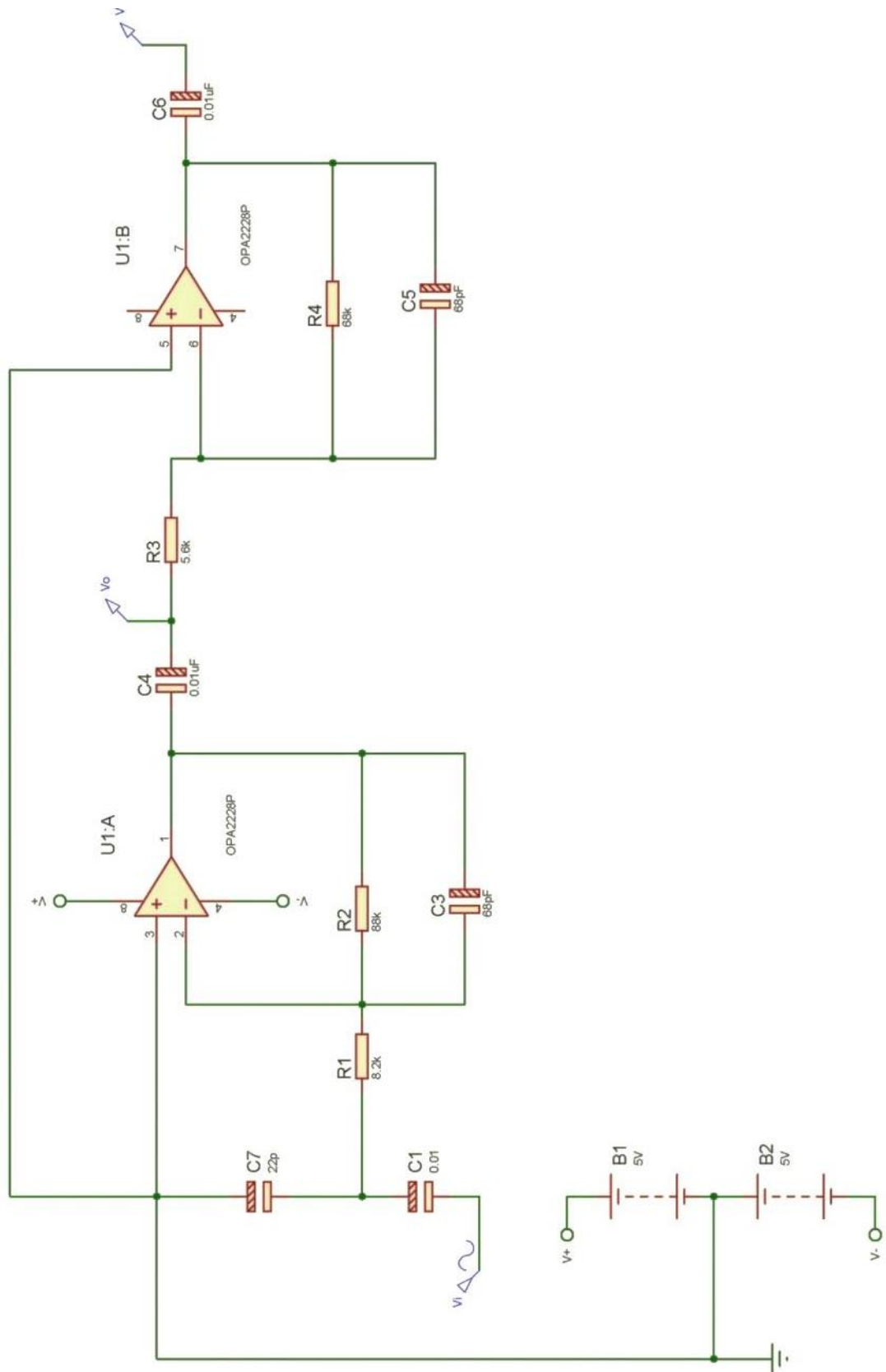
Figura 30. Diagrama de Bode de la segunda etapa del circuito MonitorCEC.



Fuente: Elaboración propia.

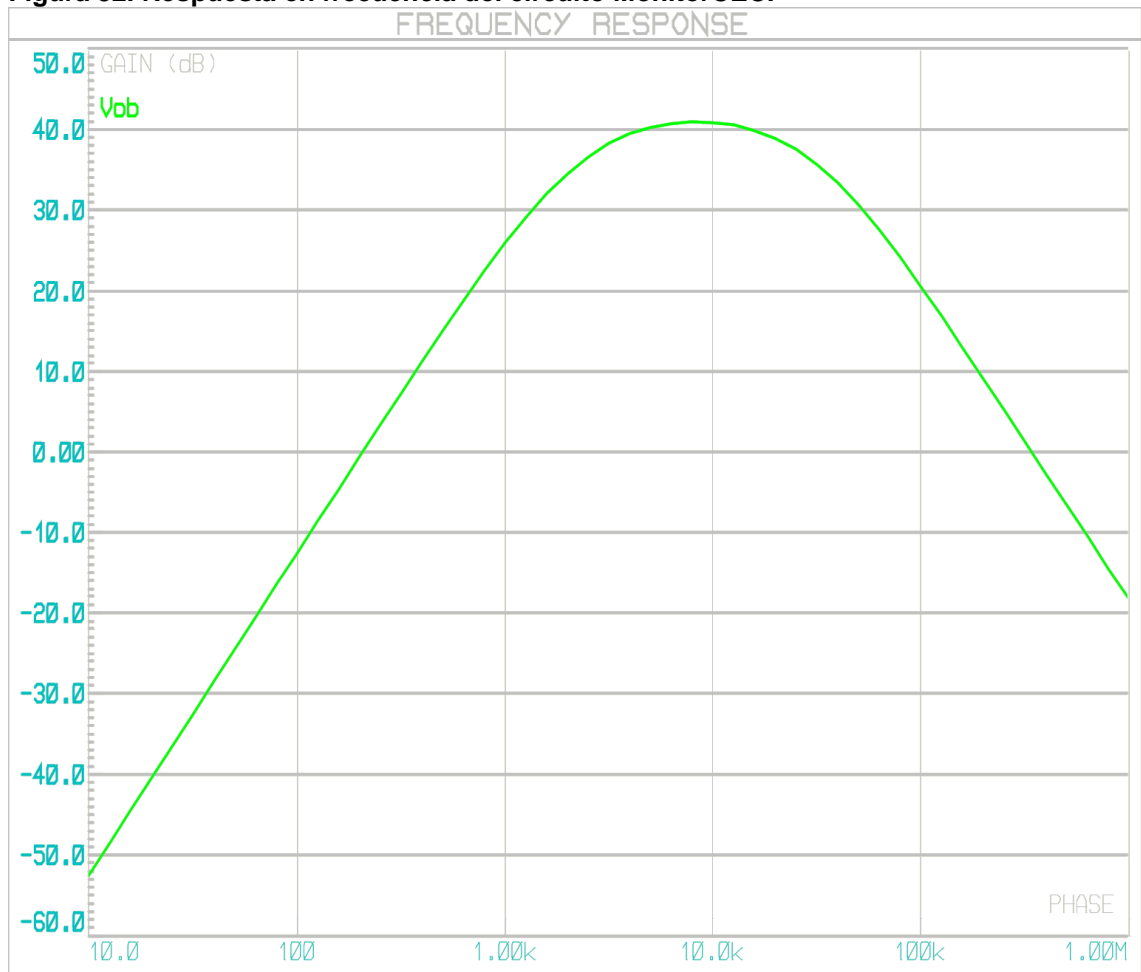
Por último, el circuito final como se puede apreciar en la Figura 31 simula la respuesta en frecuencia y se puede apreciar nuevamente la forma de onda en la Figura 32 que el filtro es pasa banda, además que la frecuencia en la que se enfoca la recepción de las señales de la estación NAA 24.4kHz se encuentra en la zona de mayor ganancia del filtro.

Figura 31. Circuito Esquemático para el análisis de la respuesta en frecuencia del MonitorCEC.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 32. Respuesta en frecuencia del circuito MonitorCEC.**



**Fuente: Elaboración propia.**

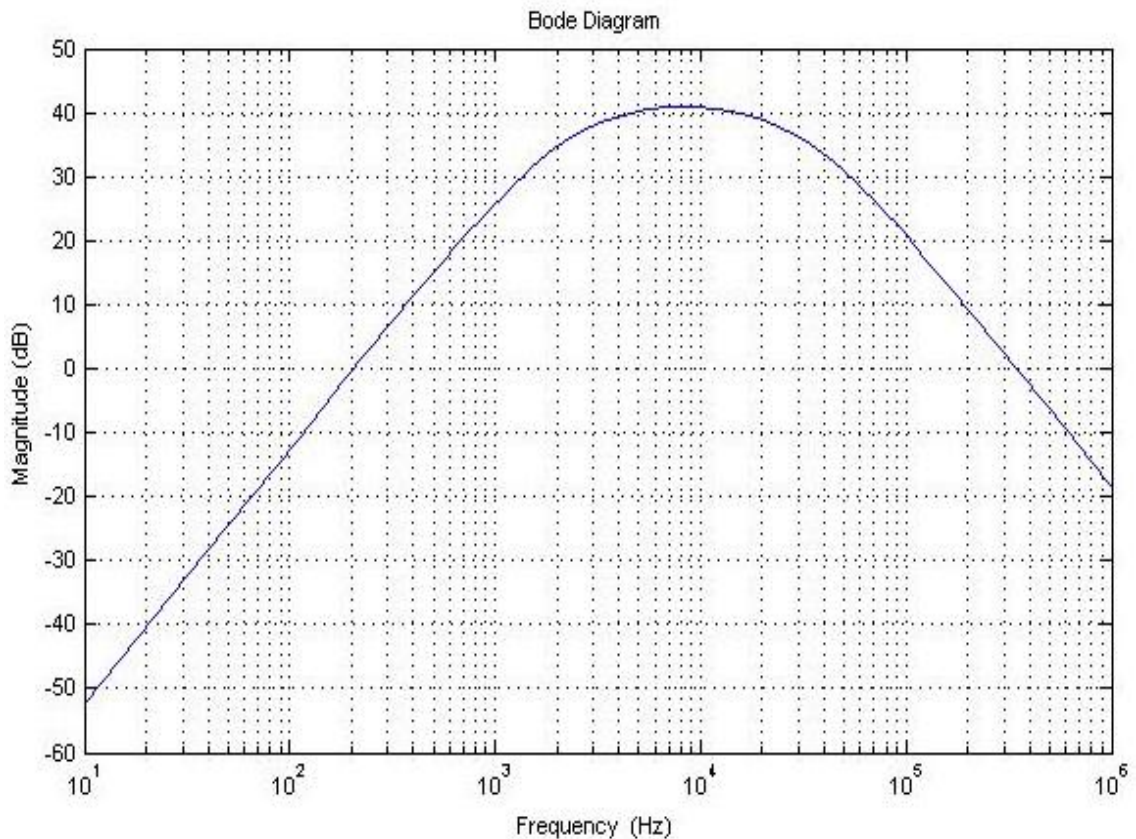
Con el análisis de la respuesta en frecuencia del circuito, se busca ubicar la frecuencia central de este alrededor de los 24kHz, debido a que las señales que mejor se percibirán serán las provenientes de las estaciones NAA o NLK por ser las más cercanas, las cuales transmiten ondas VLF a 24kHz y 24.8kHz respectivamente (ver Tabla 1); esto sin que se vea afectada la ganancia del circuito.

Al realizar la multiplicación de las funciones de transferencia obtenidas de las dos etapas (3.7) y (3.8), se obtiene lo siguiente:

$$H(s) = \frac{5.984 \times 10^{-7} s}{1.279 \times 10^{-19} s^3 + 5.123 \times 10^{-14} s^2 + 5.476 \times 10^{-9} s + 8.218 \times 10^{-5}} \quad (3.9)$$

De la función de transferencia de la ecuación 3.9 se obtiene el siguiente diagrama Bode permitiendo ver que las Figuras 32 y 33 son idénticas.

Figura 33. Diagrama de Bode. Simulación en Matlab™ del circuito amplificador.



Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 32 y 33 se puede notar que la ganancia del amplificador en la frecuencia de 24 kHz llega a los 37dB.

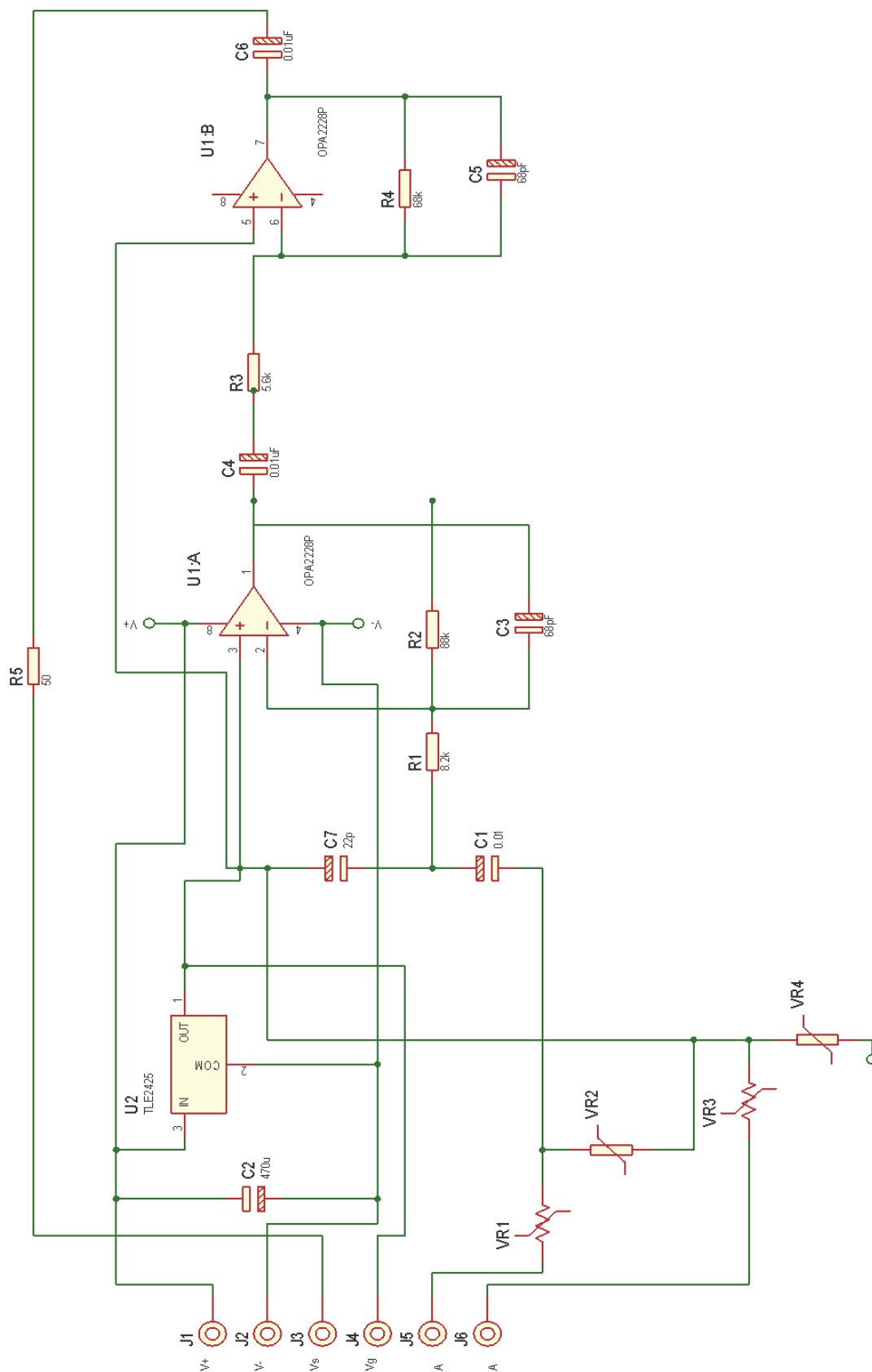
### 3.4. MONTAJE DEL CIRCUITO

Posterior a la modificación del circuito, se procedió a generar el diseño de la PCB<sup>7</sup> del esquemático definitivo con todos los elementos necesarios para su correcto funcionamiento sobre la plataforma de *Proteus™*, con el que se daría paso a la presentación física del circuito en baquela en la que se realiza el montaje final.

El amplificador tiene como componentes el circuito integrado OPA 2228 con dos amplificadores operacionales internos, dos varistores PPTC referencia LVM2Pro, un transistor TLE2426C, resistencias y condensadores mostrados en la Figura 34. El circuito está montado sobre una baquela de una sola cara por medio de revelado químico y los componentes soldados con estaño, además del uso de laca dieléctrica para para aislar las pistas del circuito que pudieran quedar expuestas.

<sup>7</sup> PCB, de las siglas en inglés para definir Printed Circuit Board

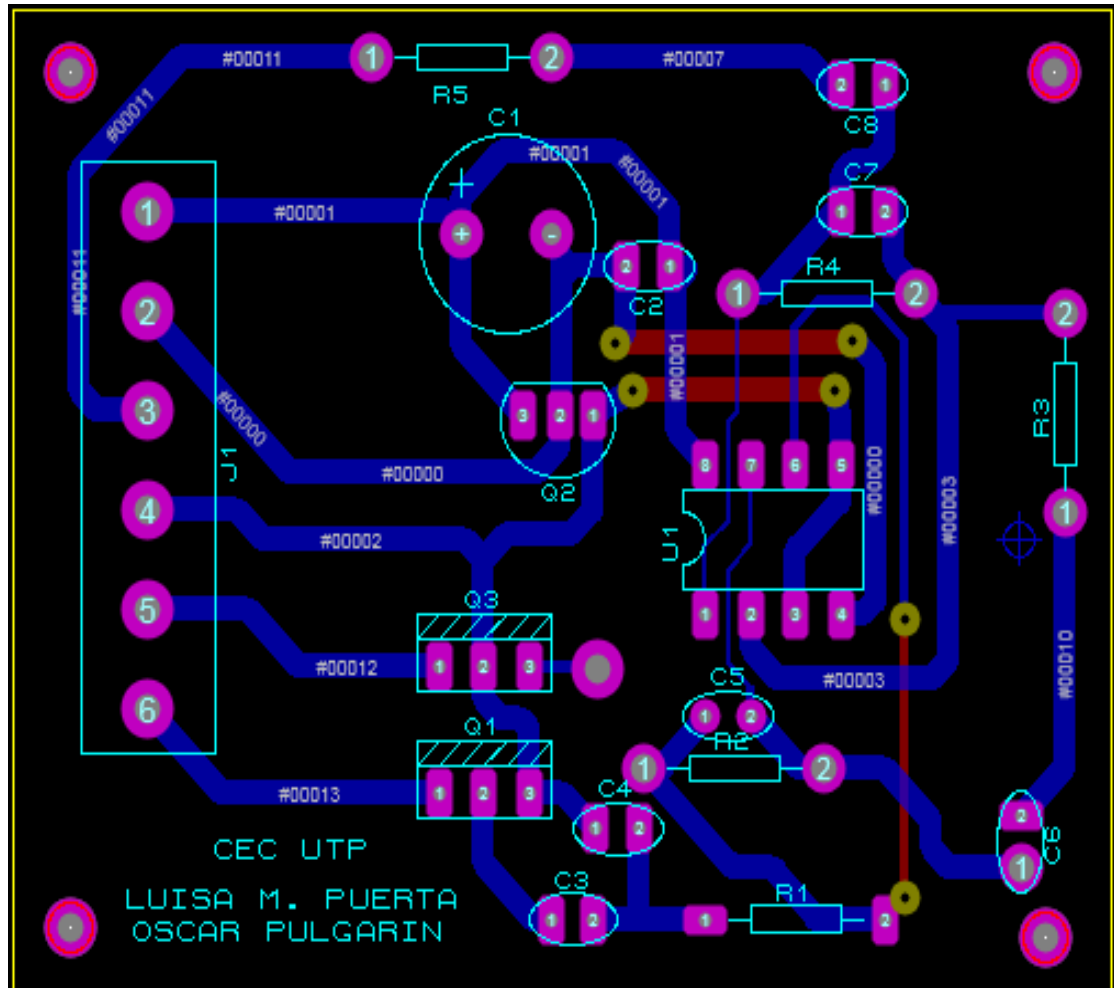
Figura 34. Circuito Esquemático completo MonitorCEC.



Fuente: Elaboración propia.

De igual forma la plataforma de simulación en *Proteus*™ permite con su herramienta de *ARES*™ realizar el circuito impreso que finalmente será puesto en baquelita. El diseño impreso se muestra en la Figura 35.

Figura 35. Circuito impreso MonitorCEC.



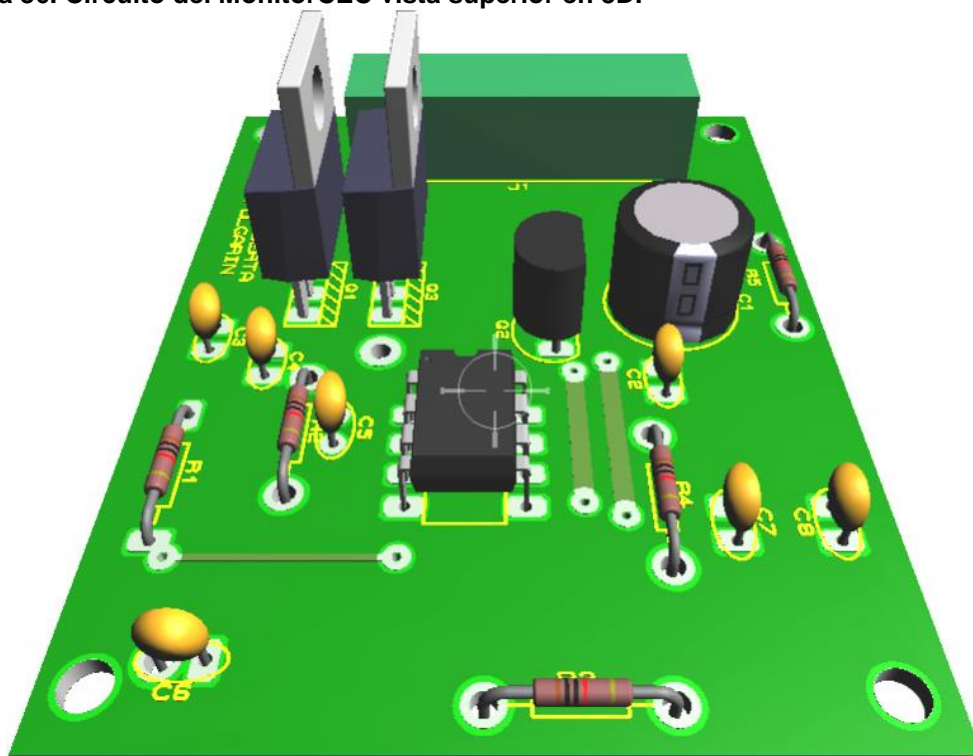
Fuente: Elaboración propia.

Haciendo uso de la herramienta de visualización en 3D que incluida en el software de simulación se puede tener una perspectiva cercana de la presentación final del circuito tal y como se puede ver en la Figura 36. Cabe anotar que en la posición del varistor LVM2Pro se hace uso del modelo de simulación de un transistor DIP TO-220 para poder generar el circuito impreso debido a que su tamaño y disposición de pines es similar a la del elemento real que no se encuentra dentro de las librerías de *Proteus*™.

En las Figuras 37 y 38 se tienen las vistas inferior y superior del circuito sin elementos, en donde se ven las pistas y la marcación de los elementos en el circuito impreso.

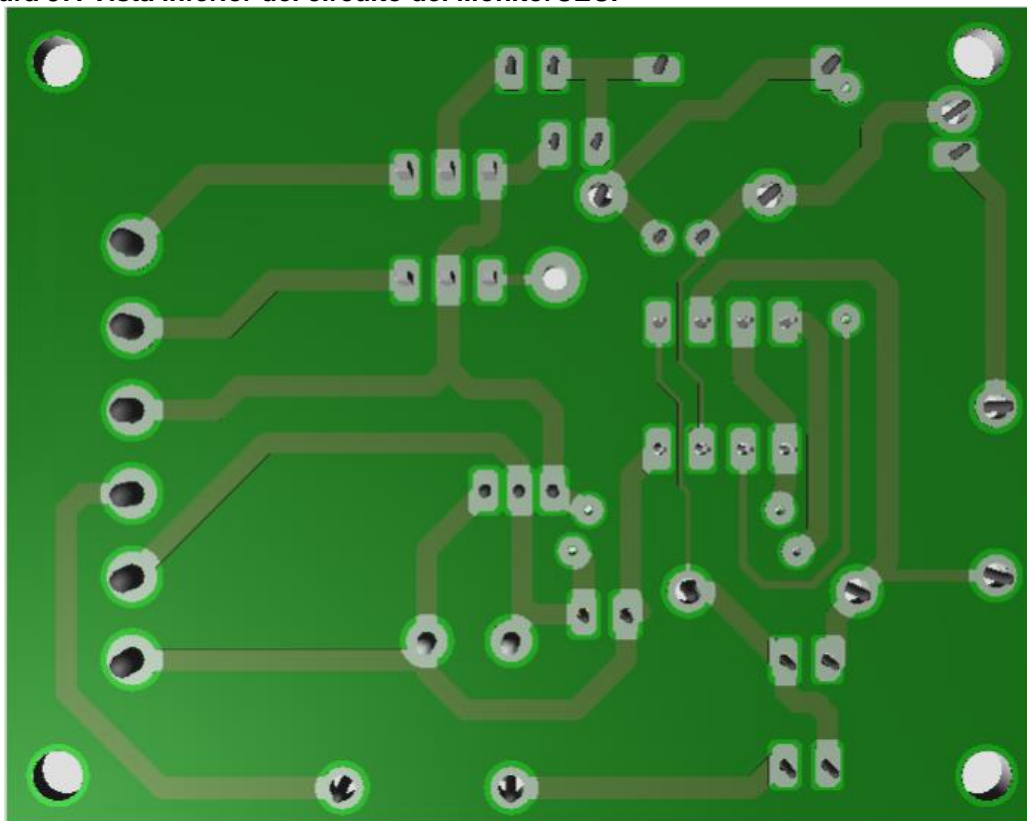


Figura 36. Circuito del MonitorCEC vista superior en 3D.



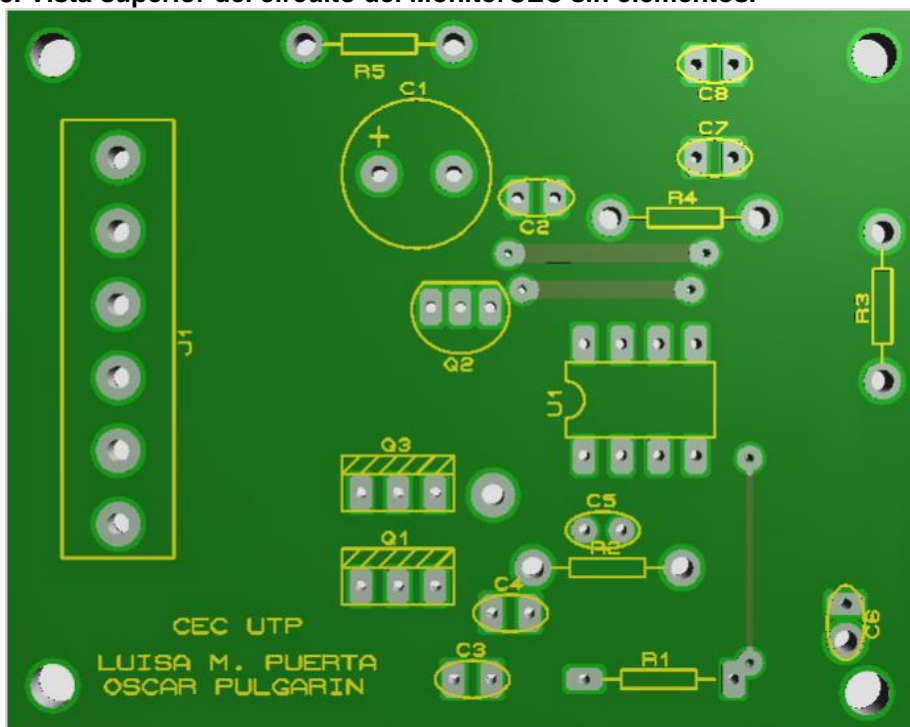
Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Vista inferior del circuito del MonitorCEC.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Vista superior del circuito del MonitorCEC sin elementos.



Fuente: Elaboración propia.

Después del montaje de los elementos en la baquela se realizaron pruebas de funcionamiento en el Laboratorio de la Facultad de Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira, en donde haciéndose uso de los instrumentos de medida como multímetro y osciloscopio se observaron las señales de entrada y salida del circuito notándose que el amplificador funcionaba de manera correcta. Las pruebas fueron hechas haciendo uso del generador, con señales seno de amplitud de 0.45 VAC y frecuencia de 24kHz que pasaban por un divisor de voltaje debido a la limitación de los elementos del laboratorio para generar señales muy pequeñas, resultando a la salida del circuito una señal con amplitud de 18.4 VAC pico, como se puede observar en la Figura 39.

En la Figura 39 de igual forma se puede observar la señal de entrada (amarilla) con un voltaje RMS de 227mV y la señal de salida amplificada (azul) con un voltaje RMS de 11.9V, parámetros que muestran el buen funcionamiento del circuito ya que se puede ver que las señales de entrada y salida están en fase. Con la prueba realizada en el laboratorio podemos afirmar que en el montaje real las señales de la antena tienen una ganancia dada por el circuito integrado de amplificación de 132<sup>8</sup> lo que hace que el nivel de tensión que ingresa a la tarjeta de audio sea de 2.1VAC aproximadamente, condiciones propicias para el ingreso de las señales de la antena a la tarjeta de audio del ordenador.

<sup>8</sup> Información disponible en la hoja de datos del fabricante del OPA2228, Burr-Brown Corporation

Figura 39. Prueba de funcionamiento del circuito con onda sinusoidal.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. PUESTA A PUNTO

En el proceso de puesta a punto se procedió a instalar el sistema completo del Monitor CEC en el Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira teniendo en cuenta que la estructura física y las condiciones ambientales permitirían un mejor registro de las señales VLF. En este lugar son menores las perturbaciones eléctricas y el ruido magnético que puede generar errores en la lecturas del sistema, beneficiando la calidad de la recepción y evaluación de las mismas.

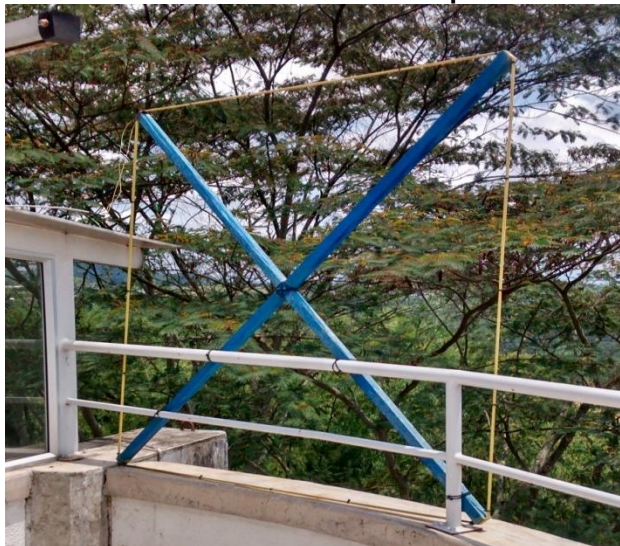
Se instalaron dos antenas de las mismas características pero en diferente posición, con el fin de revisar constantemente cuál ofrece mejor señal, una realizada con el alambre suministrado por la Universidad de Stanford (ver Figura 33) y otra realizada con el alambre comprado a *CENTELSA*®, la cual se puede observar en las Figuras 40 y 41 siendo la segunda la que ha ofrecido mejor señal. Ambas antenas se encuentran a 8 metros aproximadamente del radio receptor, llega al circuito a través de cable coaxial referencia RG 59 con malla de ruido, una impedancia de 70 a 76 ohmios por intervalo de 10 metros y una atenuación de 10dB por cada 100 metros, el cual muestra una señal de entrada de 0.02 VAC que será amplificada para que sea tomada por la tarjeta de audio del ordenador.

Fue necesario verificar continuamente el estado del circuito tratando de evitar que las pistas sufrieran algún tipo de daño, además de garantizar que el

circuito tenga una buena tierra para prevenir fallas por ruidos que modificarían la señal, con el fin de garantizar que su operación sea óptima (ver Figuras 42 y 436). En varias oportunidades se realizaron cambios en la posición de la antena para mejorar la recepción, procurando conservar la distancia hacia el radio receptor. También se realizaban visitas periódicas para comprobar que el circuito presentaba normalidad, pues en ocasiones cuando realizan mantenimientos de las estaciones de emisión de VLF no se registraba entrada de señal.

De igual forma se hicieron pruebas con la aplicación desarrollada en Matlab™ hasta comprobar que la señal mostrada y procesada correspondía con datos reales (ver Figura 44).

**Figura 40. Foto antena receptora de VLF instalada en el Observatorio de Astronomía de la UTP, construida con alambre de cobre suministrado por la Universidad de Stanford.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 41. Foto antena receptora de VLF instalada en el Observatorio de Astronomía de la UTP, construida con alambre de cobre comprado a CENTELSA ©.**



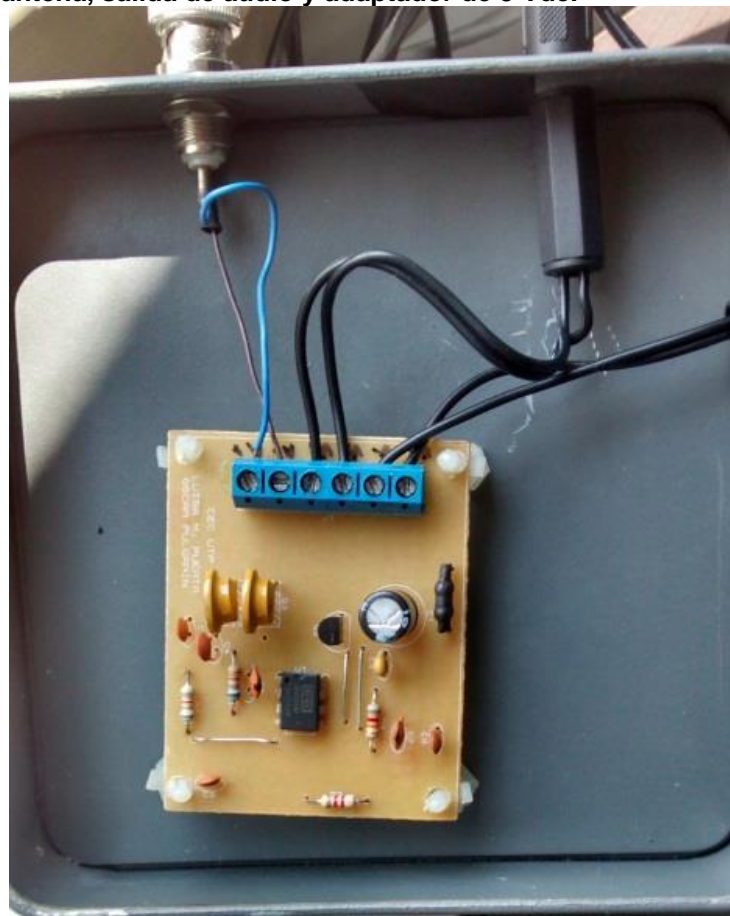
Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Foto del circuito del sistema MonitorCEC.



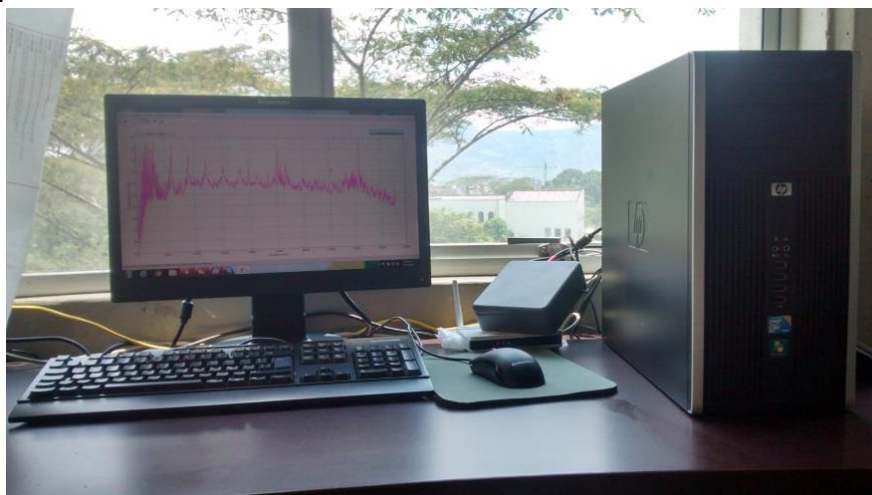
Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Foto del circuito del sistema MonitorCEC instalado en caja metálica y con conexiones de antena, salida de audio y adaptador de 5 Vdc.



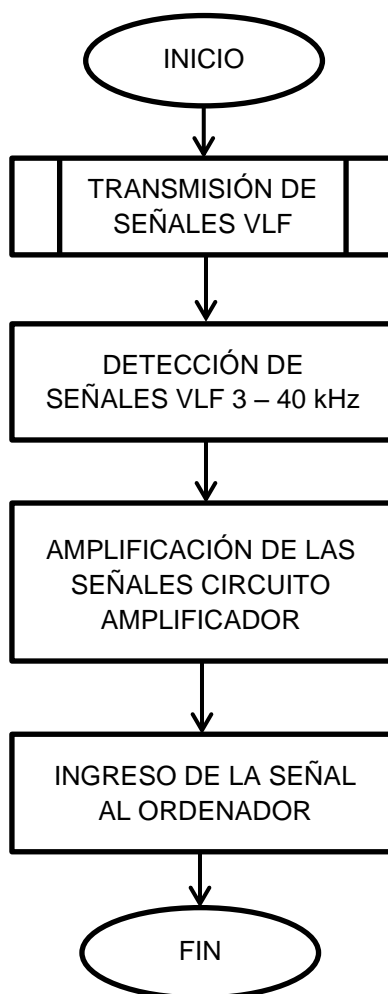
Fuente: Elaboración propia.

Figura 44. Foto del sistema de monitoreo del Clima Espacial Colombia (software y hardware).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Diagrama de bloques que describe el funcionamiento de la antena y el circuito amplificador.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 45 se puede observar el diagrama de bloques de describe el funcionamiento del hardware y en la Tabla 2 se relacionan los costos de la implementación total del sistema para el monitoreo del clima espacial MonitorCEC.

**Tabla 2. Relación de costos y materiales del MonitorCEC.**

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>CANT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
<b>1</b>	Bloque de madera de 4x4 cm	M	4	8.000
<b>2</b>	Cable aislado multifilar AWG 22	M	100	22.500
<b>3</b>	Cable coaxial RG58	M	10	12.000
<b>4</b>	Conector BNC RG 58	und	1	1.500
<b>5</b>	Audigy Blaster SE Creative <sup>MR</sup>	und	1	85.000
<b>6</b>	Circuito amplificador de 2 etapas	und	1	75.000
<b>7</b>	Caja metálica	und	1	8.000
<b>8</b>	Accesorios - Elementos	N/A		15.000
<b>TOTAL</b>				<b>227.000</b>
<b>Fuente: Elaboración propia.</b>				

## 4. SISTEMA DE MONITOREO: SOFTWARE MONITORCEC

En este capítulo se describirá cómo funciona el software, el programa usado y los conceptos tenidos en cuenta para el monitoreo de las señales de perturbación ionosférica. En principio la antena recibe todo un rango de frecuencias que están presentes en el ambiente, pero debido a lo específico de la construcción de ésta recibe variaciones en un rango entre 3 y 40 kHz con niveles de diferencia de potencial bajos (en el orden de los  $\mu\text{V}$ ), esta señal es posteriormente amplificada por un circuito que aumenta esta diferencia de potencial y es ingresada al ordenador por medio de una tarjeta de audio que debe tener entre sus especificaciones una tasa de muestreo de 96000 Hz, para este caso se recomienda uso de la Audigy Blaster SE Creative<sup>MR</sup>, cuando el ordenador no cuenta con una tarjeta de audio de estas características. La entrada es reconocida por la aplicación realizada en MATLAB<sup>MR</sup> y es visualizada posteriormente en pantalla.

La visualización de la señal adquirida presenta la potencia de ésta en función de la frecuencia y para poder observar las perturbaciones generadas en la ionosfera se toman los valores de esta misma señal en función del tiempo por medio de un filtro logarítmico, para lo cual inicialmente se debe calcular la densidad espectral de potencia en función de la frecuencia, haciendo uso de una aplicación sobre MATLAB<sup>TM</sup> versión 2010b, por ser una excelente herramienta debido a su amplio contenido de funciones matemáticas y la adquisición de señales en tiempo real.

La aplicación al adquirir la señal de entrada determina si es un nuevo día o no. Si es un nuevo día, crea un archivo "buffer" en Excel<sup>TM</sup> que almacenará los datos adquiridos cada cinco segundos. Una vez creado el archivo selecciona los valores de las señales de cada estación que va a ser monitoreada ubicándolos de acuerdo con la frecuencia de cada estación y genera un vector de datos, los cuales son evaluados mediante el Logaritmo de Welch para obtener la densidad espectral de potencia de la señal (DSP, Density Power Spectrum) y poder observar los picos de potencia de emisión de las señales VLF detectadas y que serán visualizadas en la ventana principal de la aplicación. Si el día ya había empezado la aplicación continúa su función a partir de la creación del vector de datos y sigue el proceso ya descrito. Al momento de salir de la aplicación, esta pide confirmar la acción y si es afirmativo guarda los datos almacenados hasta el momento para no perder información que haya quedado en la memoria. En la Figura 46 se puede visualizar el diagrama de bloques que describe esta aplicación.

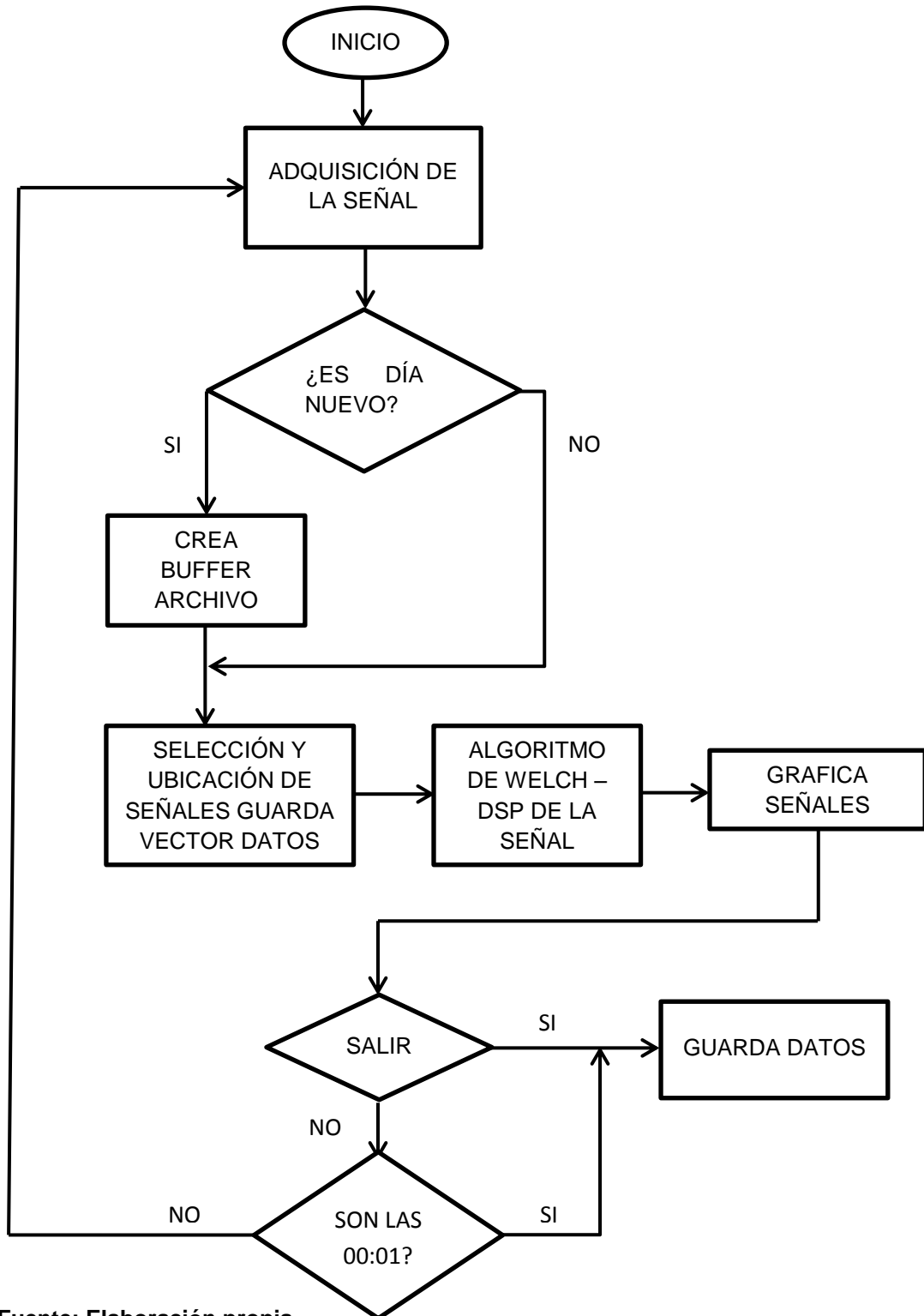
### 4.1. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

El concepto de densidad espectral de potencia (PSD por sus siglas en inglés), surge de la síntesis entre la propiedad de la función de autocorrelación de un proceso estocástico estacionario de sentido amplio (WSS) de medir la tasa de



cambio de un proceso en términos de probabilidad y la descomposición en serie de Fourier.

Figura 46. Diagrama De Bloques - Descripción Del Software.



Fuente: Elaboración propia.

Un proceso estocástico estudia el comportamiento de un conjunto de variables aleatorias que puede estar indexado por un conjunto no numerable; surgen del estudio de la evolución temporal de fenómenos aleatorios. Se define como una colección de variables aleatorias  $\{X_t, t \in \tau\}$  definidas sobre un espacio de probabilidad  $(\Omega, A, P)$  [21].

La función de autocorrelación, es una de las funciones de momento que se obtienen a partir de los momentos de las variables involucradas en un proceso estocástico las cuales son muy importantes para conocer su comportamiento, la función de autocorrelación se define a partir del momento conjunto de dos variables asociadas a dos tiempos cualesquiera,  $t_1$  y  $t_2$ ,

$$R(t_1, t_2) = E[X_{t_1} X_{t_2}] \quad (4.1)$$

Se dice que un proceso estocástico es estacionario en sentido amplio (*WSS, Wide-Sense Stationary*) si su media es constante y su función de autocorrelación es invariante por traslación. Una de las propiedades de esta función es la de medir la tasa de cambio del proceso en términos de la probabilidad, como se puede observar en la ecuación 4.2, y es de esta propiedad y la descomposición en serie de Fourier que surge el concepto de Densidad Espectral de Potencia.

El proceso de la adquisición de señales que se requiere en este proyecto es un proceso continuo en el tiempo, razón por la cual se analiza la densidad espectral de potencia para procesos estocásticos WSS continuos en el tiempo.

La densidad espectral de potencia  $P(\omega)$ , se define como la transformada de Fourier de su función de autocorrelación,  $R(\tau)$ , cuando se tiene un proceso estocástico continuo en el tiempo WSS,  $X_t$ .

$$P(\omega) = \mathcal{F}[R(\tau)] = \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau) \exp(-i2\pi\omega\tau) d\tau, -\infty < \omega < \infty \quad (4.2)$$

$$P(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E \left[ \left| \int_{-T/2}^{T/2} X_t \exp(-i2\pi\omega\tau) d\tau \right|^2 \right] \quad (4.3)$$

En otros términos, la función densidad espectral de potencia modela la distribución de la potencia de una señal en función de la frecuencia. Para estimar la densidad espectral de potencia existen varios métodos: no paramétricos o clásicos, paramétricos y métodos tiempo-frecuencia. Los métodos clásicos son los más útiles para cuando se tiene un gran número de muestras, por lo que para esta aplicación se trabajó con el método de Welch, un método no paramétrico basado en la transformada discreta de Fourier.

El método de Welch consiste en promediar periodogramas modificados. Un periodograma es un estimador espectral de la señal que se define a partir de la

transformada discreta de Fourier, teniendo en cuenta que en este caso se trata de un proceso estocástico definido como [22]:

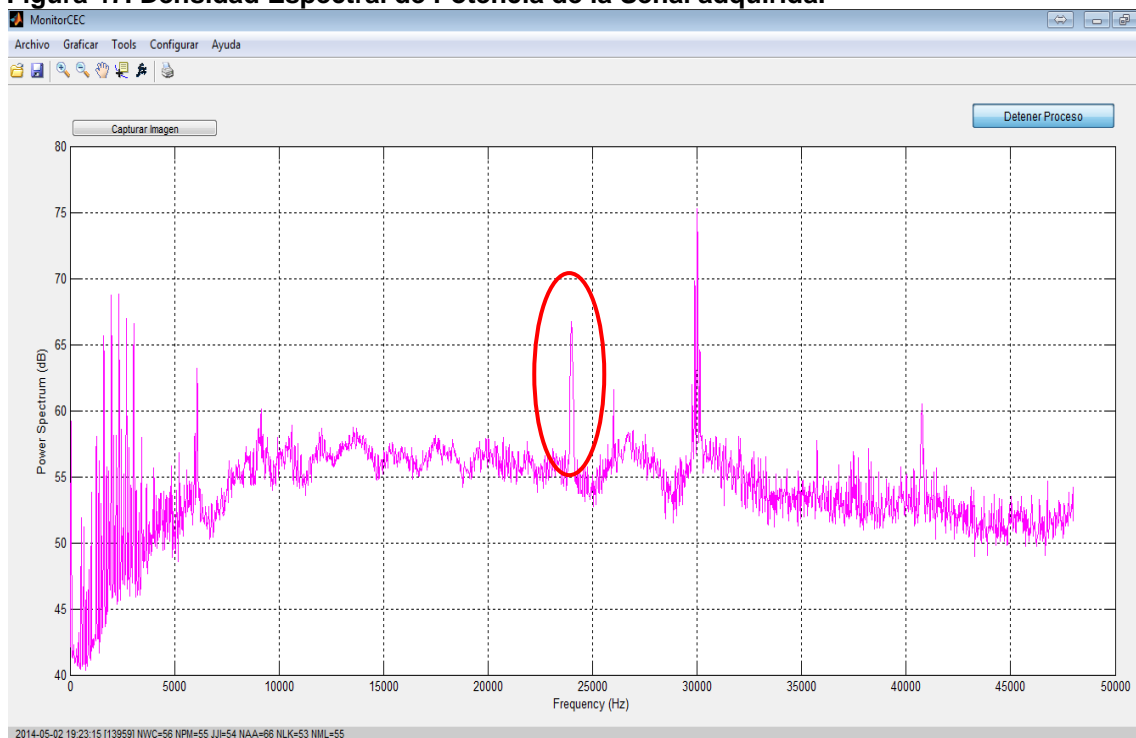
$$P_k = |X_k|^2 / (N * T) \quad (4.4)$$

$X_k$ : Transformada discreta de Fourier de una función de un proceso estocástico  $x(n)$ .

$T$ : Periodo de muestreo.

El método de Welch divide el registro de  $N$  puntos originales en segmentos de  $M$  puntos sobrepuestos entre sí y  $L$  muestras. Si  $L=M$ , entonces  $N=(K+1)M$ , donde  $K$  sería el número total de segmentos. Posteriormente aplica una ventana a cada segmento y finalmente calcula el periodograma para cada segmento ventanado. El periodograma final se obtiene promediando todos los periodograma parciales, obteniendo como resultado el promedio de la densidad espectral de potencia estimada [22]. Esto se puede observar en la Figura 47.

**Figura 47. Densidad Espectral de Potencia de la Señal adquirida.**



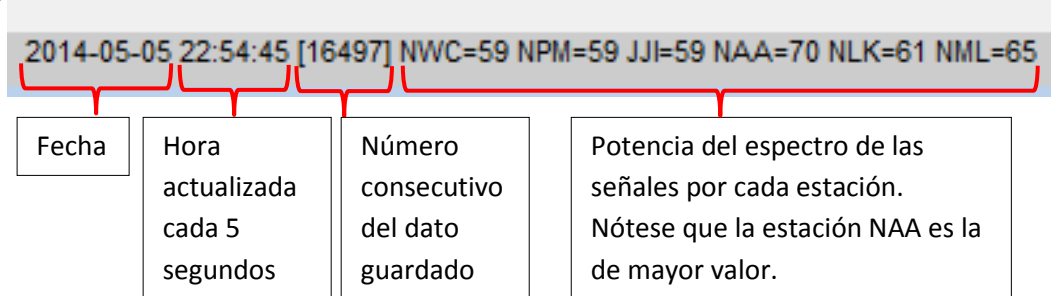
**Fuente: Elaboración propia.**

En la Figura 47, está encerrada en un óvalo rojo la señal de la estación NAA emisora de VLF a 24.4kHz, que es la que llega con mayor fuerza a esta zona del continente para el desarrollo del proyecto.

En la parte inferior del software se muestran los datos de fecha, hora, número de dato guardado y el valor de la potencia del espectro de las señales de

entrada en decibeles por cada estación transmisora de VLF, lo cual se muestra amplificado en la Figura 48.

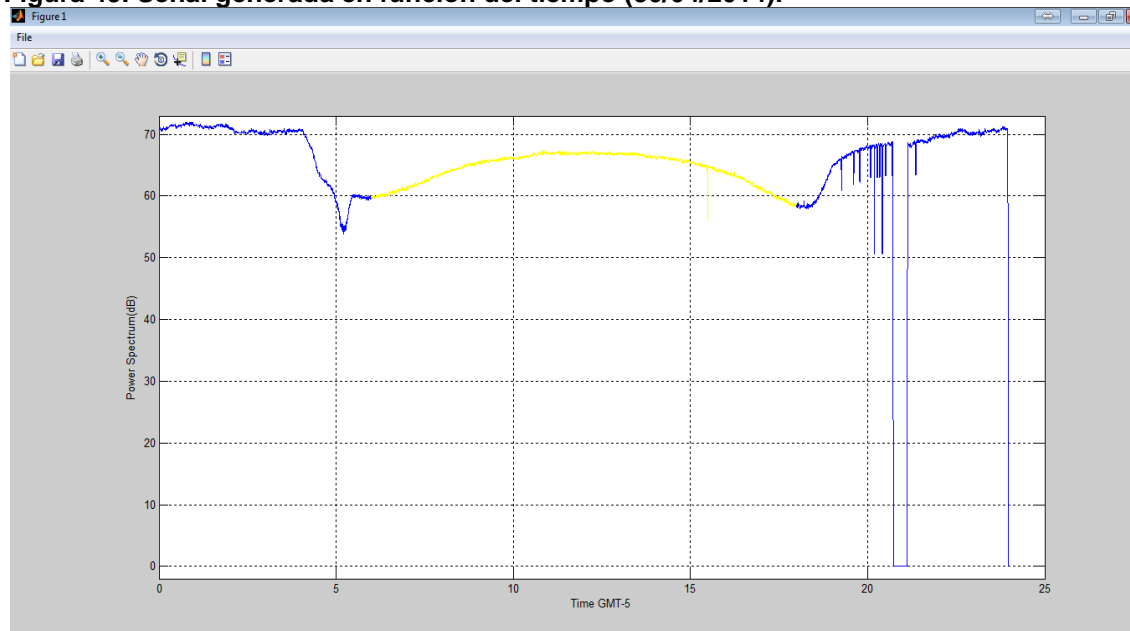
**Figura 48. Información detallada de la señal adquirida en tiempo real.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Durante la evaluación de la señal por el método de Welch para determinar la densidad espectral de potencia de la señal adquirida en función de la frecuencia, simultáneamente se guardan los valores de la aproximación de la potencia realizando una función logarítmica en base 10 que discrimina las variaciones de ésta en función del tiempo para ser graficadas, y de esta manera poder observar la perturbación en la ionósfera ocasionada por los rayos X emitidos por las llamaradas solares, como se puede observar en la Figura 49.

**Figura 49. Señal generada en función del tiempo (30/04/2014).**



**Fuente: Elaboración propia.**

En la Figura 49 se puede observar la señal generada en un día sin perturbaciones de la potencia del espectro en función del tiempo. El color azul representa la noche, lapso de tiempo en el que no se perciben las variaciones en la ionósfera debido a la desaparición de la capa D, en la cual penetra la energía de las llamaradas solares y de las explosiones de rayos Gamma. El color amarillo representa el día desde las 06:00 hasta las 18:00 en horario GMT-5, horario que rige esta zona. Esta figura representa un comportamiento típico, el punto más bajo antes de iniciar la señal curva de color amarillo indica el amanecer, y el punto más bajo al finalizar indica el atardecer.

En el siguiente capítulo, se mostrarán los resultados y las señales obtenidas durante varios días de funcionamiento del software y en el Anexo A Guía de Usuario se encuentran los diferentes usos y herramientas que posee la aplicación del MonitorCEC.

## 5. RESULTADOS

En este capítulo se mostrará la evidencia del funcionamiento del MonitorCEC en la detección de la actividad solar, teniendo en cuenta que se registran aquellos que presentan variaciones ocasionadas por llamaradas solares que emiten Rayos X y tomando como referencia, para comprobar su validez, las señales registradas por el satélite GOES, publicadas en la página de internet: <http://www.swpc.noaa.gov/>. Con el fin de comprender estos datos, inicialmente se describirá la clasificación de estos eventos solares:

Los rayos X de las llamaradas solares están clasificados de acuerdo al brillo del rayo X en la longitud de onda en el rango de 1 a 8 Å (Angstrom). Este brillo es medido por el satélite GOES como la intensidad del pico de la explosión [16].

Clasificación de las llamaradas:

- Clase X: Tienen intensidades mayores o iguales a  $10^{-4}$  W/m<sup>2</sup>. Estos eventos pueden provocar cortes de radio en todo el planeta y tormentas de radiación de larga duración.
- Clase M: Tienen intensidades mayores o iguales a  $10^{-5}$  W/m<sup>2</sup> y menores que  $10^{-4}$  W/m<sup>2</sup>. Estos pueden causar cortes breves de radio especialmente en las regiones polares de la tierra.
- Clase C: Tienen intensidades mayores o iguales a  $10^{-6}$  W/m<sup>2</sup> y menores que  $10^{-5}$  W/m<sup>2</sup>. Tienen pocas consecuencias notables en la tierra.

En el sistema MonitorCEC la intensidad de la señal está dada en dBm (decibeles por metro) mientras que en el Satélite GOES está en vatios, sin embargo esto no afecta el registro de la perturbación ionosférica. La división del tiempo en el MonitorCEC está en horario local, por lo que para realizar la comparación con la señal que registra el Satélite GOES (Universal Time Coordinated - UTC) es necesario alinear las 05:00 horas de este con las 00:00 horas del MonitorCEC (UTC-05:00).

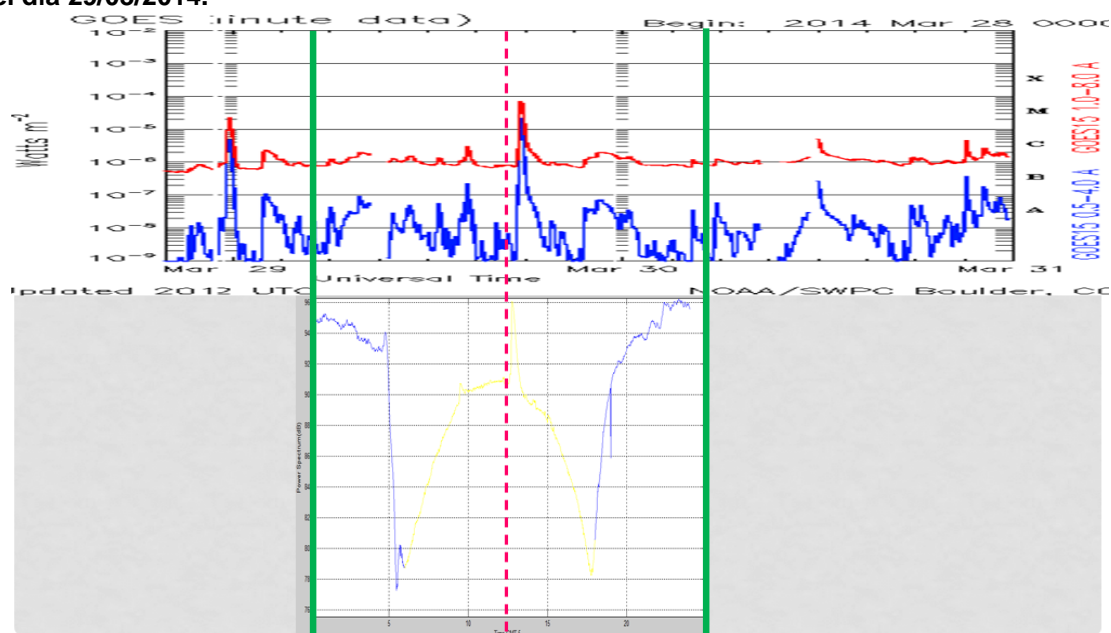
En las figuras que se mostrarán a continuación, se observarán dos líneas verdes, las cuales delimitan el inicio y el final del día sincronizando los horarios y las líneas de color púrpura que demarcarán los eventos registrados.

Se hace claridad que las detecciones válidas (picos registrados) ocurren cuando la Capa D de la ionósfera está presente y estos son los que se observan entre las 06:00 y las 18:00 del horario local, durante el otro espacio de tiempo la capa mencionada desaparece haciendo que no se puedan tener registro de los eventos<sup>9</sup>.

---

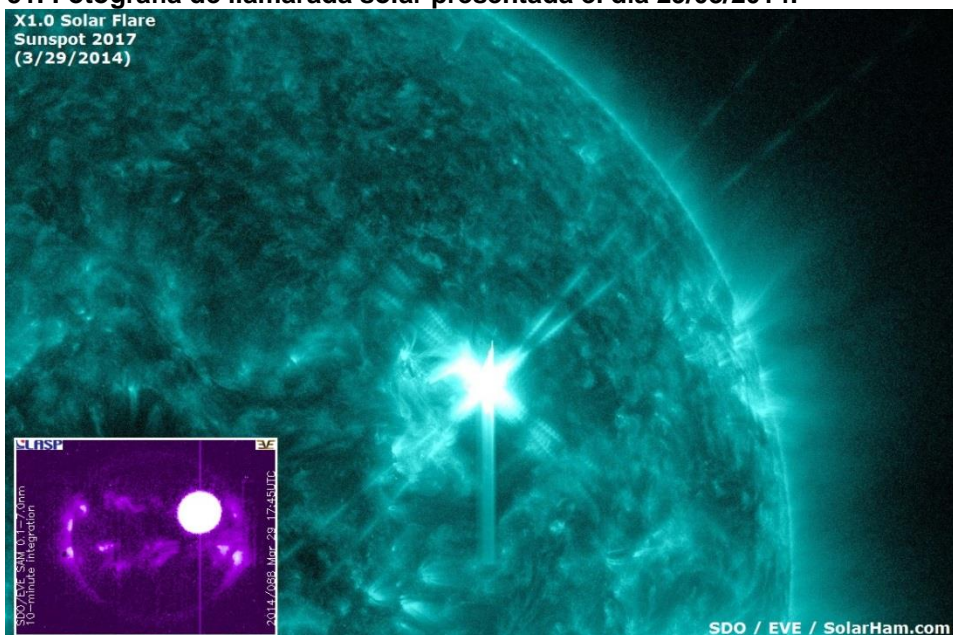
<sup>9</sup> Véase Propagación ionosférica numeral 2.3

Figura 50. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 29/03/2014.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 51. Fotografía de llamarada solar presentada el día 29/03/2014.



Fuente: <http://www.solarham.net/data.htm>

Iniciando con las imágenes que contienen datos registrados, se puede ver en la Figura 50 un evento que fue incluso reportado por los noticieros (Noticias RCN<sup>10</sup>) debido a la magnitud alcanzada y a los posibles problemas que podría generar en la tierra y las comunicaciones, el día 29 de Marzo del 2014. Este

<sup>10</sup> Se puede ver en: <http://www.noticiasrcn.com/videos/explosion-solar-impacto-tierra-las-ultimas-horas>

evento fue catalogado dentro de los rayos-X como Clase X1 y dentro de la escala del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) como R3, lo que implica que puede ocasionar bloqueo de las señales HF en amplias áreas, pérdida durante cerca de una hora del contacto por radio en el lado diurno de la Tierra y disminución de la calidad de las señales de baja frecuencia durante aproximadamente una hora afectando directamente actividades como la navegación. La escala del clima espacial de NOAA completa puede ser observada en el Anexo C. En la Figura 51 se puede observar una fotografía del Sol de este día en la que el brillo representa la llamarada solar.

A continuación, se puede observar la descripción del evento dada por el NOAA:

“Space Weather Message Code: SUMX01  
Serial Number: 98  
Issue Time: 2014 Mar 29 1821 UTC

SUMMARY: X-ray Event exceeded X1  
Begin Time: 2014 Mar 29 1735 UTC  
Maximum Time: 2014 Mar 29 1748 UTC  
End Time: 2014 Mar 29 1754 UTC  
X-ray Class: X1.0  
Optical Class: 2b  
Location: N11W34  
NOAA Scale: R3 - Strong  
Potential Impacts: Area of impact consists of large portions of the sunlit side of Earth, strongest at the sub-solar point.  
Radio - Wide area blackout of HF (high frequency) radio communication for about an hour”<sup>11</sup>.

“Space Weather Message Code: SUM10R  
Serial Number: 613  
Issue Time: 2014 Mar 29 1821 UTC

SUMMARY: 10cm Radio Burst  
Begin Time: 2014 Mar 29 1745 UTC  
Maximum Time: 2014 Mar 29 1746 UTC  
End Time: 2014 Mar 29 1748 UTC  
Duration: 3 minutes  
Peak Flux: 360 sfu  
Latest Penticton Noon Flux: 146 sfu  
Description: A 10cm radio burst indicates that the electromagnetic burst associated with a solar flare at the 10cm wavelength was double or greater than the initial 10cm radio background. This can be indicative of significant radio noise in association with a solar flare. This noise is generally short-lived but can cause interference for sensitive receivers including radar, GPS, and satellite communications”<sup>12</sup>.

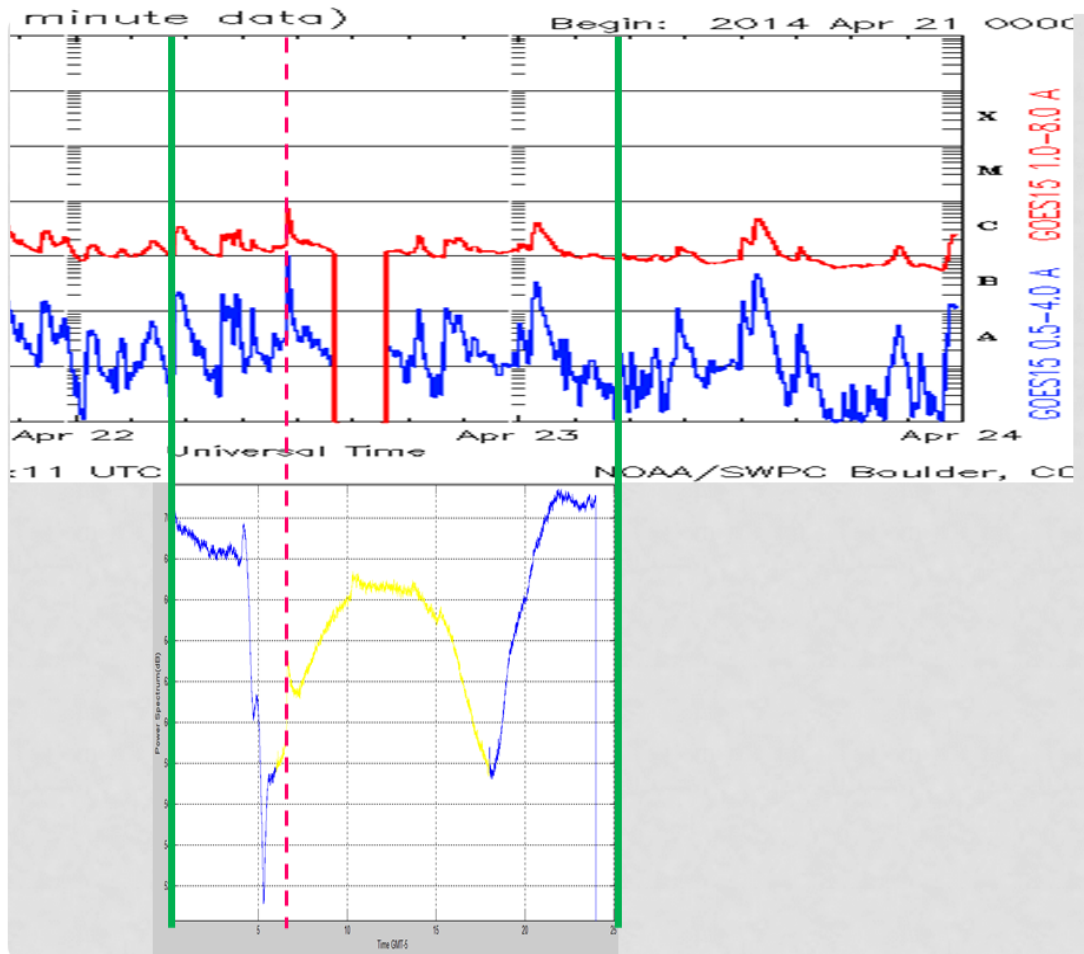
---

<sup>11</sup> Detalles del evento tomado de [http://www.swpc.noaa.gov/alerts/archive/alerts\\_Mar2014.html](http://www.swpc.noaa.gov/alerts/archive/alerts_Mar2014.html)

<sup>12</sup> Detalles del evento tomado de [http://www.swpc.noaa.gov/alerts/archive/alerts\\_Mar2014.html](http://www.swpc.noaa.gov/alerts/archive/alerts_Mar2014.html)



**Figura 52. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 22/04/2014.**



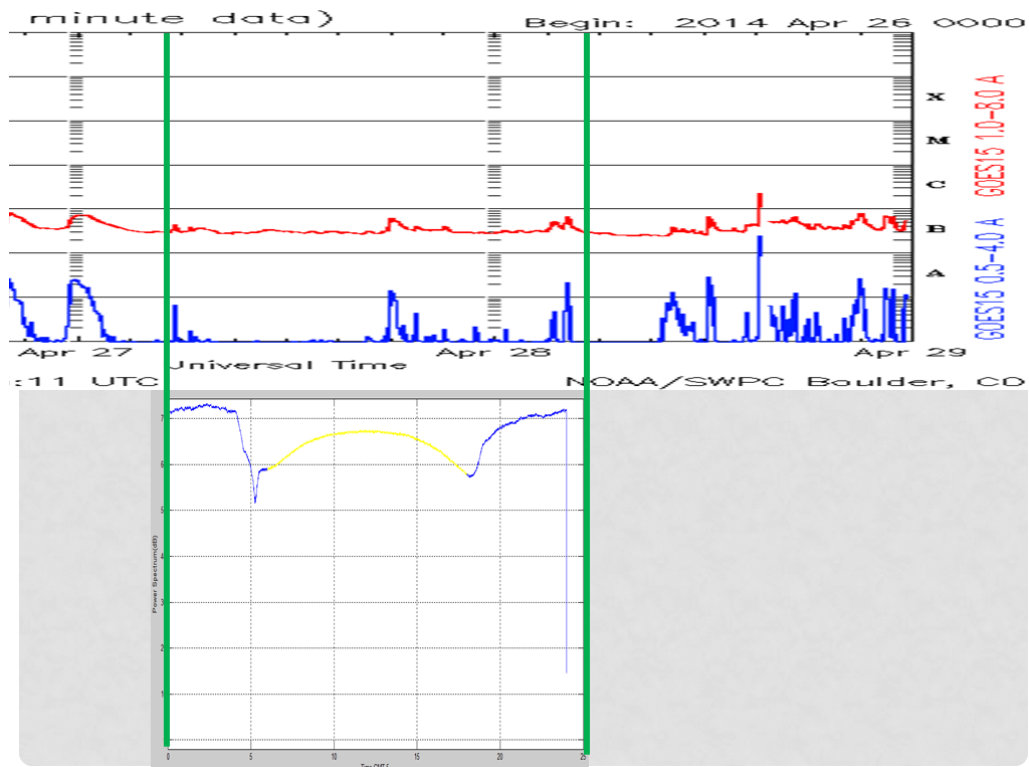
**Fuente: Elaboración propia.**

En la Figura 52 se puede apreciar la comparación entre las detecciones obtenidas el 22 de Abril del 2014. Nótese que la línea punteada resalta el pico más representativo de ese día el cual quedó clasificado como Clase C, sin embargo no está catalogado como un evento mayor.

Aunque el Sol es una estrella que está en constante actividad, las llamaradas solares son un evento ocasional, y las emisiones de rayos X y rayos Gamma no siempre alcanzan la ionósfera terrestre. Esto se puede ver reflejado en la Figura 53, donde se observan señales sin perturbaciones notorias tanto en la registrada por el Satélite GOES como por el MonitorCEC.

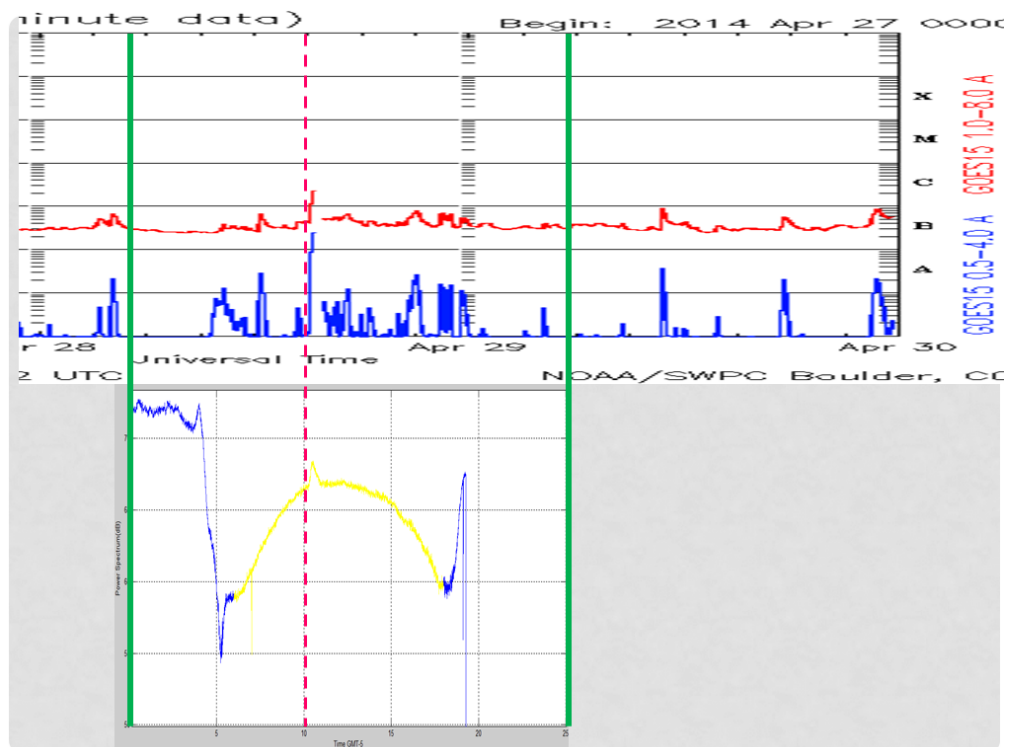
La siguiente detección se presentó el 28 de Abril de 2014 y al igual que la detectada el 22 de Abril fue de Clase C. Esta puede ser vista en la Figura 54 entre las 10:00 y las 11:00 hora local. Se puede observar además que el resto del día la señal permaneció sin efectos notorios, situación que se prolongó por varios días.

Figura 53. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 27/04/2014.



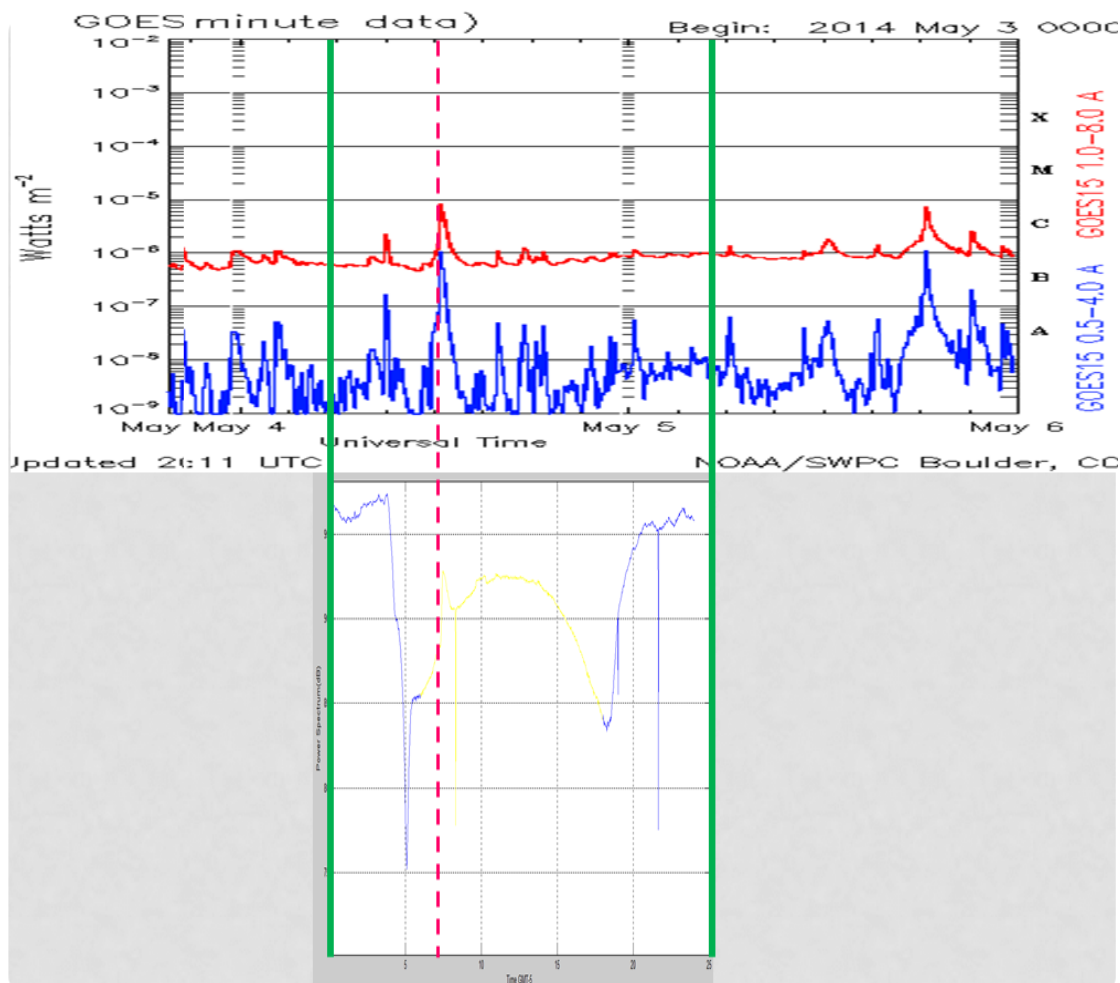
Fuente: Elaboración propia.

Figura 54. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 28/04/2014.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 55. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 04/05/2014.**

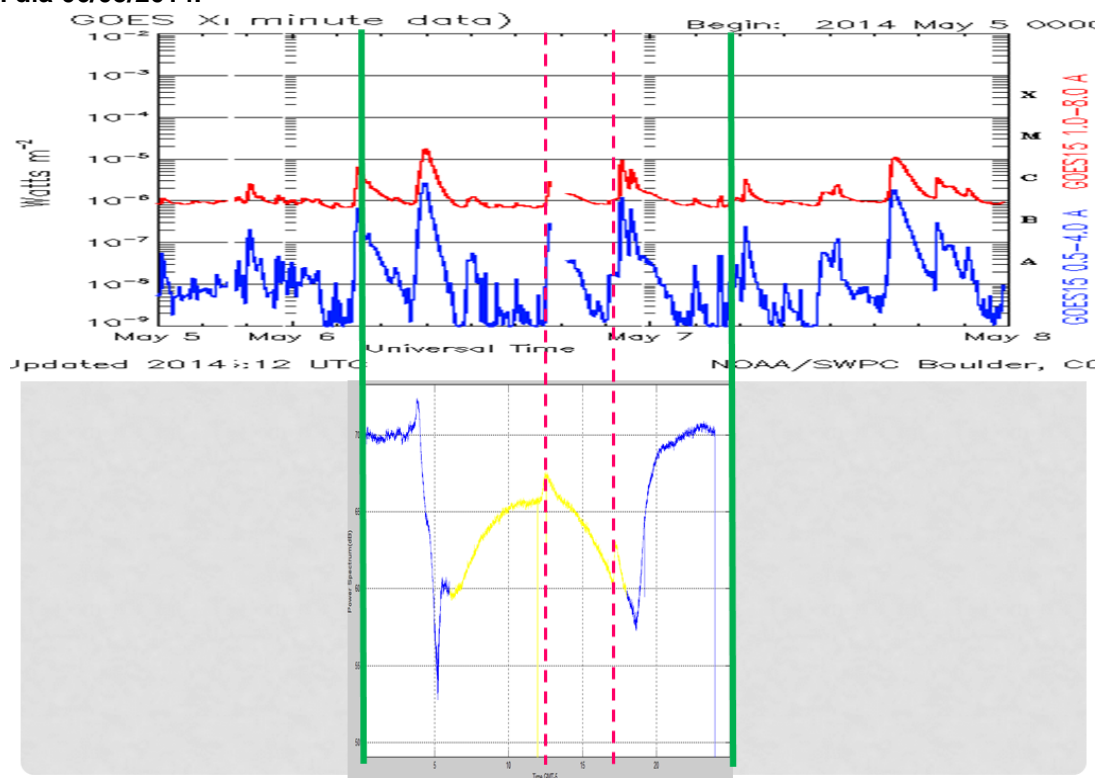


**Fuente: Elaboración propia.**

En la Figura 55 se puede observar una detección cerca de las 07:00 de Clase C, la cual debido a su poca amplitud no representa una perturbación ionosférica considerable. Sin embargo, estuvo cercana a alcanzar la amplitud necesaria para ser Clase M. Durante el resto del día hay unas detecciones pequeñas que en la mayoría de los casos se interpretan como ruido de fuentes externas.

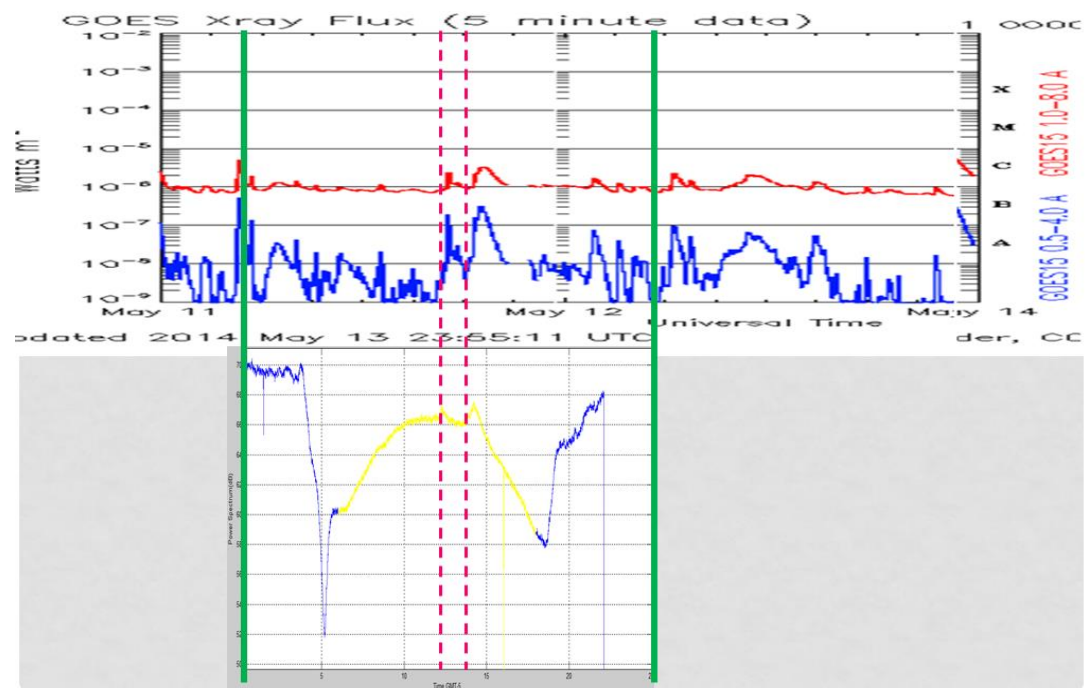
En la señal registrada el día 6 de Mayo de 2014 por el Satélite GOES se puede observar un pico a las 08:00H UTC, por lo que no alcanza a ser percibido por el MonitorCEC al ser antes del amanecer de la hora local, como se refleja en la Figura 56. Posteriormente se pueden notar dos eventos de Clase C siendo el segundo de mayor amplitud aunque no alcance el nivel necesario para ser catalogado de Clase M. El evento que se aprecia con el Satélite GOES es ejemplo de un Clase M este puede ser detectado debido a que el satélite siempre es alcanzado por las radiaciones del Sol característica que no posee el MonitorCEC por ser un sistema terrestre.

Figura 56. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 06/05/2014.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Señales registradas por el Satélite GOES (superior) y el MonitorCEC (inferior) el día 11/05/2014.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 57 se evidencian dos detecciones de baja amplitud, las cuales al igual que en los casos anteriores, surgieron como resultado de la radiación solar normal que alcanza la atmosfera terrestre, sin ser catalogado como un evento.

Las señales registradas durante los días no mencionados y posteriores al primer registro indexado, no presentaron variaciones relevantes y las formas de éstas son similares a las mostradas en las Figuras 52 a 57. Por otra parte en algunos periodos se presentaron cortes de energía o bloqueos del equipo en el cual se instaló la aplicación por lo que no son tenidos en cuenta como resultados, en la Figura 58 se muestra uno de ellos para que quede como referencia de registro de estas fallas del MonitorCEC.

**Figura 58. Señal registrada con error por el MonitorCEC el día 05/05/2014.**



**Fuente: Elaboración propia.**

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

### 6.1. CONCLUSIONES

- El principal problema por el que se planteó este proyecto fue la ausencia de monitoreo del clima espacial en Colombia, ya que aunque el Sol representa una fuente de energía y de vida para el planeta y sus habitantes, es también una amenaza constante especialmente para la tecnología, por su incidencia en la generación de perturbaciones en la atmósfera terrestre ocasionadas por la emisión de rayos X y sin embargo no existía un sistema para monitorearlo constantemente. Este problema fue solucionado gracias a la implementación del sistema MonitorCEC, ya que permite estudiar y analizar la actividad solar día a día logrando determinar la zona de afectación directa de fallas en los sistemas de comunicación de la banda VLF.
- En el diseño de las antenas para la recepción de señales en cualquier rango de frecuencias el número de vueltas y el calibre del cable permiten que esta recepción sea más amplia y fiel, se puede caer en el error de desestimar la longitud del lado de una antena de lazo o sacrificarlo para cumplir con el número de vueltas sin embargo esto conllevará un problema en la calidad de las ondas detectadas puesto que puede agregar ruido o que se detecte un rango que no sea el necesitado para la aplicación que se piense realizar. Por parte del MonitorCEC el tamaño mínimo para la antena debe ser de un metro por lado y de 25 vueltas en cable calibre 22AWG cumpliendo así con el ancho de banda que se requiere para la aplicación permitiendo obtener una señal de buena calidad.
- Debido a las características de baja frecuencia y gran longitud de onda, son las señales VLF las que permiten las detecciones de los eventos ocurridos en el Sol desde la tierra, hecho que es aprovechado con la implementación del circuito amplificador que además de adquirir y acondicionar la señales que son detectadas por la antena, filtran el ruido que puede afectarlas, dando como resultado, datos más cercanos a lo real para ser analizados en función del tiempo. Los filtros amplificadores se pueden configurar de forma tal que aunque estos eventos solares afectan la mayor parte del espectro de frecuencias, son las VLF las más usadas en comunicaciones especiales (navegación y submarinas) y por ende las de mayor impacto en los eventos del clima espacial es así como en el proyecto se logró que el circuito detectara o se centrara en las señales que se están alrededor de los 24kHz.
- Todas las señales que rodean el mundo contienen gran cantidad de información acerca de cómo la naturaleza y el universo interactúan y en este caso como el sol puede provocar cambios drásticos en la cotidianidad de los seres humanos alrededor del mundo. El software implementado brinda la capacidad de procesamiento y visualización de forma numérica y gráfica de un grupo de señales que llevan la información necesaria para

detectar eventos que impactan la tierra y así las herramientas para un entendimiento más directo del clima espacial.

## **6.2. TRABAJO A FUTURO**

- Tomando como punto de partida el desarrollo de este proyecto, queda de este la información y herramientas suficientes para la implementación de un radio-receptor con mayor capacidad y fidelidad el cual permita mejores resultados. Se deberá enfocar el esfuerzo en la optimización del circuito amplificador y del software de aplicación en una plataforma más confiable. A largo plazo es viable formar una red a nivel nacional de detecciones en línea con otras universidades del país para elevar el nivel de la radio-observación de amateur a profesional
- Con el desarrollo de este proyecto se hace posible continuar investigaciones que llevan a mejorar el trabajo de los grupos de investigación asociados al Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira y su Grupo de Investigación en Astro-ingeniería Alfa-Orión quienes podrán potenciar la aplicación del sistema de monitoreo para que a mediano plazo la Universidad Tecnológica de Pereira forme parte de la red mundial de observadores en línea con implementaciones propias y aportes a las que ya se encuentran en funcionamiento.
- Para tener una mejor calidad en la recepción de las señales y contando con el espacio propicio para ello se puede aumentar el tamaño de la antena, trabajo que puede ser realizado a corto plazo por estudiantes de los grupos de investigación asociados al Observatorio de la Universidad Tecnológica de Pereira.

## 7. RECOMENDACIONES

- Para la construcción de la antena se debe tener especial cuidado con la elección del alambre de cobre, el cual debe ser recubierto y el calibre debe estar entre #18 (1.02362 mm) AWG a #26 AWG (0.40386 mm), teniendo presente que para una antena pequeña se deben dar más vueltas (alrededor de 50) con el alambre de menor diámetro y para una antena más larga, menos vueltas (aproximadamente 25) con un alambre de mayor diámetro.
- En el punto de acople entre el alambre de cobre con el cable coaxial, es muy importante que se recubran bien con material termoencogible para evitar la corrosión de los tornillos, ya que esto afectaría la calidad de la señal detectada.
- Es importante verificar la configuración de la tarjeta de audio del ordenador en el cual se realizará el monitoreo, en la que la entrada de línea o micrófono deben tener la opción de muestrear a 96000Hz.



## 8. GLOSARIO

- **Antena transmisora VLF:** Dispositivo capaz de emitir señales de ondas de radio de muy baja frecuencia (VLF) con el fin de permitir las telecomunicaciones entre diferentes sistemas terrestres.
- **Clima espacial:** Se refiere a los eventos que se presentan en el espacio exterior, especialmente eventos solares que afectan La Tierra.
- **Ionósfera:** Capa superior de la atmósfera terrestre que por encontrarse ionizada gracias al Sol permite la propagación de las señales de radio y televisión.
- **Llamarada Solar:** Es una explosión en el Sol que ocurre cuando la energía almacenada en campos magnéticos torcidos (usualmente localizados encima de las manchas solares) es liberada súbitamente. Las llamaradas producen un estallido de radiación a través del espectro electromagnético, desde las ondas de radio hasta los rayos-X y los rayos-gamma.
- **Rayos X:** Radiación electromagnética invisible proveniente del Sol con una longitud de onda de 10 nm hasta 0,001 nm. Surgen de fenómenos extranucleares y se producen a raíz de las transiciones de los electrones atómicos de una órbita a otra.
- **VLF (Very Low Frequency):** Banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 3 kHz a 30 kHz. Tiene una longitud de onda de 100 – 10 km.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Riesgos derivados del clima espacial”. Ismael Pellejero Ibáñez. EA4FSI - 28T1 Artículos técnicos. 2008 -2011. Bajo licencia:  
<div xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" about="http://www.ipellejero.es/tecnico/SW/SW\_5"><span property="dct:title">"Riesgos derivados del clima espacial"</span> (<a rel="cc:attributionURL" property="cc:attributionName" href="http://www.ipellejero.es/hf/propagacion/iono-geo/index.html">Ismael Pellejero</a>)/<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/">CC BY-NC-ND 3.0</a></div>
- [2] “Severe Space Weather Events. Understanding Societal and Economic Impacts. A workshop report”. Space Studies Board. Division on Engineering and Physical Sciences. National Research Council of the National Academies, EE.UU. 2008. Disponible en: [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=12507](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12507)
- [3] “Severe Space Weather. Social and Economic Impacts”. James A. Phillips. NASA Science News, 21/01/2009. Disponible en Internet: [http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/21jan\\_severespaceweather/](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/21jan_severespaceweather/)
- [4] E. Tretkoff. “Preparing for the upcoming solar maximum”. Space Weather Quarterly, volume 6, issue 3. American Geophysical Union. 2009. Disponible en: [www.mekabay.com/infosecmgmt/solarmax.pdf](http://www.mekabay.com/infosecmgmt/solarmax.pdf)
- [5] Scherrer, Deborah; Clark, Will; Huynh, Tim; Mitchell, Ray; Roche, Alan; Winegarden, Scott. “SuperSID Manual Space Weather Monitors”. Stanford University Solar Center. Versión 1.0 Latest Change: 6 January 2010 DKS.
- [6] Informe del Cuarto Curso Práctico Naciones Unidas/Agencia Espacial Europea/Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio/Organismo de Exploración Aeroespacial del Japón sobre el Año Heliofísico Internacional 2007 y ciencia espacial básica. Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos. A/AC.105/919. Asamblea General de las Naciones Unidas. (Sozopol, Bulgaria, 2 a 6 de junio de 2008).
- [7] C. M. Ho, A. T. Mannucci, U. J. Inqwest, and X. Q. Pi. “Global Ionospheric Perturbations Monitored by the Worldwide GPS Network”. To be submitted to Geophysical Research Letters. May 10, 1996.
- [8] Sandip K. Chakrabarti; K. Acharya; B. Bose; S. Mandal; A. Chatterjee; N.M. Nandi; S. Pal; R. Khan. “Monitoring of Sudden Ionospheric Disturbances (SID) from Kolkata (INDIA)”. Published in Indian Journal of Physics, 2003, 77B, 173. February 2, 2008.

- [9] Loudet, Lionel. "Application of Empirical Mode Decomposition to the detection of Sudden Ionospheric Disturbances by monitoring the signal of a distant Very Low Frequency transmitter". Version 2: 5 December 2009.
- [10] J. P. Raulin; P. Correia de Matos David; R. Hadano; A. C. V. Saraiva; E. Correia; P. Kaufmann. "The South America VLF NETWORK (SAVNET): Development, installation status, first results". *Geofísica Internacional* 48 (3), 253-261 (2009). June 4, 2009.
- [11] Borgazzi, Andrea; Paz, Gaudencio; Lara, Alejandro; Raulin, Jean Pierre. "The Ionosphere and the Latin America Very Low Frequency Network Mexico (LAVNet-Mex)". Manuscript Number: MOON612. Powered by Editorial Manager® and Preprint Manager® from Aries Systems Corporation. 2011.
- [12] Rodríguez Jiménez, César. "Primeras observaciones a 139.0 MHz Realizadas en el Mexart". Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Diciembre 2007.
- [13] [http://www.spaceweather.com/glossary/flareclasses\\_spanish.html](http://www.spaceweather.com/glossary/flareclasses_spanish.html)
- [14] [http://www.spaceweather.com/glossary/halocmes\\_spanish.html](http://www.spaceweather.com/glossary/halocmes_spanish.html)
- [15] [http://victormazon.com/uploads/media/VLF\\_PHOTO.pdf](http://victormazon.com/uploads/media/VLF_PHOTO.pdf)
- [16] SID Monitoring Station by Lionel LOUDET is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike 2.0 France License. Disponible en: <http://sidstation.loudet.org/>
- [17] Pérez Vega, Constantino; Zamanillo Sainz de la Maza, José María; Casanueva López, Alicia. "Sistemas de telecomunicaciones" Ed. Universidad de Cantabria, 2007. Páginas 300-400.
- [18] "Introducción al Clima Espacial". Disponible en internet: [http://www.swpc.noaa.gov/primer/primer\\_in\\_spanish.html](http://www.swpc.noaa.gov/primer/primer_in_spanish.html)
- [19] Hargreaves, J. K. "The solar-terrestrial environment. An introduction to geospace - the science of terrestrial upper atmosphere, ionosphere and magnetosphere". Publicado por el Sindicato de Prensa de la Universidad de Cambridge. 1992.
- [20] Tomasi, W. "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" 4<sup>ta</sup> Edición. Ed Prentice Hall 2003. Pag 376.
- [21] Montes Suay, Francisco. "Procesos Estocásticos para Ingenieros: Teoría y Aplicaciones". Departamento de estadística e investigación operativa, Universidad de Valencia. 2007. Páginas 75-117

[22] Guerrero Martínez, Juan F. “Ingeniería Biomédica”. Curso 2010-2011 Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Valencia. Tema V: Estimación espectral. Disponible en internet: [http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/1-5/ib\\_material/IB\\_T5\\_OCW.pdf](http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/1-5/ib_material/IB_T5_OCW.pdf).

[23] <http://www.radioaficion.com/HamNews/articles/1521.html>

## ANEXO A

### *Monitor CEC*

*MonitorCEC está diseñado para detectar las perturbaciones bruscas en la ionósfera causadas por la recepción de rayos X intensos, cuando existe una gran radiación solar.*

*Versión 1.0*

Guía de Usuario

Desarrollado por:

Luisa María Puerta González  
Oscar Eduardo Pulgarín Duque

Director

M. Sc. Edwin Andrés Quintero Salazar



Universidad Tecnológica de Pereira  
Facultad de ingenierías  
Programa de Ingeniería Electrónica  
Pereira, Colombia  
2014

## INDICE

CAPÍTULO 1. CONSIDERACIONES GENERALES .....	6
1.1. ¿Qué es MonitorCEC?.....	6
1.2. Contenido del CD .....	6
CAPÍTULO 2. GUIA DE INSTALACIÓN.....	7
2.1. Requerimientos del sistema .....	7
2.2. Instalación .....	7
CAPÍTULO 3. PRESENTACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA .....	12

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ejecución archivo MonitorCEC_pkg.exe. ....	90
Figura 2. Extracción del MATLAB Compiler Runtime. ....	91
Figura 3. Ejecución del MATLAB Compiler Runtime. ....	91
Figura 4. Instalación del MATLAB Compiler Runtime. ....	92
Figura 5. Paso 2 instalación del MATLAB Runtime compiler. ....	92
Figura 6. Aceptación de los términos de la licencia. ....	93
Figura 7. Ubicación final del MonitorCEC. ....	93
Figura 8. Configuración del canal de entrada de audio. ....	94
Figura 9. Botón de configuración del canal de entrada de audio. ....	94
Figura 10. Error de configuración del canal de entrada de audio. ....	95
Figura 11. Inicialización de la adquisición. ....	95
Figura 12. Barra inferior actualización de datos. ....	96
Figura 13. Opciones para salir del software MonitorCEC. ....	96
Figura 14. Confirmación para salir del software. ....	97
Figura 15. Confirmación de cierre Archivos de Excel asociados. ....	97
Figura 16. Datos guardados con éxito. ....	98
Figura 17. Grabación de archivos .xls al cerrar el programa. ....	98
Figura 18. Opción Graficar señal almacenada. ....	99
Figura 19. Selección de archivo de Excel para graficar. ....	99
Figura 20. Plot de la señal (NML,NLK,NAA,JI,NPM y NWC) almacenada. ....	100
Figura 21. Opción grabar imagen en archivo .jpg. ....	100
Figura 22. Ruta y nombre del archivo .jpg. ....	101
Figura 23. Ejemplo de imagen almacenada en jpg. ....	101
Figura 24. Opción Zoom In en imagen. ....	102
Figura 25. Selección del área para Zoom. ....	102
Figura 26. Zoom In en imagen. ....	103
Figura 27. Zoom original en imagen. ....	103
Figura 28. Opción Zoom Out en imagen. ....	104
Figura 29. Imagen en Zoom In. ....	104
Figura 30. Imagen en Zoom Out. ....	105
Figura 31. Opción mover. ....	105
Figura 32. Opción cursor. ....	106
Figura 33. Visualización de los datos con la Opción cursor. ....	106
Figura 34. Visualización de los datos con dos cursores. ....	107
Figura 35. Visualización de los datos con tres cursores. ....	107
Figura 36. Eliminación del cursor actual o cursores. ....	108
Figura 37. Opción señal original. ....	108
Figura 38. Visualización de la señal original. ....	109
Figura 39. Opción Imprimir. ....	109
Figura 40. Configuración de la opción imprimir. ....	110
Figura 41. Selección de impresora. ....	110

Figura 42. Opción ayuda.....	111
Figura 43. Visualización de la Opción ayuda. ....	111
Figura 44. Opción Acerca de. ....	112
Figura 45. Visualización de Acerca de. ....	112
Figura 46. Opción capturar imagen.....	113
Figura 47. Visualización de la opción capturar imagen. ....	113



## CAPÍTULO 1.

### CONSIDERACIONES GENERALES

#### 1.1. ¿QUÉ ES *MONITORCEC*?

*MonitorCEC* es una aplicación desarrollada en *Matlab*® que permite monitorear la perturbación en la capa ionosférica de la Tierra ocasionada por la actividad solar, más específicamente por las llamaradas solares, fenómeno solar que emite energía en forma de rayos-X o energía ultravioleta extrema hacia la Tierra.

El presente documento le guiará durante el proceso de instalación además de realizar una presentación básica de la aplicación, apoyada en ejemplos de cada una de las opciones ubicadas en el menú del programa.

#### 1.2. CONTENIDO DEL CD

El CD de instalación de *MonitorCEC* debe incluir los siguientes archivos:

- *Carpeta Datos*: Carpeta en la que se almacenarán las gráficas generadas por el *MonitorCEC*.
- *MonitorCEC\_pkg.exe*: Ejecutable del programa.
- Manual de Usuario.

Por favor lea cuidadosamente la presente guía antes de manipular el programa.

## CAPÍTULO 2

### GUÍA DE INSTALACIÓN

#### 2.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Para el correcto funcionamiento de la aplicación MonitorCEC, se recomienda que el sistema cumpla con los siguientes requerimientos mínimos:

- Sistema operativo Microsoft Windows® XP o 7 de 64 bits.
- Procesador de 1,6GHz.
- Memoria RAM de 1GB.
- Espacio en Disco Duro de 250GB.
- Tarjeta de audio de 96000 Hz de entrada de línea.

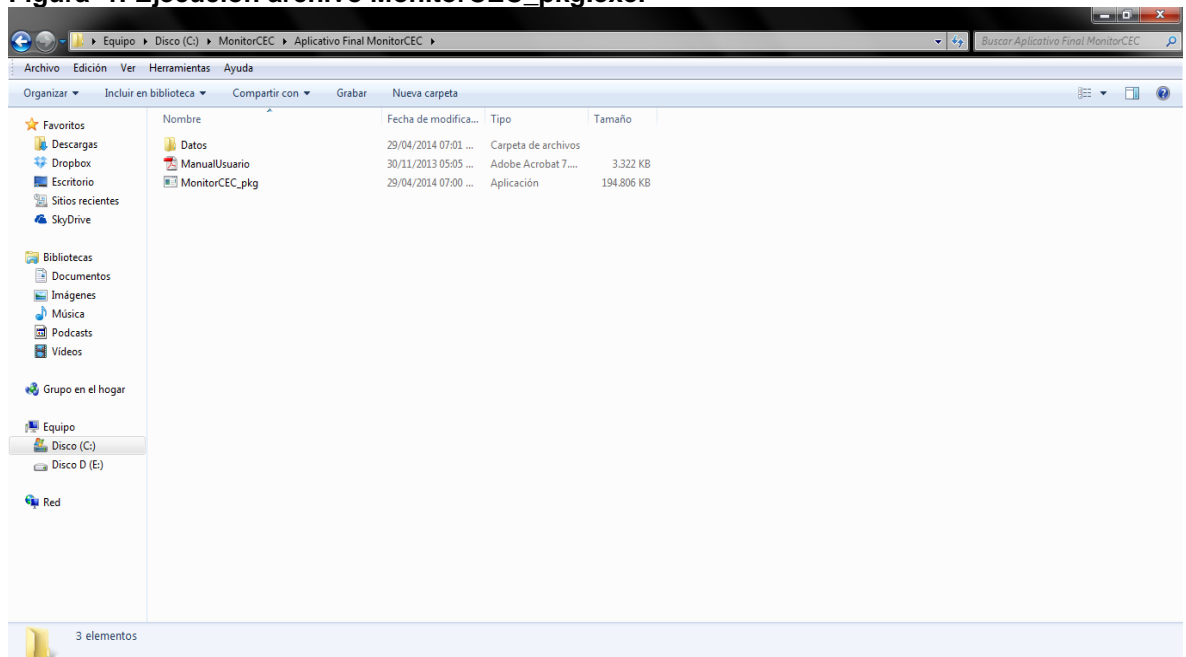
#### 2.2. INSTALACIÓN

Para la instalación de MonitorCEC por favor siga los siguientes pasos:

1. De la carpeta incluida en el CD, copie los archivos *MonitorCEC\_pkg.exe* y la carpeta "Datos", en una carpeta creada por usted en la raíz de la unidad C de disco duro.
2. Ejecute *MonitorCEC\_pkg.exe*:

Ejecutar >> MonitorCEC\_pkg.exe

Figura 1. Ejecución archivo MonitorCEC\_pkg.exe.



3. Esperar que se extraiga y se ejecute el MATLAB Compiler Runtime

Seleccionar el idioma cuando lo solicite

Figura 2. Extracción del MATLAB Compiler Runtime.

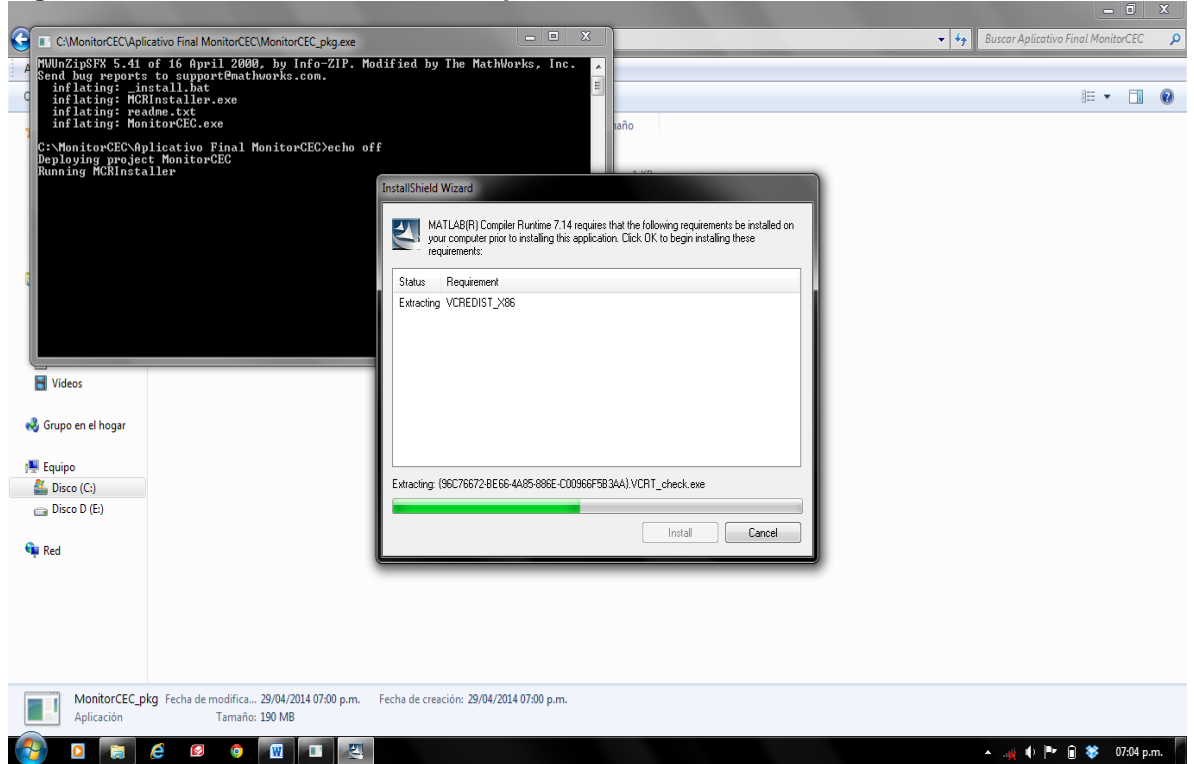
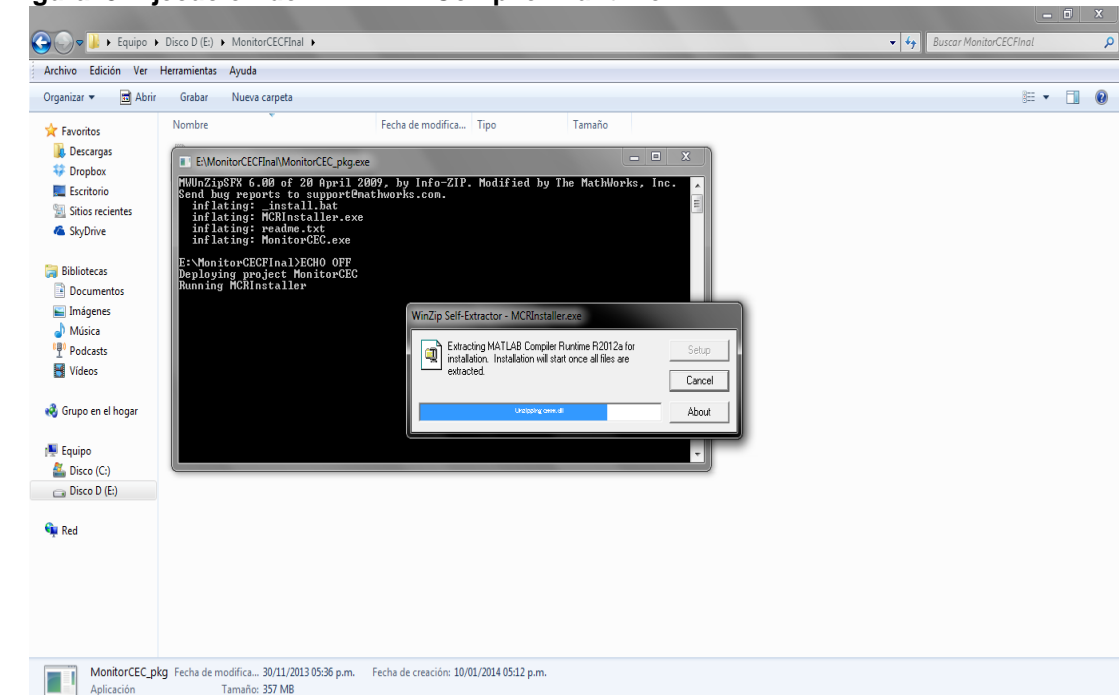
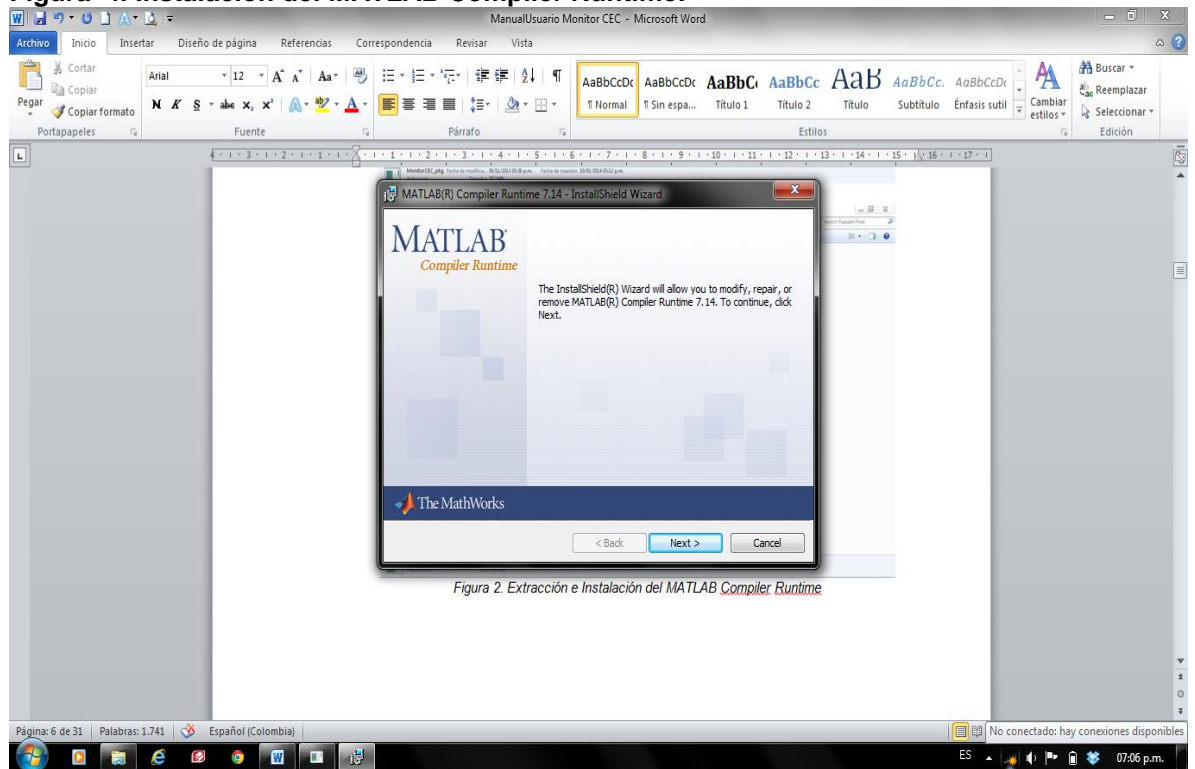


Figura 3. Ejecución del MATLAB Compiler Runtime.

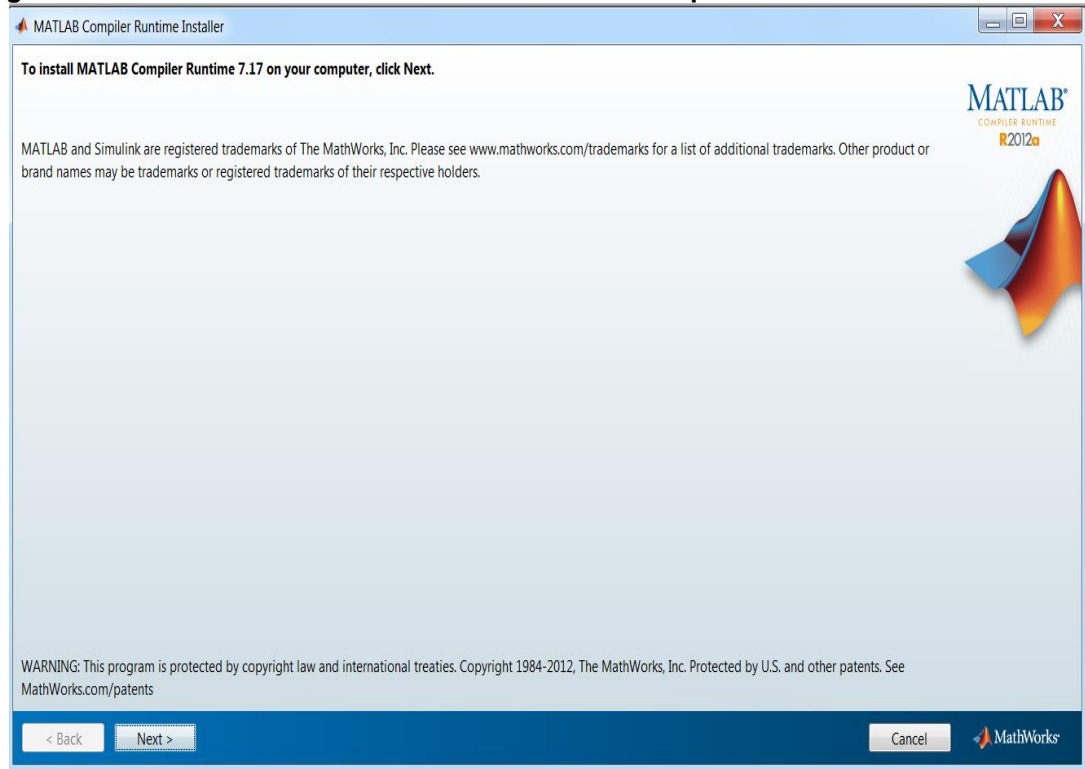


**Figura 4. Instalación del MATLAB Compiler Runtime.**



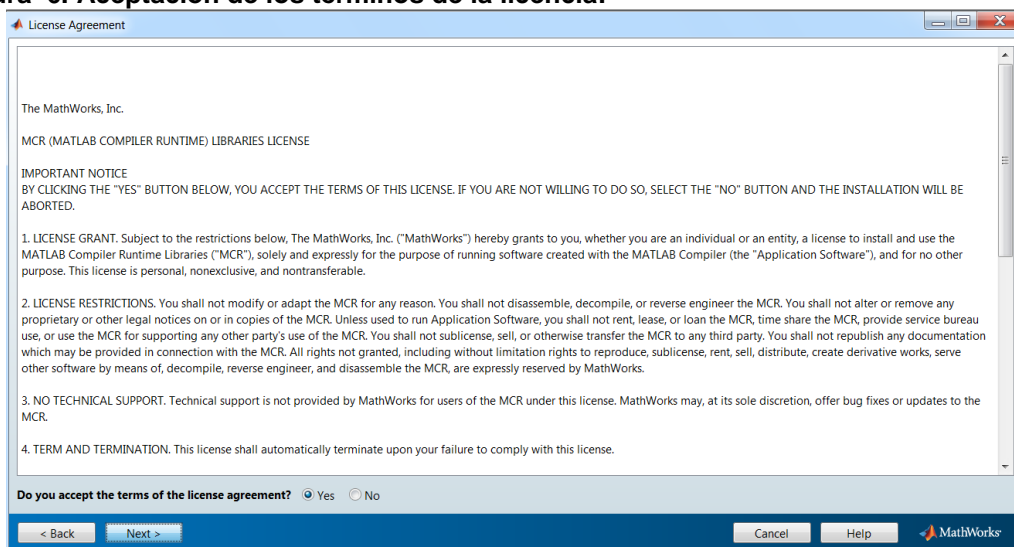
*Figura 2. Extracción e Instalación del MATLAB Compiler Runtime*

**Figura 5. Paso 2 instalación del MATLAB Runtime compiler.**



>> Aceptar los términos de la licencia

**Figura 6. Aceptación de los términos de la licencia.**

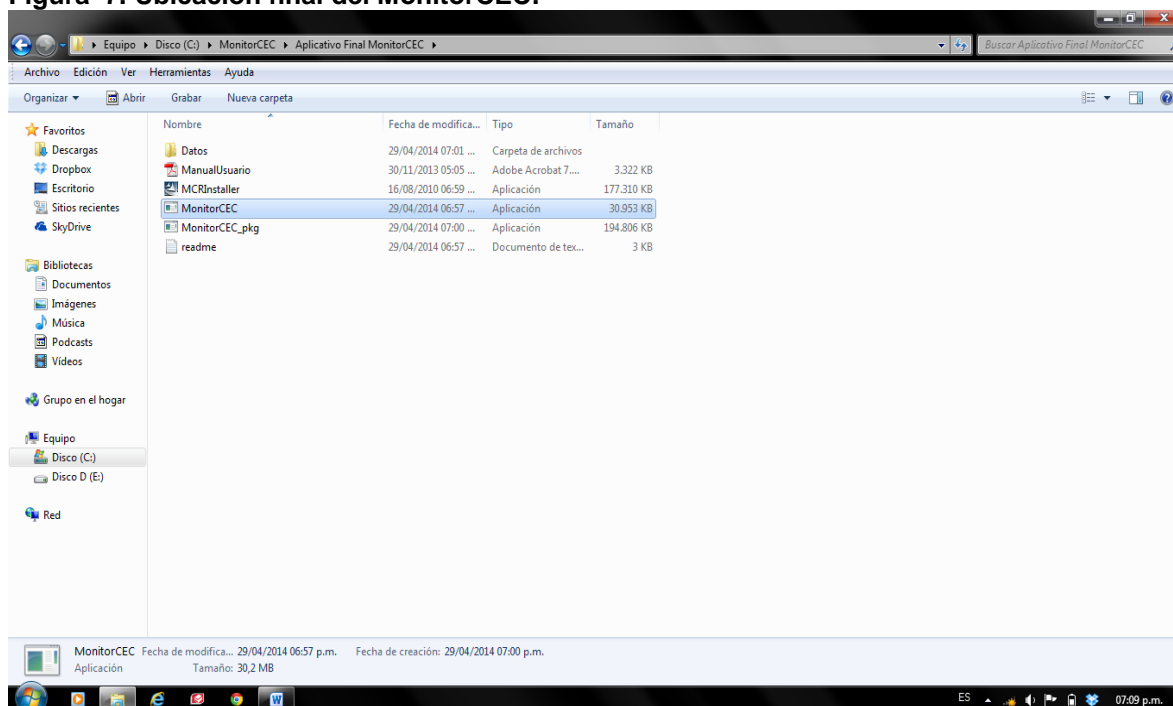


>> Dar Click en Next y Next. Si pregunta que no está creada una carpeta en archivos de programa y que si deseamos crearla dar click>>Yes; finalmente click>>Install.

>> Esperar a que se instale el MATLAB Compiler Runtime. Click>>Finish

>> Ejecutar MonitorCEC.exe y disfrute MonitorCEC

**Figura 7. Ubicación final del MonitorCEC.**



## CAPÍTULO 3

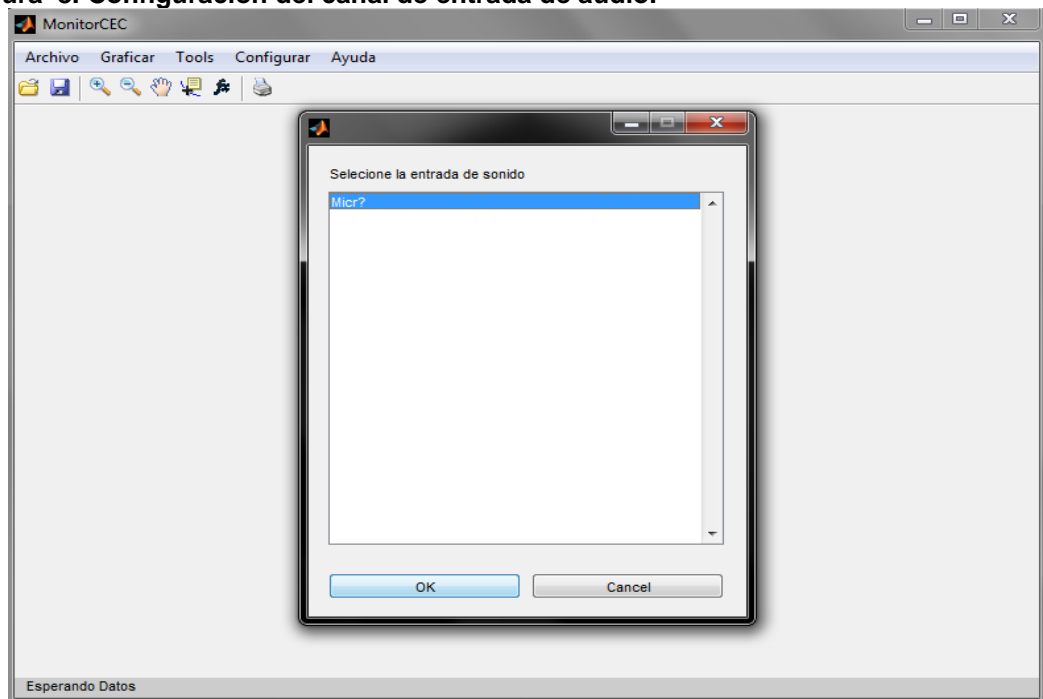
### PRESENTACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA

#### ➤ Inicialización del Software

Una vez instalado el software en el computador se procede a ejecutarlo, una vez inicia el programa solicitará que se configure el canal de entrada de datos disponibles que han sido detectados por la aplicación.

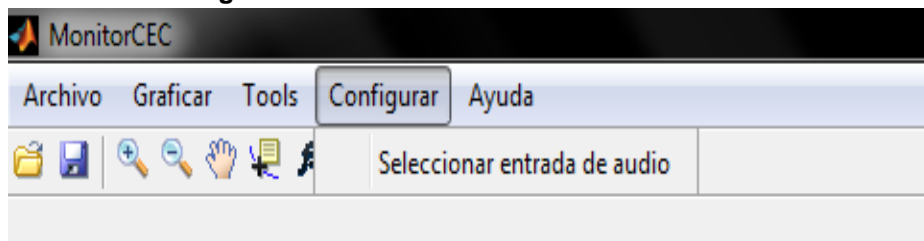
Seleccionar el canal de entrada >> click en OK

**Figura 8. Configuración del canal de entrada de audio.**



Si el cuadro de selección del canal es cerrado sin haber dado click en OK, el programa no puede iniciar la adquisición de los datos es por ello que se debe ingresar nuevamente por Configurar>>Seleccionar entrada de Audio.

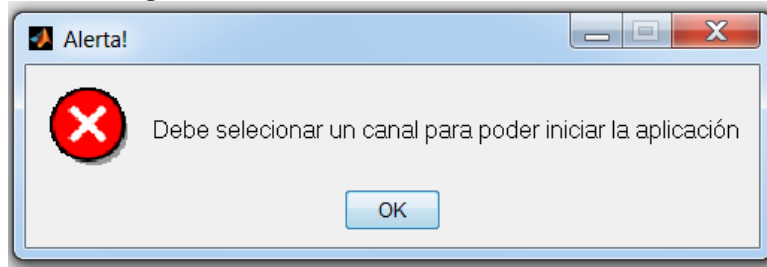
**Figura 9. Botón de configuración del canal de entrada de audio.**



Seleccionar el canal de entrada >> click en OK

**Advertencia!** Si no selecciona ningún canal de entrada no se activará el botón para iniciar la aplicación y mostrará un mensaje de error.

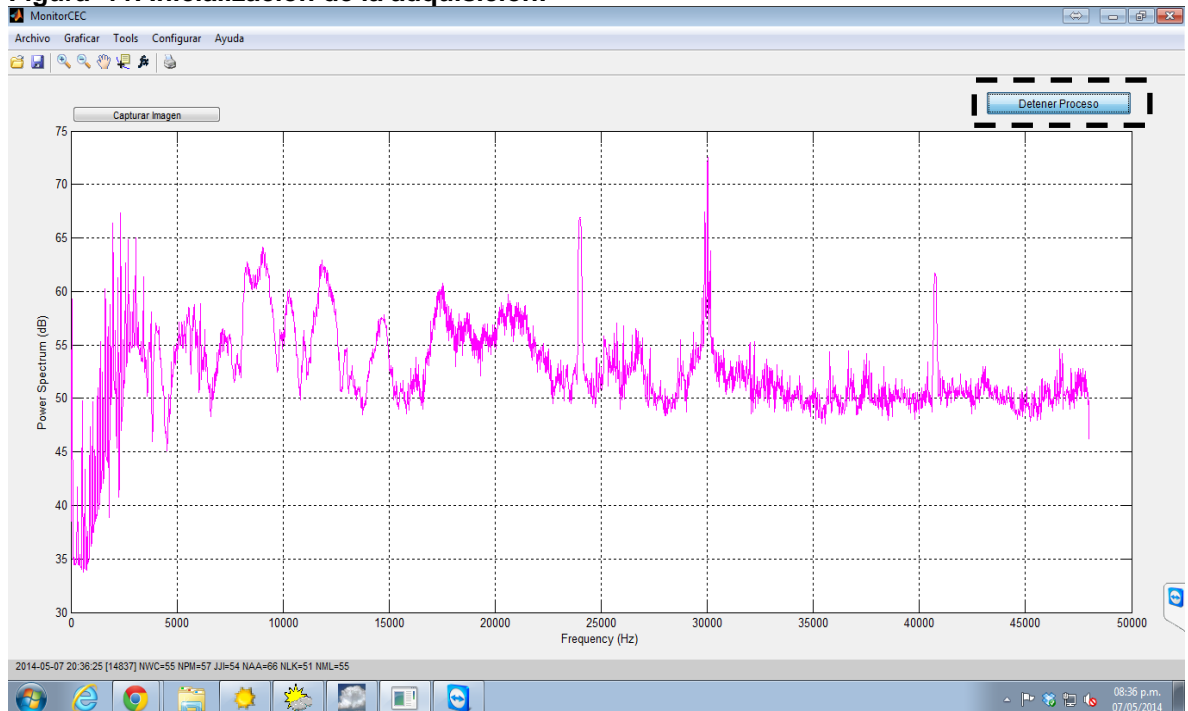
Figura 10. Error de configuración del canal de entrada de audio.



### Paso 3. Inicio de Adquisición de los datos

Con el canal de entrada configurado se da click en el botón >> Iniciar Proceso e inmediatamente el software inicia la adquisición de los datos.

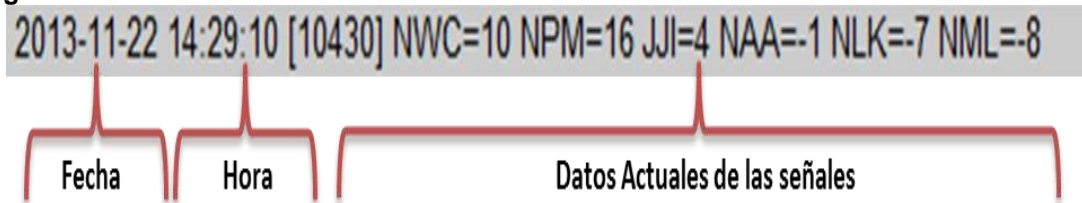
Figura 11. Inicialización de la adquisición.



El software actualiza la señal y calcula los datos de la densidad espectral de potencia mediante el algoritmo de WHELCH y guarda este cálculo en un archivo temporal denominado **Buffer\_Actual.xls** en la carpeta Datos, este archivo es supremamente importante ya que es el que almacena los datos actualizados y vigentes.

Este archivo Buffer\_Actual.xls actualiza los datos almacenados cada **10 minutos**, mientras que la señal se actualiza y se imprime cada **5 segundos**, lo cual se puede comprobar mediante la barra inferior del software donde se puede observar:

Figura 12. Barra inferior actualización de datos.



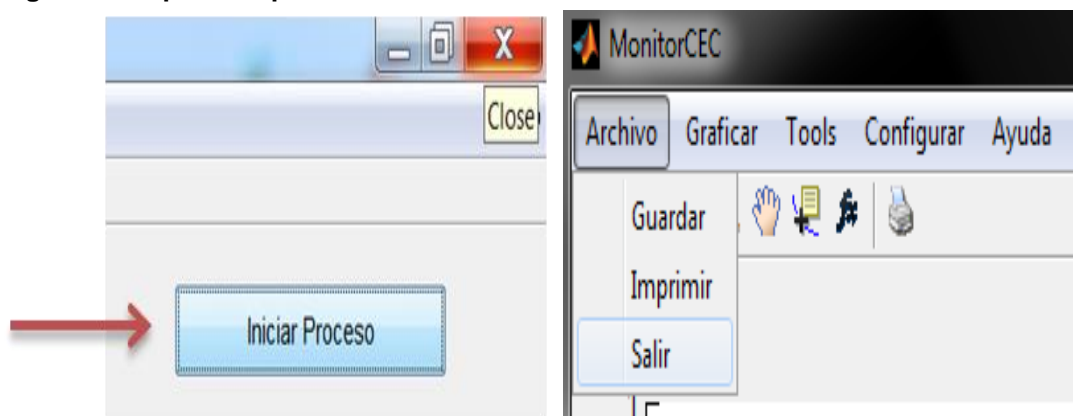
Para detener la adquisición de los datos solo basta con dar click >> Detener Proceso.

**Advertencia!** Si una vez transcurrido los 10 min para grabar los datos temporales en Datos/Buffer\_Actual.xls, el archivo está abierto, los datos no serán guardados y se deberá reiniciar el software. Es por ello que el archivo Datos/Buffer\_Actual.xls nunca debe ser abierto.

#### Paso 4. Salir del Software

Para salir del software se debe detener primero la adquisición (click >> Detener Proceso), una vez se detiene el proceso se puede salir a través del ícono superior izquierdo a mediante el Menú Archivo >>Salir.

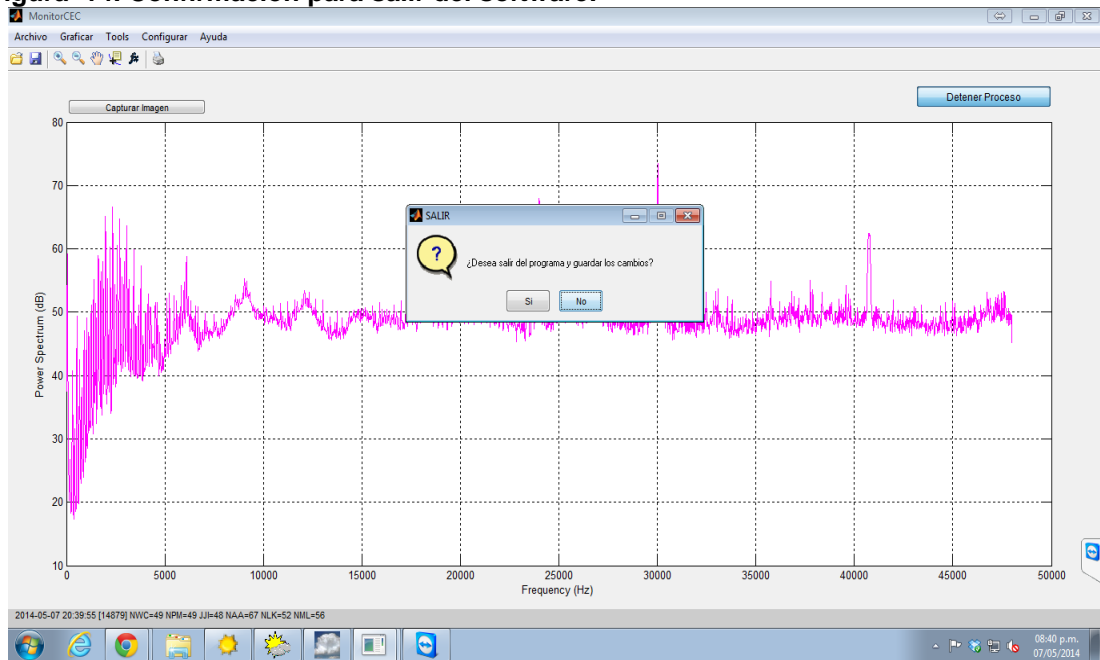
Figura 13. Opciones para salir del software MonitorCEC.



Cuando se pulse el botón salir el software le preguntará si realmente desea salir, si su elección es No, el software está listo nuevamente para iniciar la adquisición mediante el botón >>Iniciar Proceso.

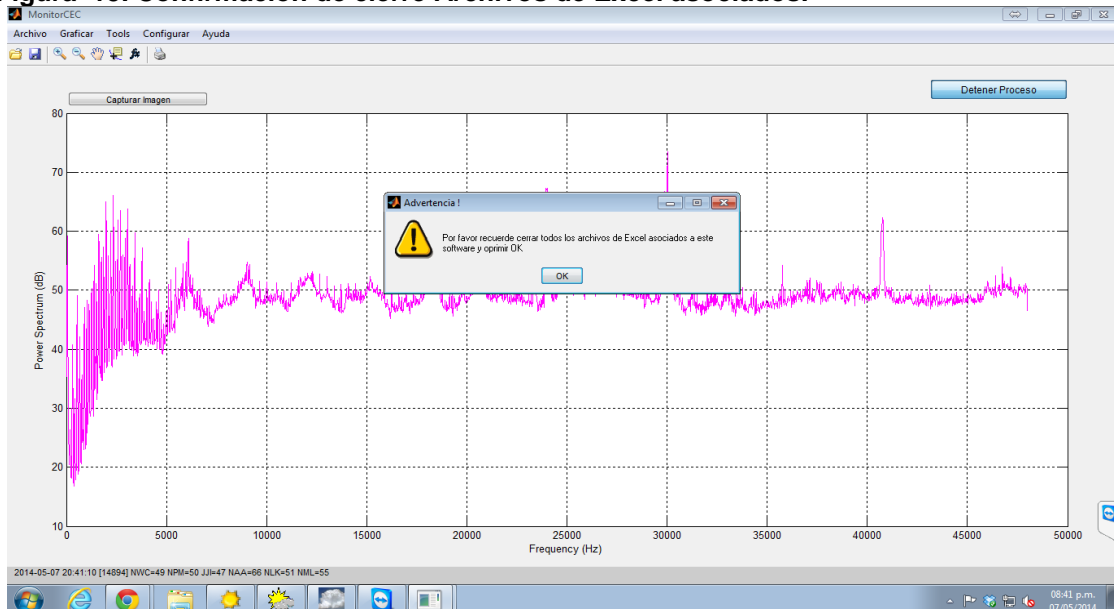


Figura 14. Confirmación para salir del software.



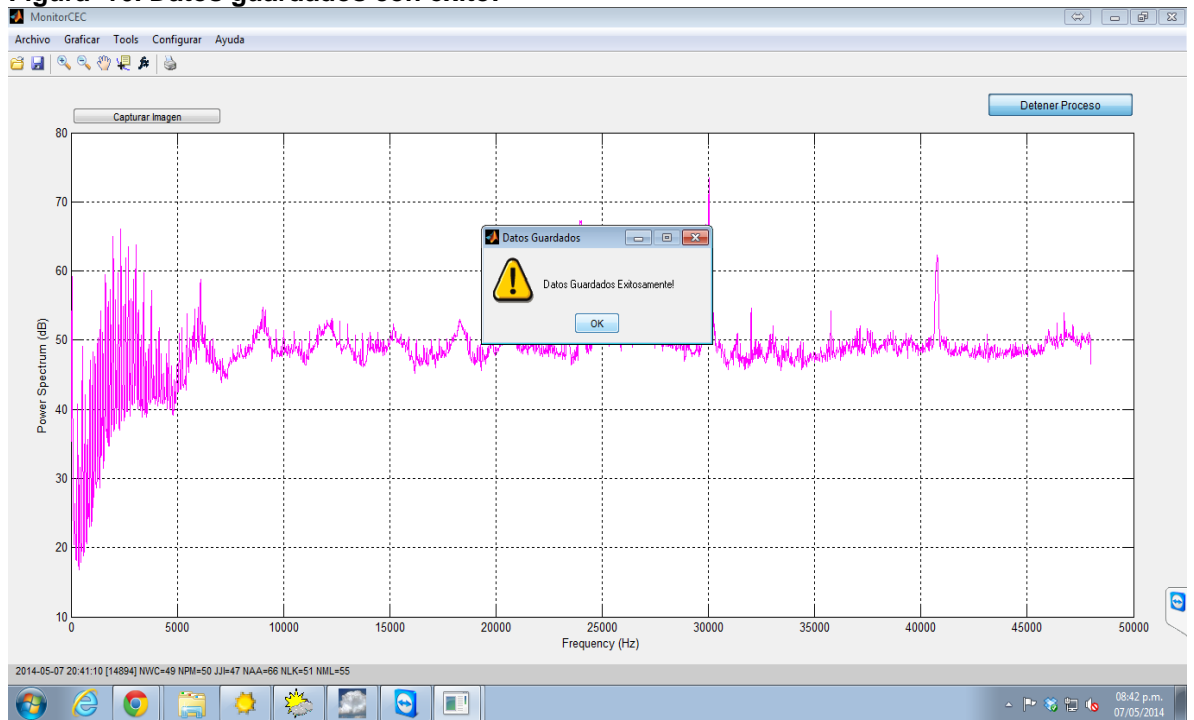
Si la opción seleccionada es Si el software inmediatamente le va a recordar que debe tener todos los archivos .xls asociados al software con fecha actual **cerrados**, es decir que debe tener los archivos de la *Carpeta>>Datos*, *cerrados*.

Figura 15. Confirmación de cierre Archivos de Excel asociados.



La grabación se demora 30 segundos y una vez finalice aparecerá el mensaje que se ve en la Figura 16.

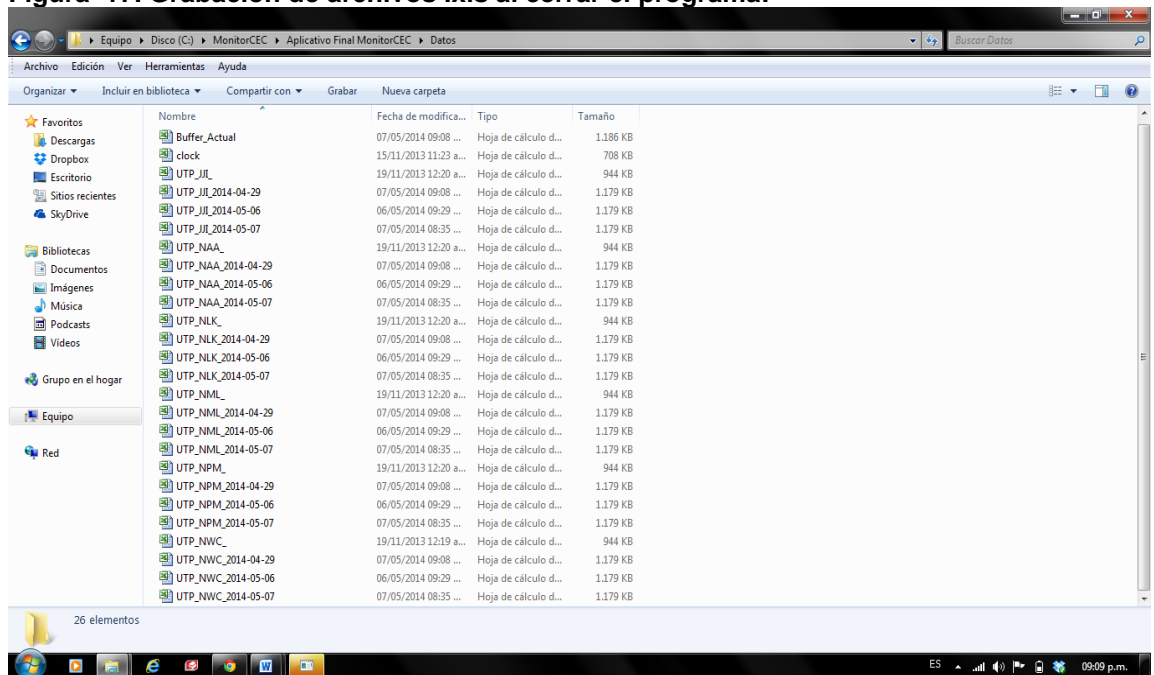
**Figura 16. Datos guardados con éxito.**



## Paso 5. Grabación de archivos .xls.

El Software graba 6 archivos .xls por día, es decir que graba un archivo .xls por cada señal capturada (NML,NLK,NAA,JI,NPM y NWC) así como se muestra en la Figura 17.

**Figura 17. Grabación de archivos .xls al cerrar el programa.**



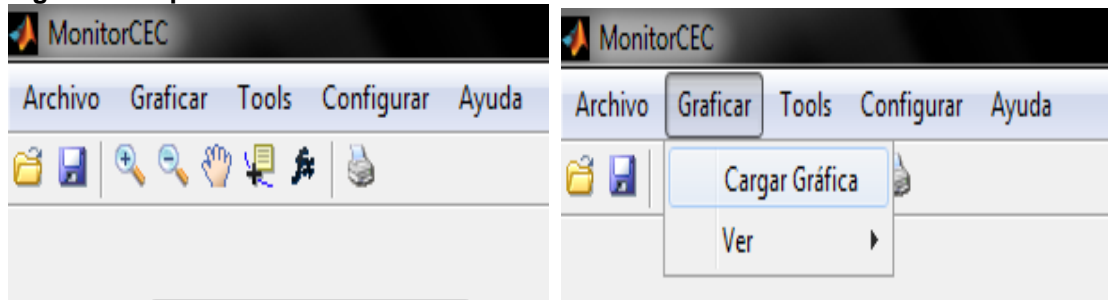
## Paso 6. Interactuando con el software

### 6.1. Opción Cargar Gráfica

Esta opción sirve para imprimir datos anteriormente capturados y almacenados en los archivos .xls de cada una de las señales.

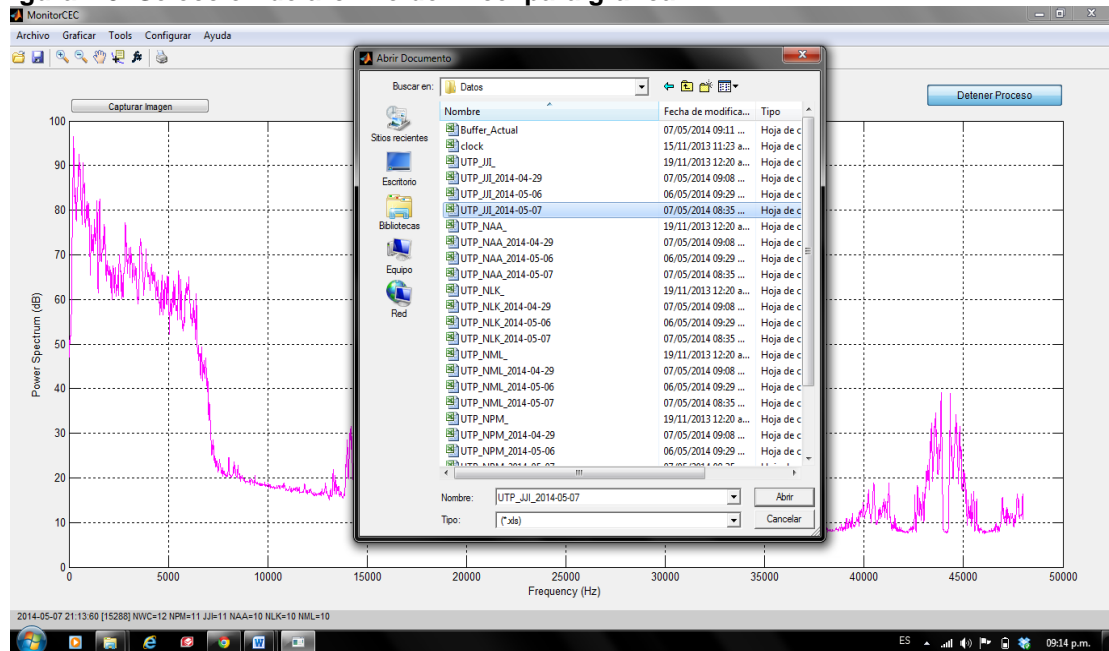
Click>>Cargar Grafica

Figura 18. Opción Graficar señal almacenada.



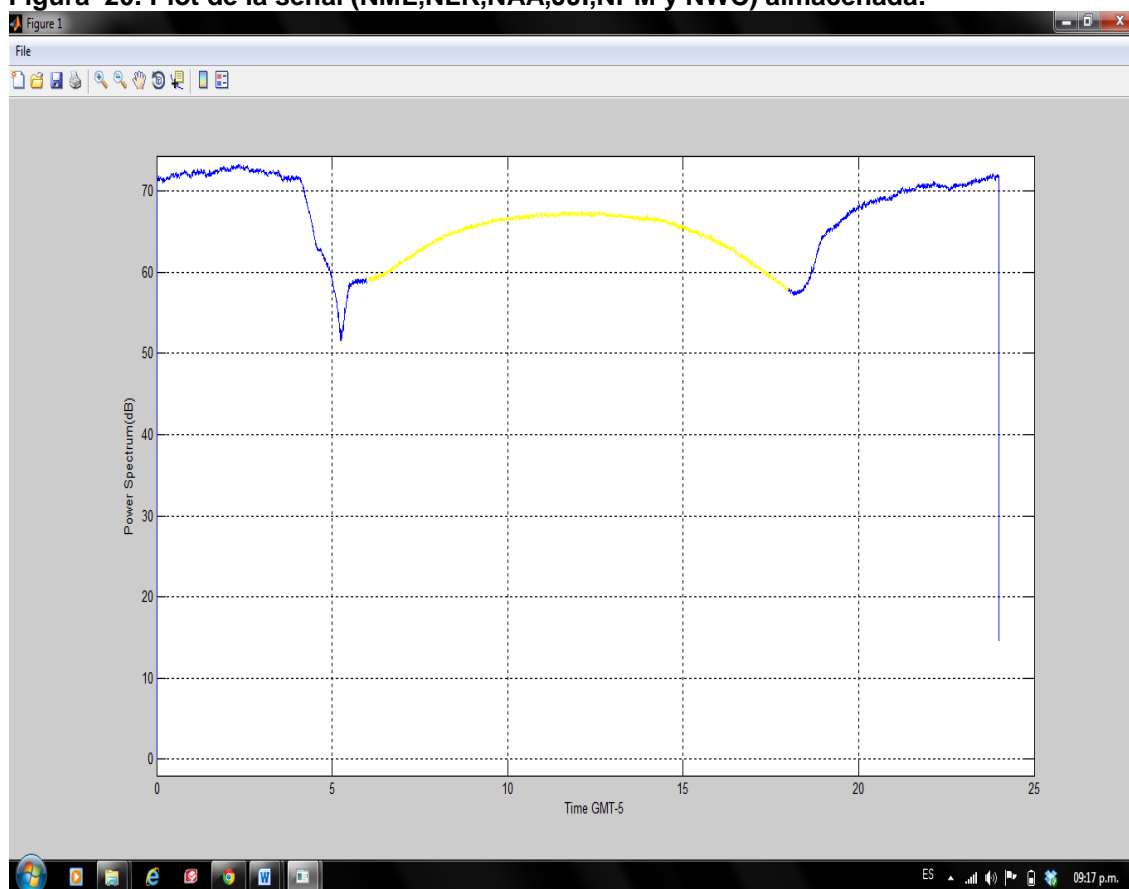
>>Seleccionar el archivo Excel a graficar almacenado en la carpeta Datos

Figura 19. Selección de archivo de Excel para graficar.



Una vez se selecciona el archivo el software carga e imprime los datos en una nueva figura, como se observa en la Figura 20. En donde los datos impresos con azul son los datos tomados en la noche (6:05pm : 6:00am), mientras que los datos en amarillo fueron tomados en el día (6:05 am : 6:00pm).

**Figura 20. Plot de la señal (NML,NLK,NAA,JKI,NPM y NWC) almacenada.**

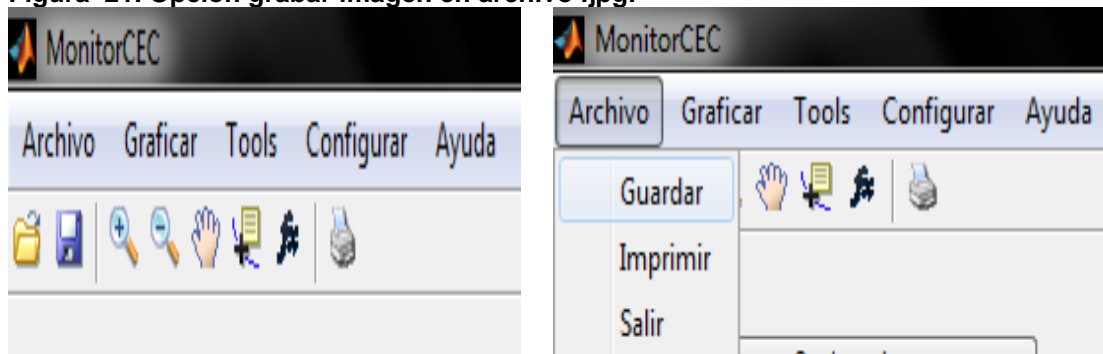


## 6.2. Opción Grabar Imagen

Esta opción sirve para grabar en formato .jpg la señal que se esté visualizando en el momento.

>> Click grabar imagen

**Figura 21. Opción grabar imagen en archivo .jpg.**



>> Seleccionar la carpeta destino y el nombre del archivo .jpg a grabar.

Figura 22. Ruta y nombre del archivo .jpg.

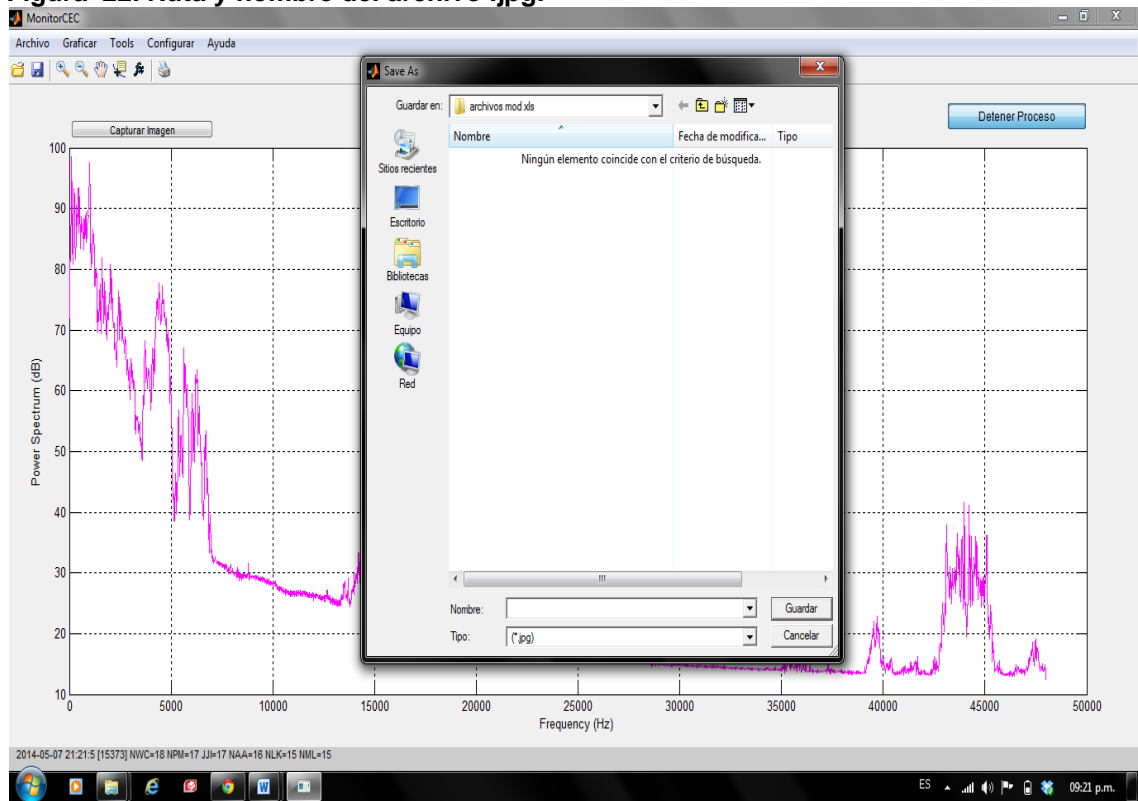
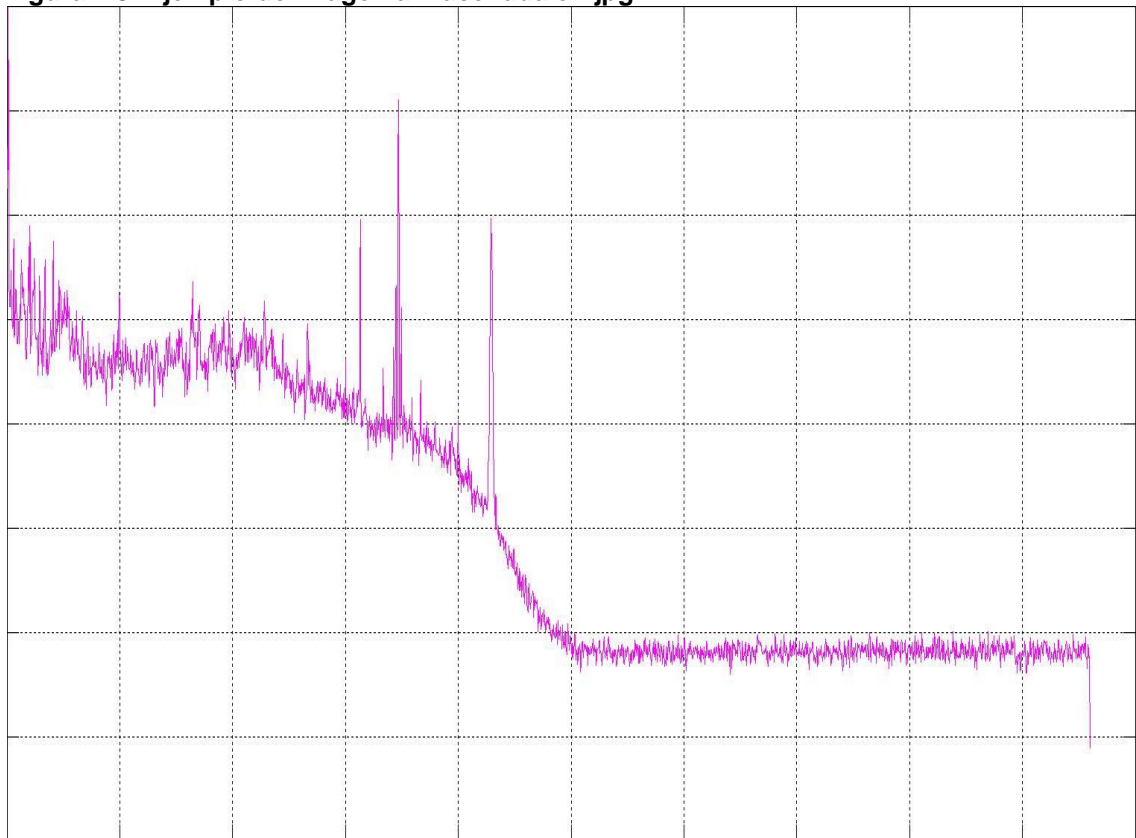


Figura 23. Ejemplo de imagen almacenada en jpg.



### 6.3 Opción Zoom In

Esta opción sirve para ampliar la imagen que se esté visualizando, es recomendable que esta opción se use cuando el proceso este detenido.

Figura 24. Opción Zoom In en imagen.




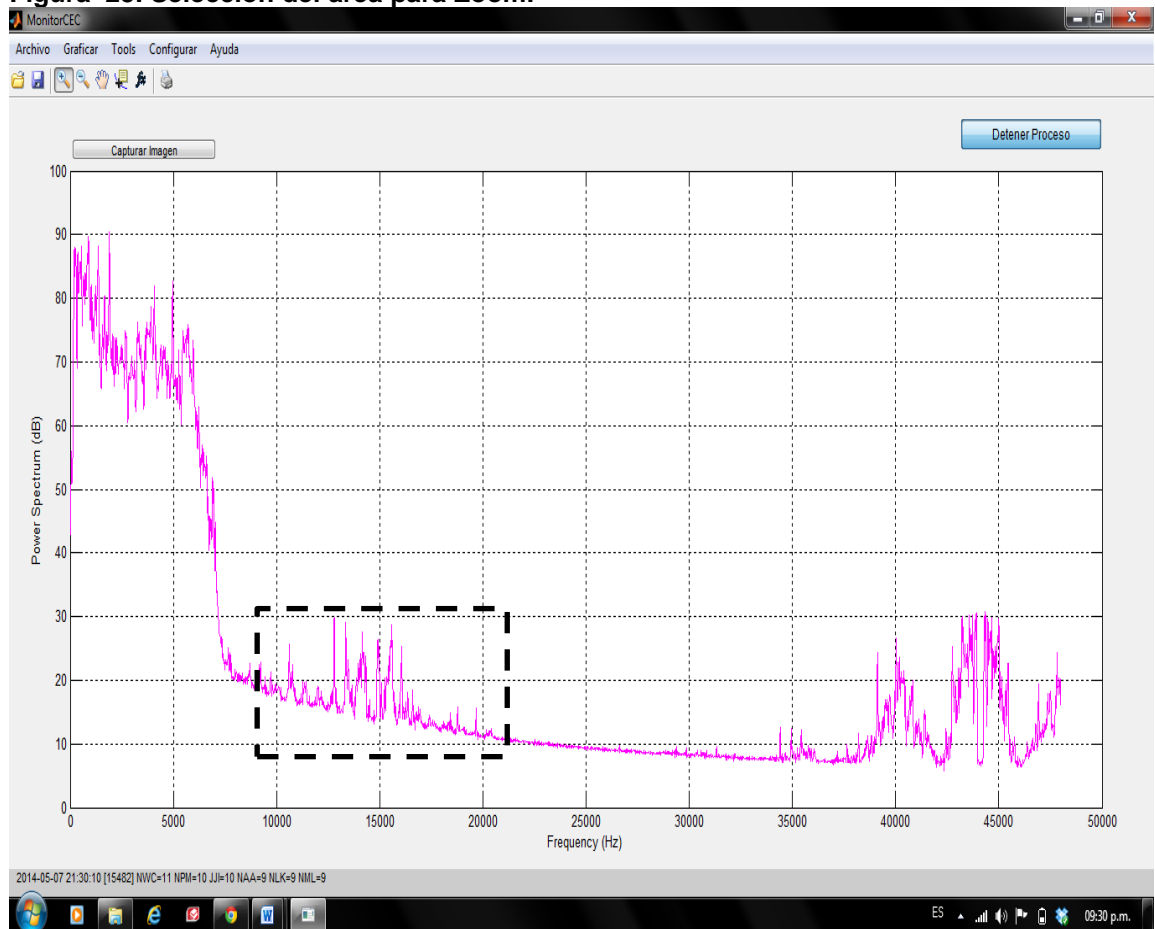
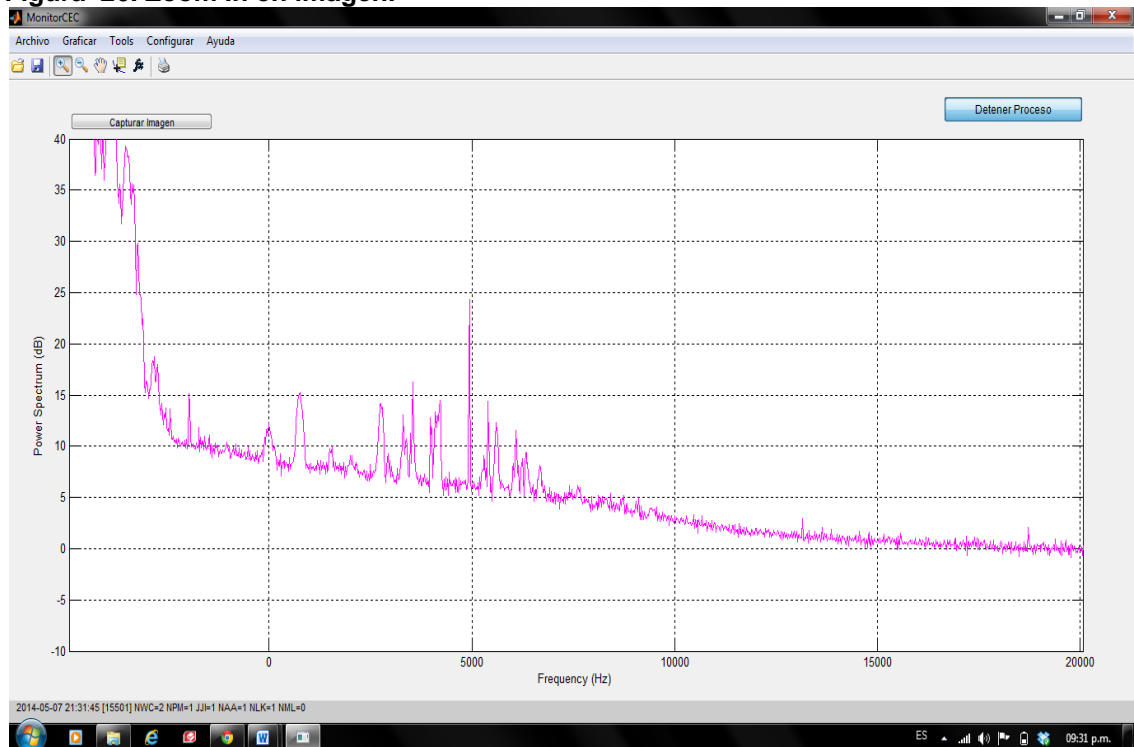
>>Con el ícono  activo se selecciona la parte de la imagen que se quiere ampliar manteniendo el click de mouse presionado hasta donde se requiera hacer el zoom.

Figura 25. Selección del área para Zoom.

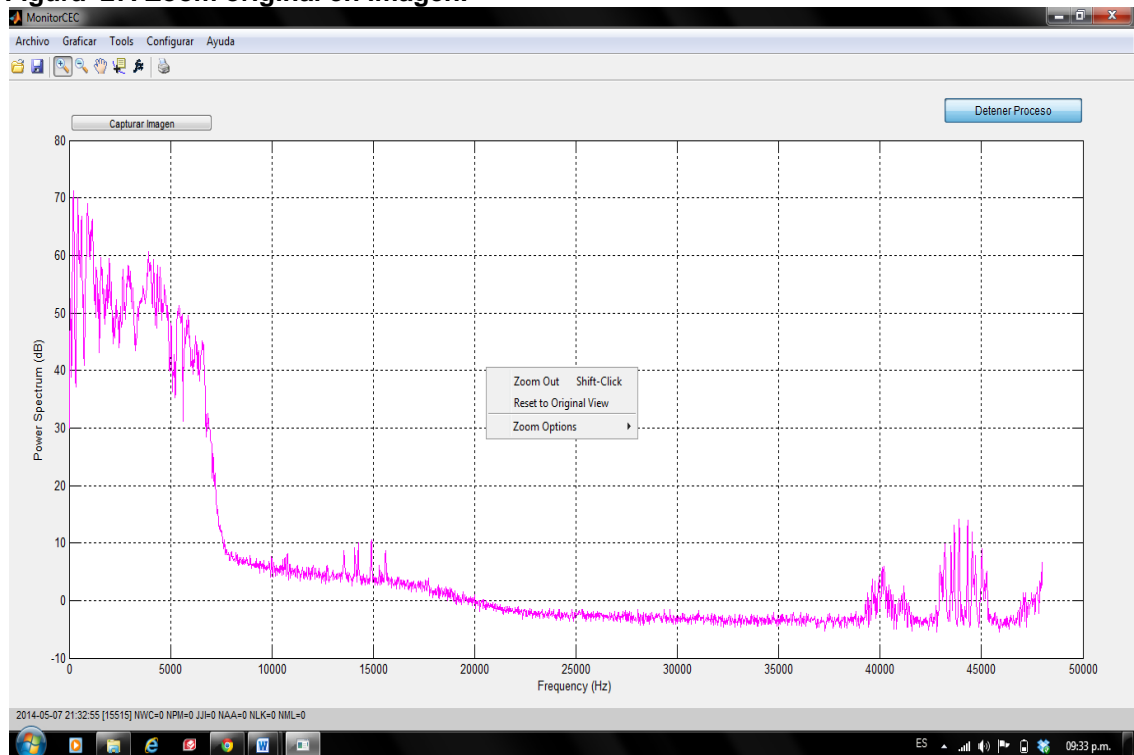


**Figura 26. Zoom In en imagen.**



Si se quiere reestablecer el zoom al original se debe presionar click derecho en la imagen y darle click >>Reset to Original View.

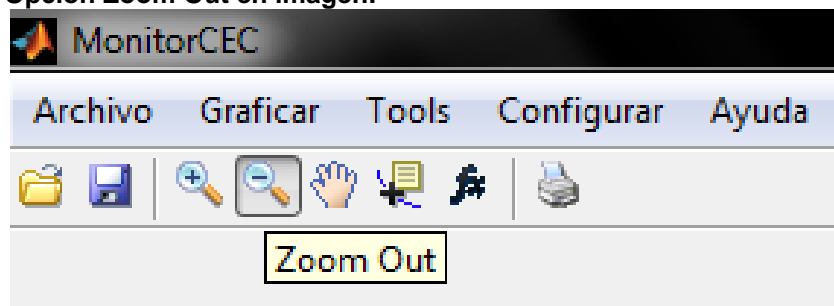
**Figura 27. Zoom original en imagen.**



## 6.4. Opción Zoom Out

Esta opción sirve para disminuir la imagen que se esté visualizando, es recomendable que esta opción se use cuando el proceso este detenido.

Figura 28. Opción Zoom Out en imagen.




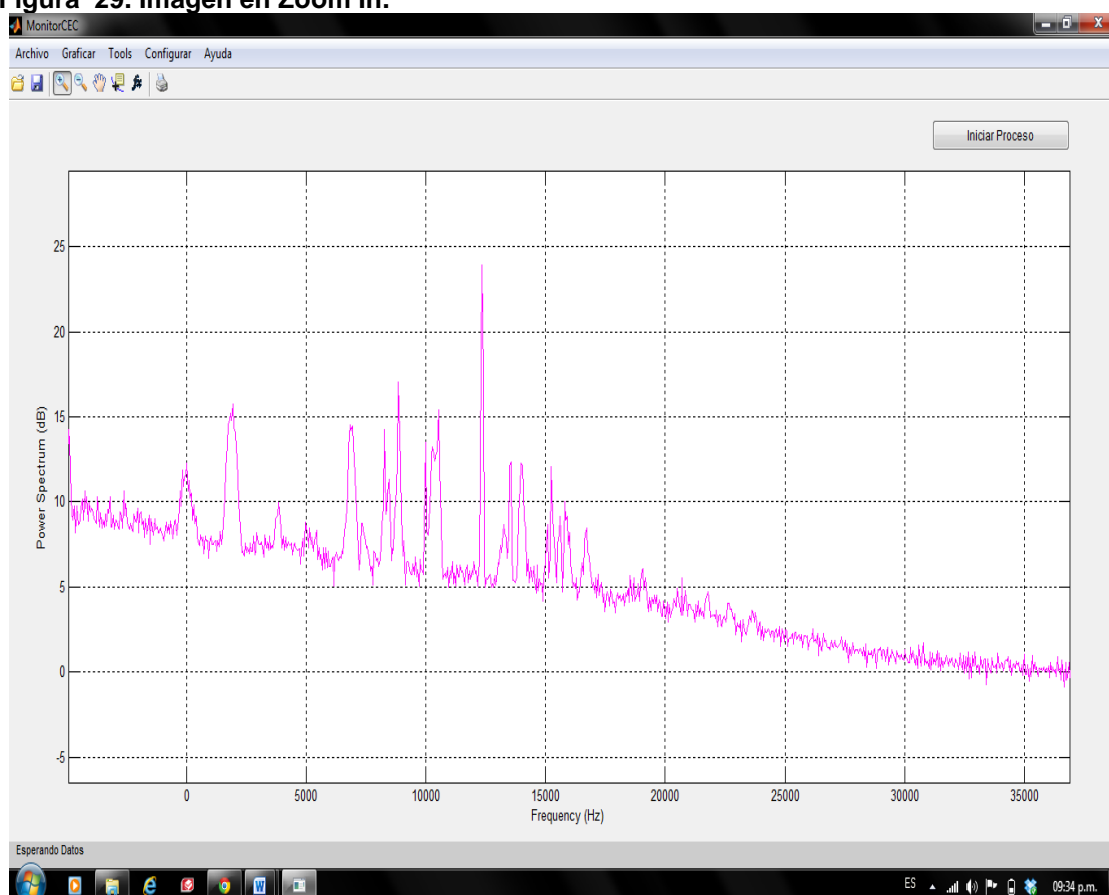
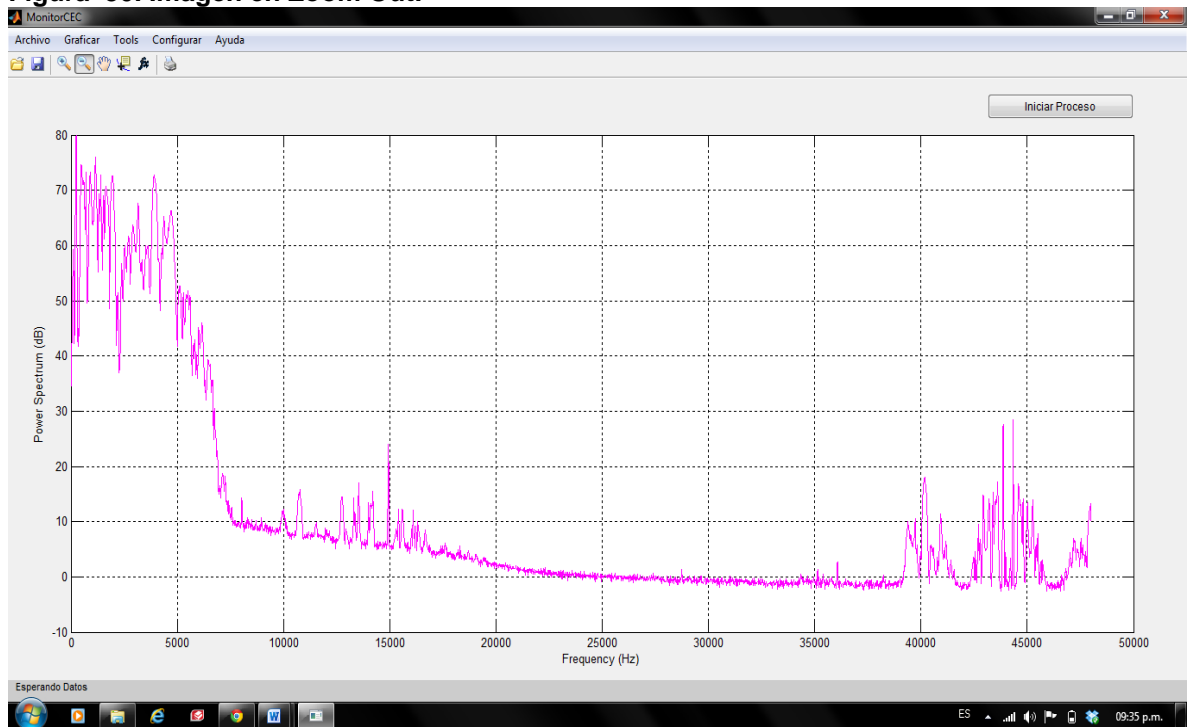
>> Con el ícono  activo se selecciona la parte de la imagen que se quiere disminuir manteniendo el click de mouse presionado hasta donde se requiera hacer el zoom.

Figura 29. Imagen en Zoom In.





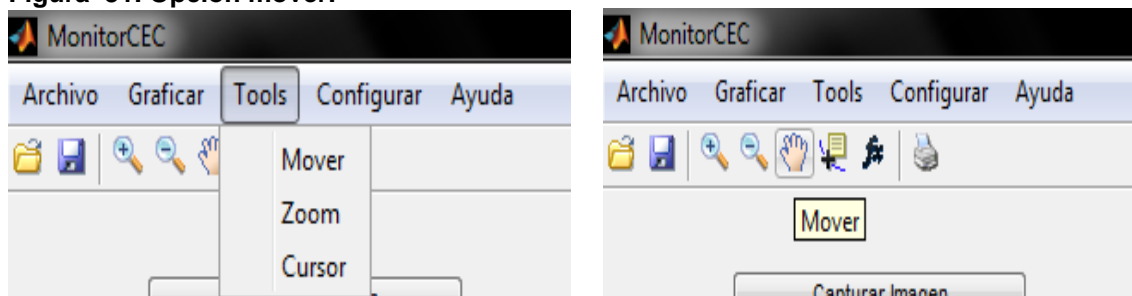
**Figura 30. Imagen en Zoom Out.**




## 6.5. Opción Mover

Esta opción sirve para mover la imagen que se esté visualizando, es recomendable que esta opción se use cuando el proceso este detenido.

**Figura 31. Opción mover.**

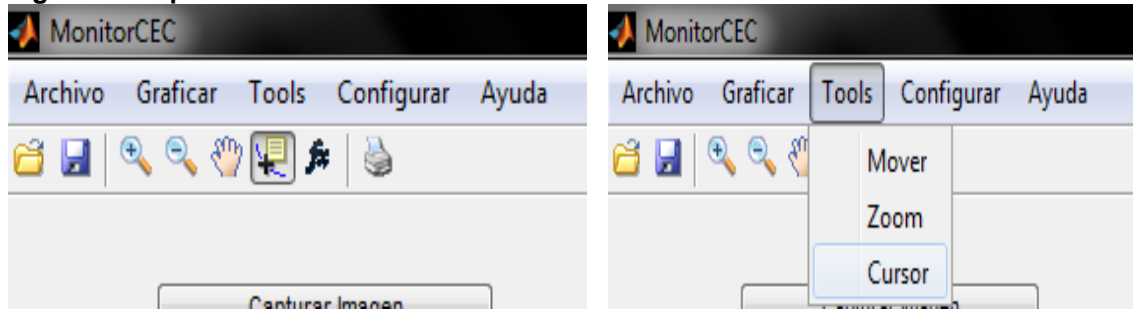


>> Con el ícono  activo seleccionamos la imagen y manteniendo el click de mouse presionado movemos la imagen hasta donde queremos moverla

## 6.6. Opción Cursor

Esta opción sirve identificar un punto (X, Y) en la señal que se esté graficando, es recomendable que esta opción se use cuando el proceso este detenido.

Figura 32. Opción cursor.




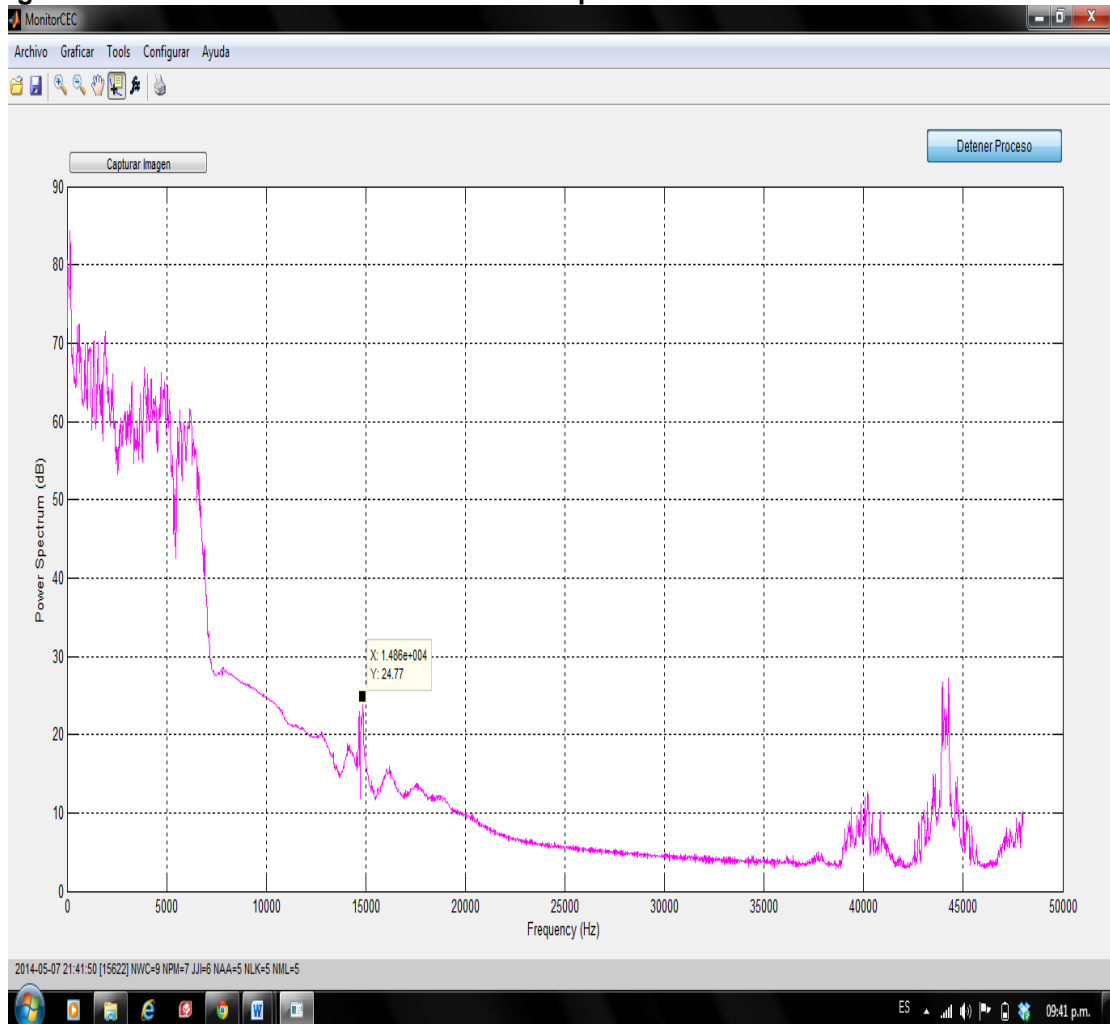
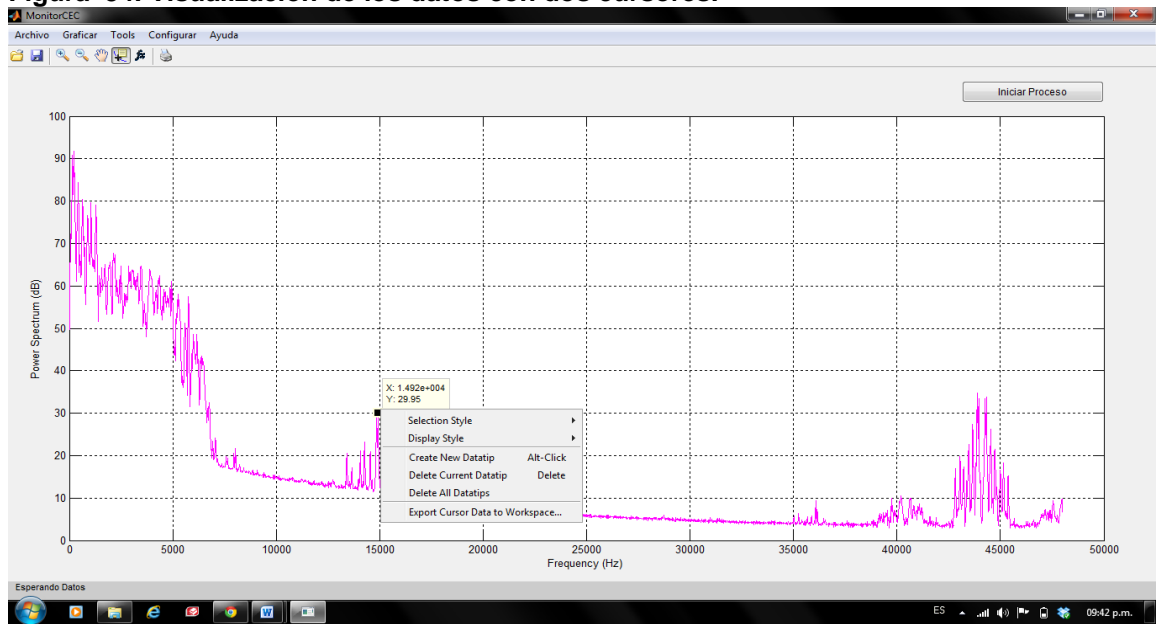
>> Con el ícono  activo solo basta con dar click en el punto de la señal que se quiere determinar las coordenadas (X, Y).

Figura 33. Visualización de los datos con la Opción cursor.



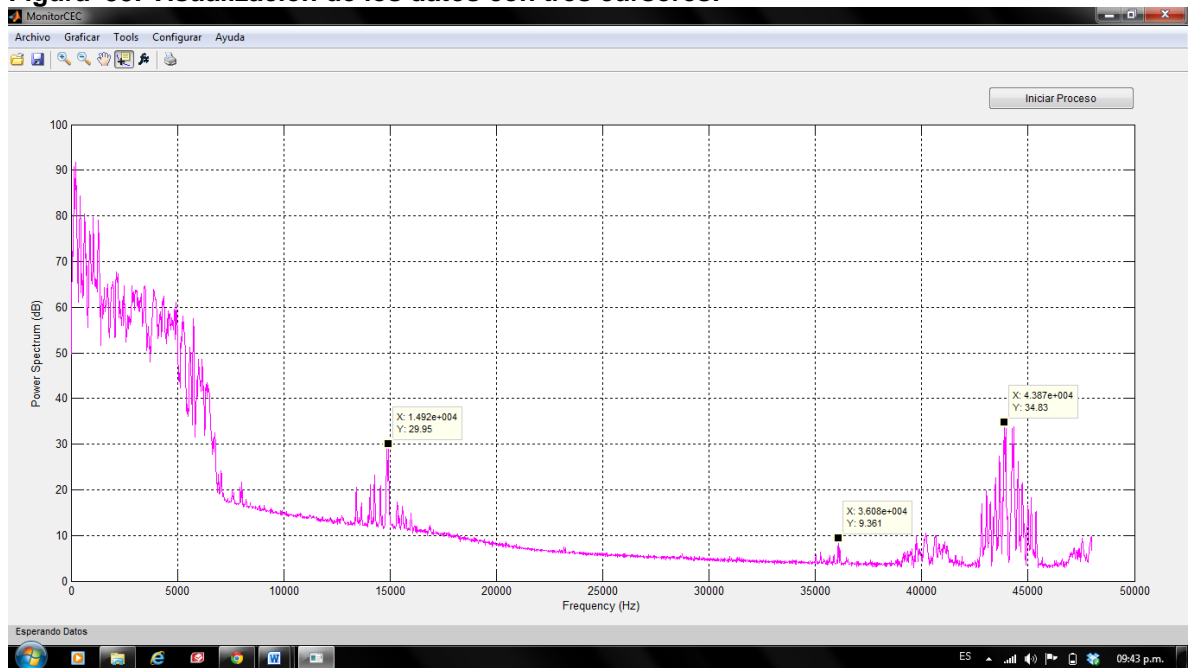
Para crear más cursores solo basta con dar click derecho en la gráfica Click>>Create New Datatip.

**Figura 34. Visualización de los datos con dos cursores.**



Click>>Create New Datatip.

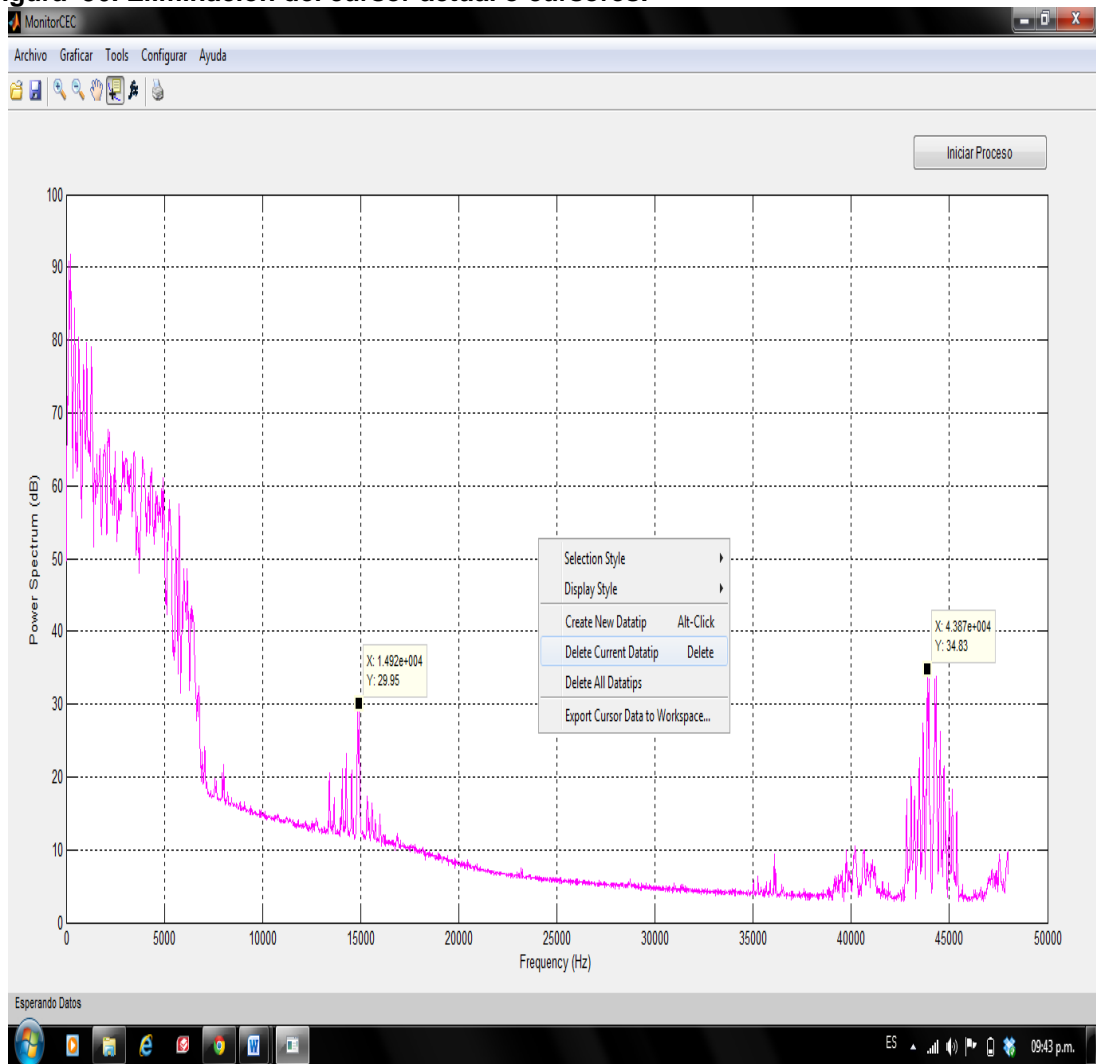
**Figura 35. Visualización de los datos con tres cursores.**



Para eliminar todos los cursores solo basta con dar click derecho en la imagen y click>>Delete All Datatips.

Para eliminar el ultimo cursosos puesto, solo basta con dar click derecho en la imagen y click>>Delete Current Datatips.

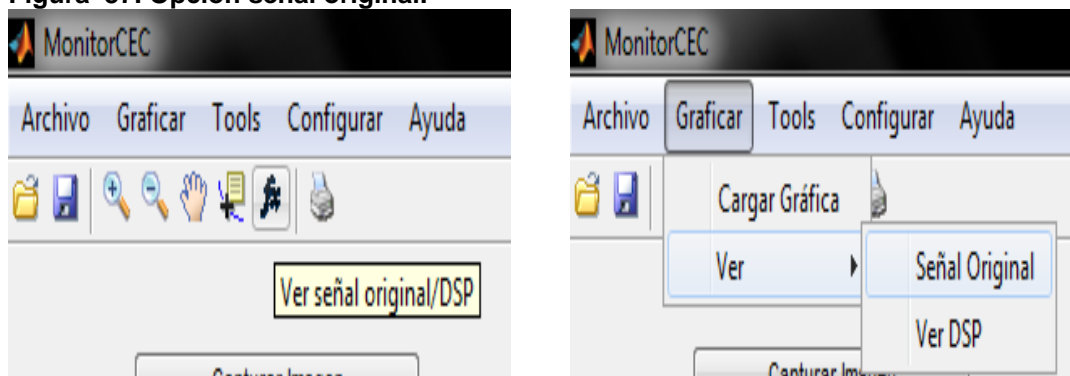
**Figura 36. Eliminación del cursor actual o cursores.**



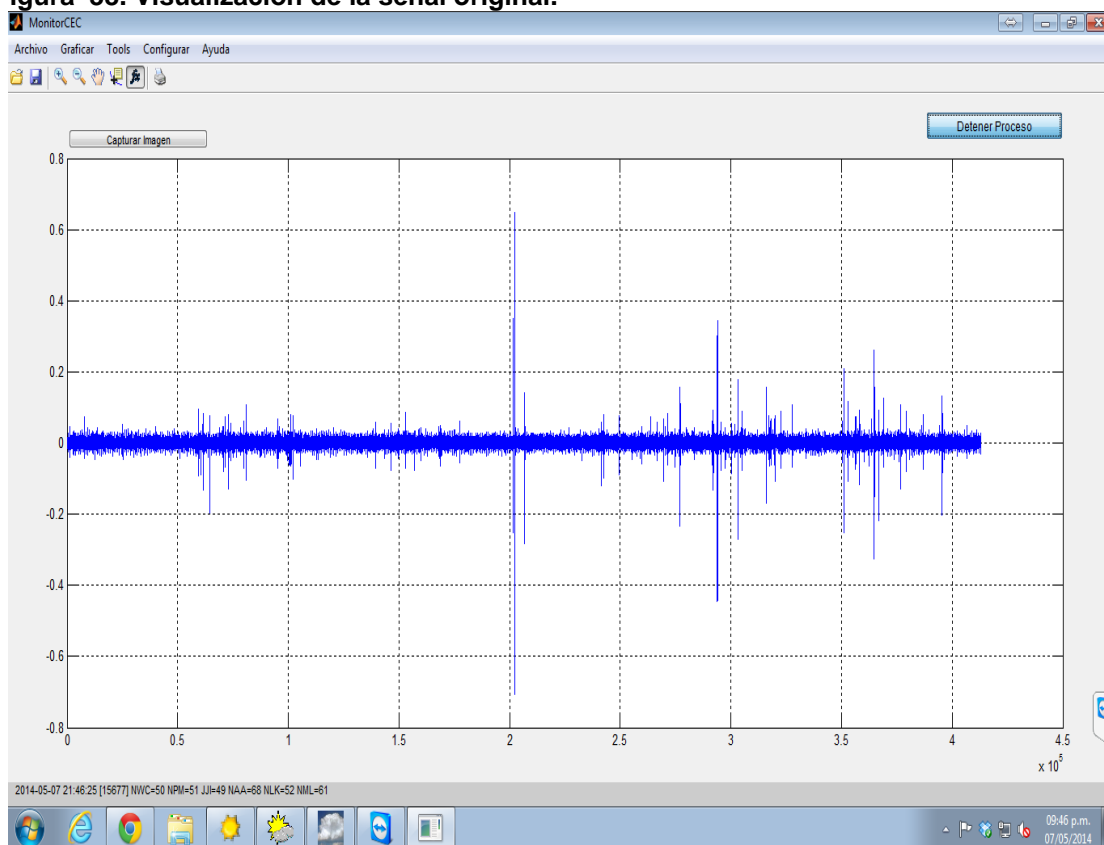
## 6.7. Opción Ver señal original

Esta opción sirve para graficar la señal original mientras se están obteniendo los datos en tiempo real.

**Figura 37. Opción señal original.**



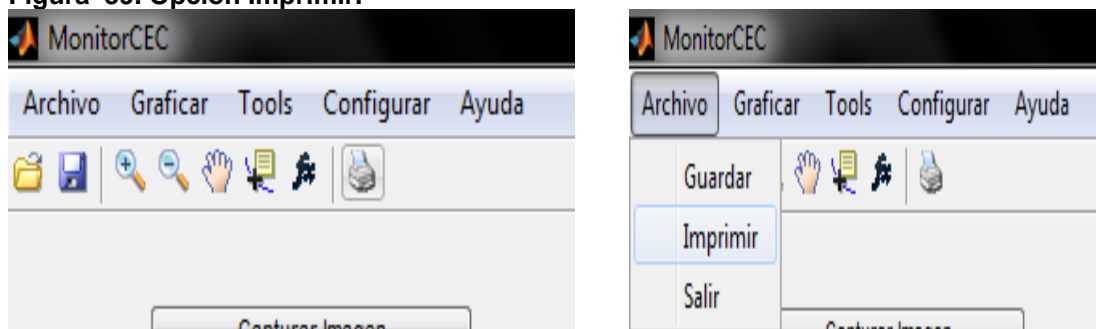
**Figura 38. Visualización de la señal original.**



## 6.8. Opción Imprimir

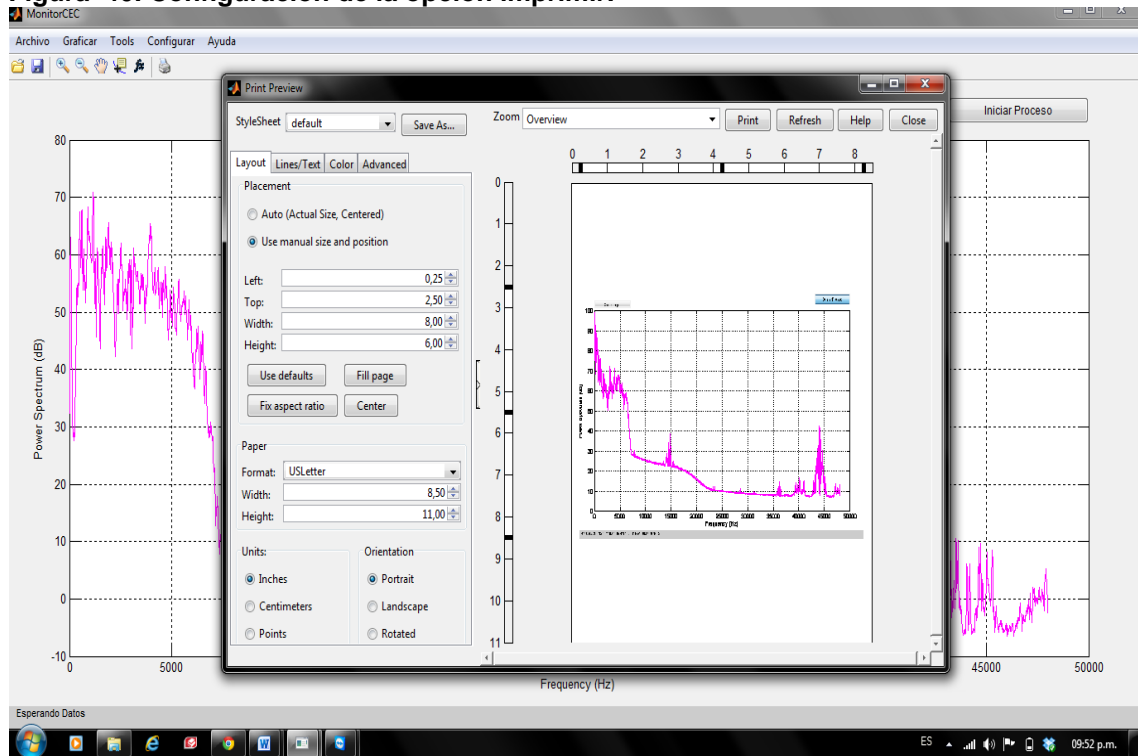
Esta opción sirve para imprimir lo que se esté visualizando actualmente en el software, esta función corre aunque se estén obteniendo los datos en tiempo real.

**Figura 39. Opción Imprimir.**



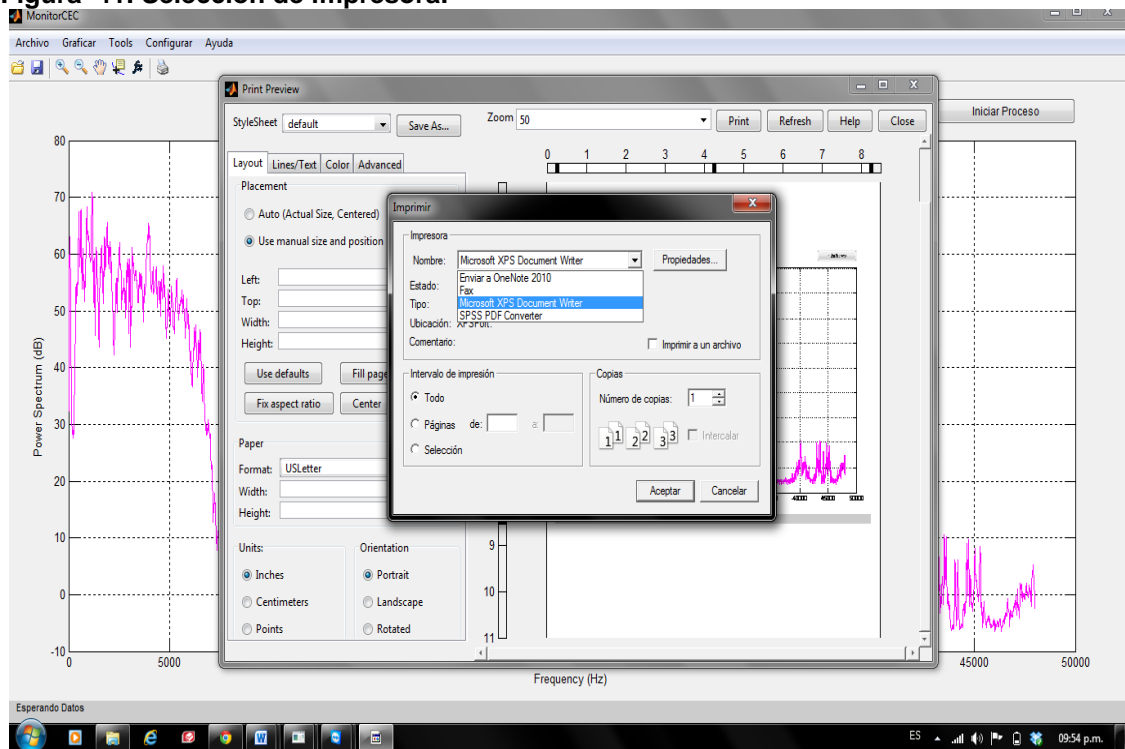
Click>>Imprimir, podemos ver la vista preliminar, seleccionar el tamaño, seleccionar el tipo de impresión si en escala de grises, blanco y negro y/o color, modificar el tamaño y tipo de papel, tipo de líneas, las unidades y la orientación del papel.

**Figura 40. Configuración de la opción imprimir.**



Click>>Ok, aparece el tipo de impresora y si se tienen instalada una impresora digital PDF se puede grabar en un archivo PDF.

**Figura 41. Selección de impresora.**



## 6.9. Opción Ver Ayuda

Esta opción sirve para ver la ayuda del software en un archivo PDF.

Figura 42. Opción ayuda.

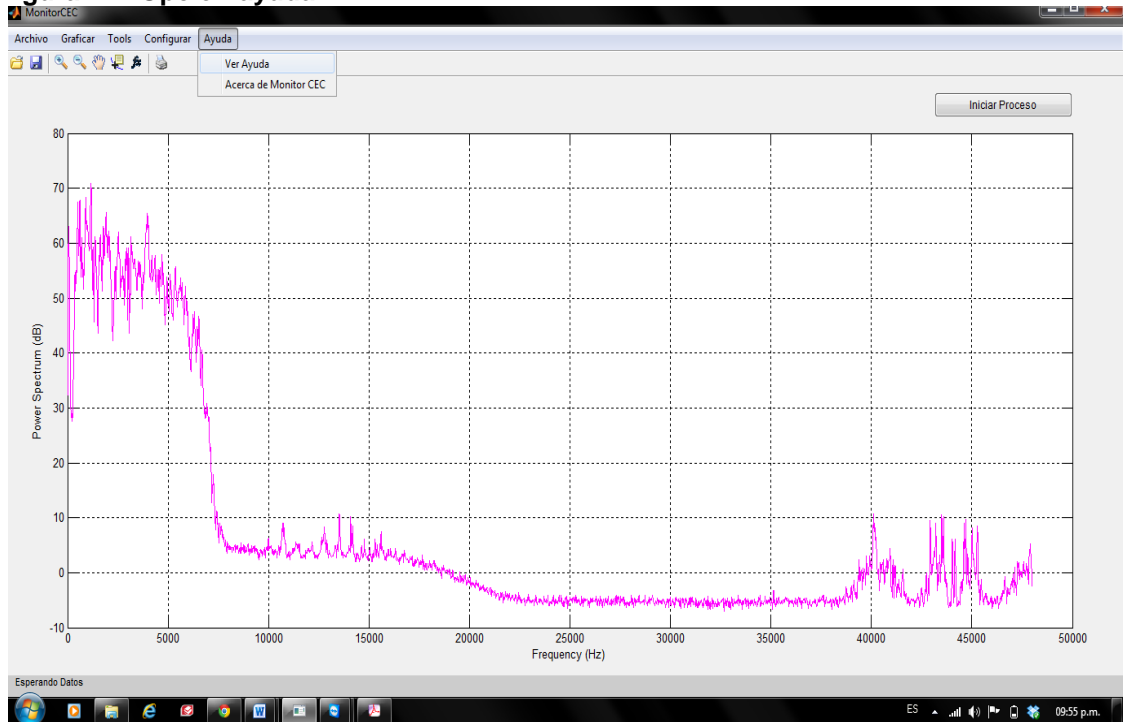
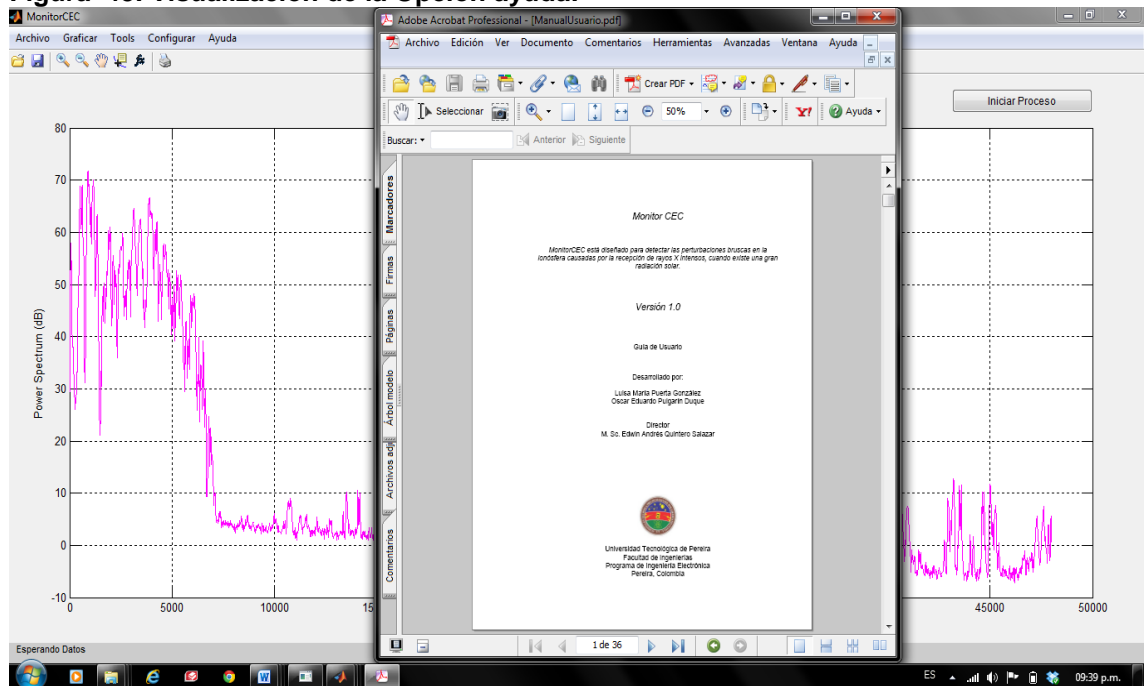


Figura 43. Visualización de la Opción ayuda.



## 6.10. Opción Acerca de

Esta opción sirve para ver un resumen del propósito del software.

Figura 44. Opción Acerca de.

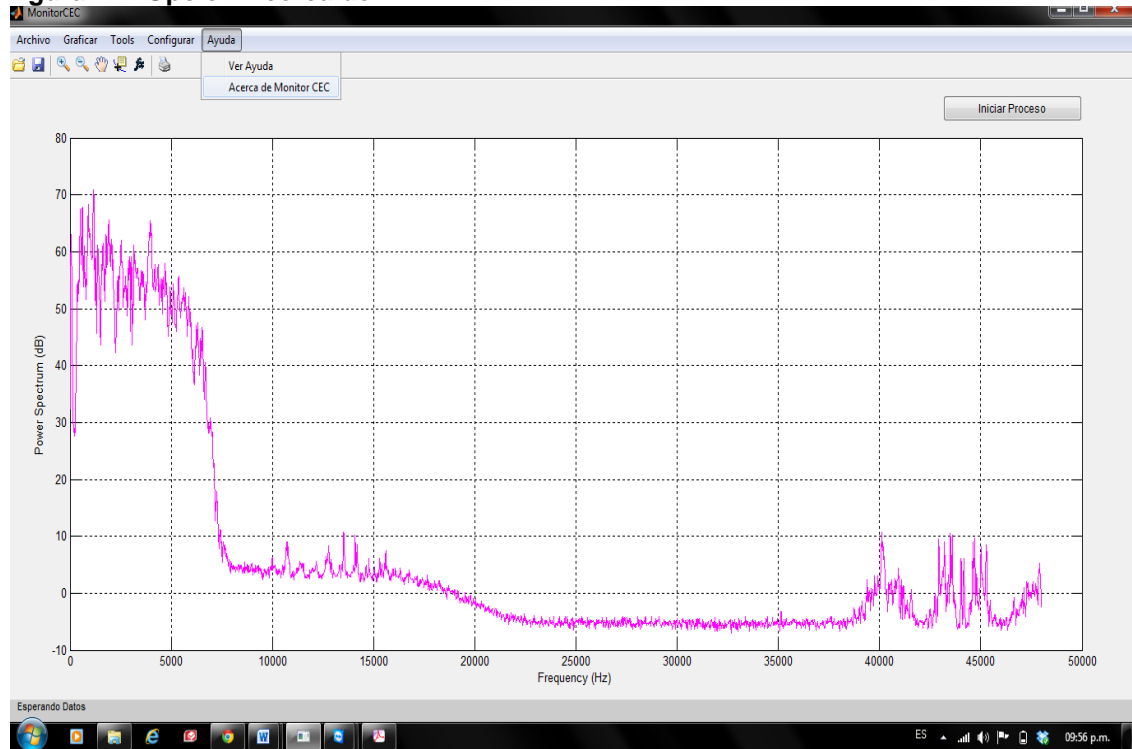
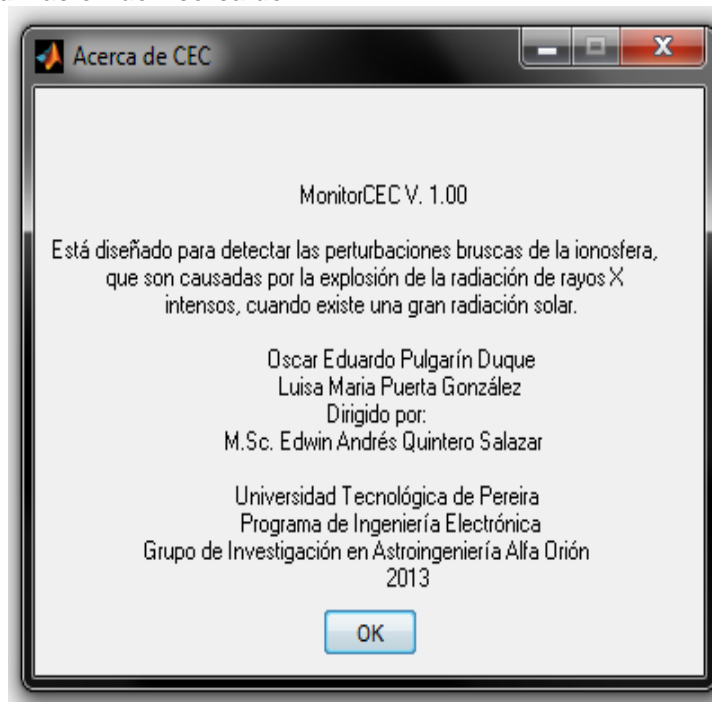


Figura 45. Visualización de Acerca de.

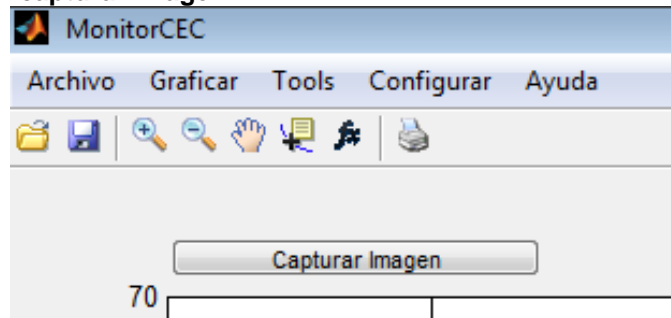




## 6.11. Opción Capturar imagen.

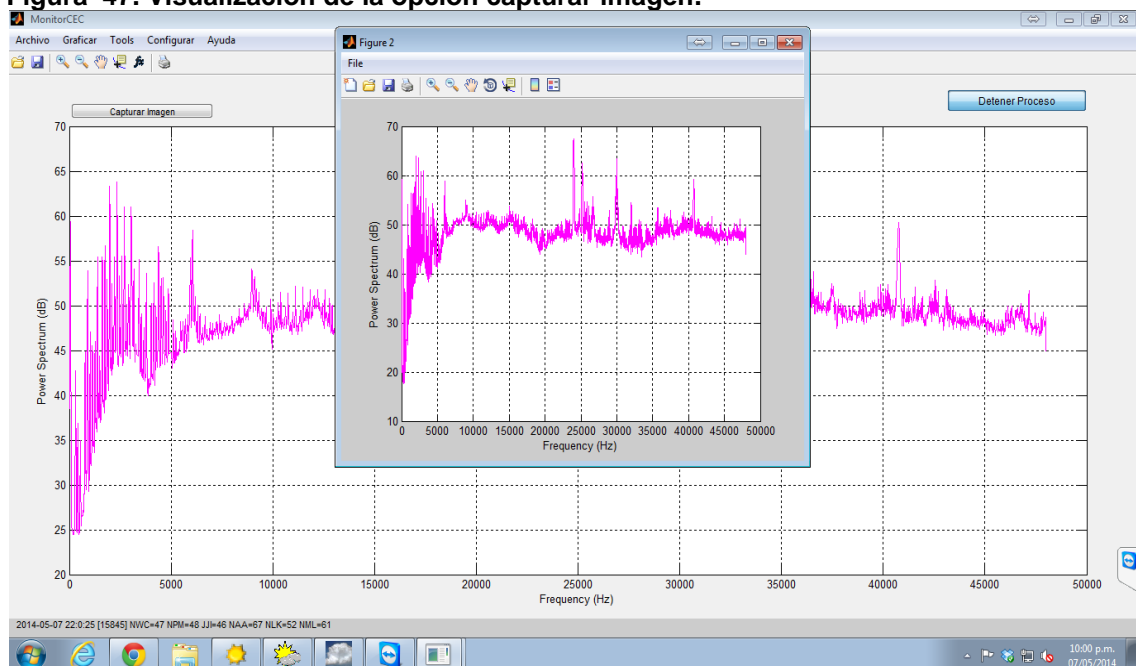
Esta herramienta permite que el observador de la aplicación pueda tomar una imagen instantánea de la gráfica para ser guardada en caso que se evidencie un cambio brusco en la forma de la señal.

Figura 46. Opción capturar imagen.



Al dar click en la opción capturar imagen se observa en una ventana aparte la señal que está actualmente en pantalla, como se ilustra en la Figura 47.

Figura 47. Visualización de la opción capturar imagen.



## ANEXO B

### CÓDIGO FUENTE APLICATIVO MONITORCEC

```
%% Definimos la funcion general de la aplicación
function varargout = MonitorCEC(varargin)
% MONITORCEC MATLAB code for MonitorCEC.fig
% MONITORCEC, by itself, creates a new MONITORCEC or raises the
existing
% singleton*.
%
% = MONITORCEC returns the handle to a new MONITORCEC or the handle to
% the existing singleton*.
%
% MONITORCEC('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
local
% function named CALLBACK in MONITORCEC.M with the given input
arguments.
%
% MONITORCEC('Property','Value',...) creates a new MONITORCEC or
raises the existing singleton*. Starting from the left, property
value pairs are
% applied to the GUI before MonitorCEC_OpeningFcn gets called.
An
% unrecognized property name or invalid value makes property
application
% stop. All inputs are passed to MonitorCEC_OpeningFcn via
varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help MonitorCEC

% Last Modified by GUIDE v2.5 14-Feb-2014 15:53:38

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',           mfilename, ...
                  'gui_Singleton',     gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',    @MonitorCEC_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',     @MonitorCEC_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',     [] , ...
                  'gui_Callback',      []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
```

```

end
% End initialization code - DO NOT EDIT %% Inicialización del código

% --- Executes just before MonitorCEC is made visible.
function MonitorCEC_OpeningFcn(hObject, ~, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to MonitorCEC (see VARARGIN)

% Choose default command line output for MonitorCEC
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes MonitorCEC wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = MonitorCEC_OutputFcn(hObject, ~, handles)

%% Cargamos la GUI para configurar entrada de audio

salida= daqhwinfo('winsound'); %% Reconocemos entrada y salida de
audio
tarjetas=salida.BoardNames;

in = listdlg('PromptString','Seleccione la entrada de sonido',...
            'SelectionMode','single',...
            'ListString',tarjetas,'ListSize',[300 300]);

% Finalizamos la configuración de entrada de audio
% Guardamos la variable canal que define el tipo de entrada de audio
if ( isempty(in))
    set(handles.togglebutton1,'Visible','off');
    waitfor( errordlg('Debe seleccionar un canal para poder iniciar la
aplicación',...
                    'Alerta!','OK'));
else
    set(handles.togglebutton1,'Visible','on');
end
handles.in=in;
% Finalización de la configuración de la entra de audio

%% Activamos el botón para iniciar el proceso de captura

%% Revisamos si es la primera vez que se ejecuta el programa
global datec;
datec=textscan('bin.txt',' %s');

```

```

varargout{1} = handles.output;

guidata(hObject,handles);
% -----
function archivo_menu_Callback(hObject, eventdata, handles) %%
Definimos las funciones los botones de la GUI
% hObject     handle to archivo_menu (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function graficar_menu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to graficar_menu (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function ayuda_menu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to ayuda_menu (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function menu_ayuda_verayuda_Callback(hObject, eventdata, handles)
%% Muestra la ayuda de software
winopen('ManualUsuario.pdf')
guidata(hObject,handles);

% -----
function menu_ayuda_acercaSID_Callback(hObject, eventdata, handles)

msgbox(sprintf('
MonitorCEC V. 1.00\n\nEstá diseñado para detectar las perturbaciones
bruscas de la ionosfera,\n                que son causadas por la explosión
de la radiación de rayos X\n                intensos, cuando
existe una gran radiación solar.\n\n
Oscar Eduardo Pulgarín Duque\n
Luisa Maria Puerta Gonzales\n\n
Universidad Tecnológica de Pereira\n
Programa de Ingeniería Electrónica\n                Grupo de
Investigación en Astroingeniería Alfa Orión\n
2013'),'Acerca de CEC');
th = findall(0, 'Tag','MessageBox' );

% -----
function menu_graficar_cargar_Callback(hObject, eventdata, handles)
%% Debe cargar la gráfica que se haya realizado con anterioridad
[FileName Path]=uigetfile({'*.xls'},'Abrir Documento'); %% Genera los
datos para la grafica principal
NameSave = ([Path FileName]);

```

```

SG=xlsread(NameSave,1,'C2:C17281');
h=17280

SG(1)= (SG(2)+SG(3))/2;
SG(17280)= (SG(17279)+SG(17278))/2;

for i=2:h-1    %% Se filtran valores de cero para que la graficas sean
de valor absoluto
    if (i~=1 || i~=h)
        if (SG(i)==0 )
            SG(i)= (SG(i-1)+SG(i+1))/2;
        end
    end
end

end

windowSize = 10;
SG=filter(ones(1,windowSize)/windowSize,1,SG)

ejex =linspace(0,24,17280); %% Se define el tamaño y la cantidad de
los datos
SG=SG';

j=size(ejex) %% Grafica de la señal de entrada en DSP
v=size(SG)
figure(1)
hold off
plot(ejex(1:4320),SG(1:4320),'b')
hold on
plot(ejex(4321:12961),SG(4321:12961),'y')
hold on
plot(ejex(12962:17280),SG(12962:17280),'b')
min(SG)
ylim([min(SG)-2 max(SG)+1])
xlabel ('Time GMT-5')
ylabel ('Power Spectrum(dB)')

grid on
hold on

guidata(hObject,handles);

% -----
function menu_graficar_ver_Callback(hObject, eventdata, handles) %%
Definimos las demas funciones del programa
% hObject    handle to menu_graficar_ver (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function menu_archivo_nuevo_Callback(hObject, eventdata, handles)
X=getframe(gca);
X=frame2im(X);
[FileName, PathName] = uiputfile('*.jpg', 'Save As');

```

```

imwrite(X,FileName,'jpg')
guidata(hObject,handles);

```

```

% -----
function menu_archivo_abrir_Callback(hObject, eventdata, handles)
%%% ojo aca se carga la señal

```

```

% -----
function menu_archivo_imprimir_Callback(hObject, eventdata, handles)
%% Se debe imprimir la imagen
X=getframe(gca);
printpreview()
guidata(hObject,handles);

```

```

% -----
function menu_archivo_salir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Función para salir de la plataforma
close all;

```

```

% -----
function menu_graficar_versenal_Callback(hObject, eventdata, handles)
%% Debe mostrar señal Capturada
global l1;
l1=1;
hold off;
guidata(hObject,handles);

```

```

% -----
function menu_graficar_verDPS_Callback(hObject, eventdata, handles)
%% Debe mostrar pestaña de señal DSP
global l1;
l1=0;
hold off;
guidata(hObject,handles);

```

```

% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes on button press in togglebutton1.
function togglebutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

global NWC NPM JJI NAA NLK NML cont fecha3 datec k;

% %Verificamos el estado del toggle button
k=get(handles.togglebutton1, 'Value');
if (k==1)
    set(handles.togglebutton1, 'String', 'Detener Proceso');
    set(handles.pushbutton11,'Visible','on');
else
    set(handles.togglebutton1, 'String', 'Iniciar Proceso');
    set(handles.pushbutton11,'Visible','off');
end

set(handles.axes1, 'Visible', 'on');
grid on;

% Creamos la entrada de audio
AI= analoginput('winsound');
% Adicionamos el canal
addchannel(AI,handles.in);
% Configuramos el tiempo de muestreo y la duración

cont=0;
Periodo=4.3; % Periodo en segundos
SampleRate = 96000; % Máximo tmuestreo soportado

% Enviamos los datos de muestreo y duración al canal
set(AI, 'SampleRate', SampleRate);
set(AI, 'SamplesPerTrigger', Periodo*SampleRate);
% creación de bandera para archivos nuevos
% cuando inicia un nuevo día

global l1;
l1=0;

%Inicializamos variables para el calculo de la DPS
%para ahorrar memoria en Matlab
pxx=zeros(2501,1);
f=zeros(2501,1);
Pxx=zeros(2501,1);

```

```

while(k==1)

% Calculamos el valor de tiempo donde deben almacenarse los datos
c=round(clock);
while( mod(c(6),5) || c(6)==0 );
    c=round(clock);
end

% Calculamos la variable i para saber en que punto de la tabla excel
% metemos los nuevos valores calculados donde:
%     c(4)= horas,     c(5)= minutos,     c(6)= segundos

i=((c(4)*60*60)+(c(5)*60)+c(6))/5;

%% CÁLCULO DE LA HORA Y FECHA EN TIEMPO REAL
%Ajustamos la fecha y hora en tiempo real
ano=num2str(c(1));
mes=num2str(c(2));
dia=num2str(c(3));

%Si el mes o el día es de solo un dato entonces le pones un
cero
%para completarlo
if (length(mes)==1)
    mes=strcat('0',mes);
end
if (length(dia)==1)
    dia=strcat('0',dia);
end
% Guardamos la fecha real

fecha3=[ano, '-',mes, '-',dia];

datec=textread('bin.txt',' %s');
datec=char(datec);

%% Comparamos fechas si es fecha diferente a la actual
if(strcmp(datec , fecha3)~=1)

    %Guardamos datos almacenados en el día
    GuardarDatos();

    NWC(1:17280)=zeros;
    NPM(1:17280)=zeros;
    JJI(1:17280)=zeros;
    NAA(1:17280)=zeros;
    NLK(1:17280)=zeros;
    NML(1:17280)=zeros;

    [~,struc] = fileattrib;
    PathCurrent = struc.Name;
    PathFolder= ([PathCurrent '/Datos/']);

```



```

buffer_name=strcat('Buffer_Actual','.xls');
NameBF = ([PathFolder (buffer_name)]);

senales = {'NWC' 'NPM' 'JJI' 'NAA' 'NLK' 'NML'};
xlswrite(NameBF, {fecha3}, 1, 'A1');
xlswrite(NameBF, senales, 1, 'A2');
xlswrite(NameBF, NWC, 1, 'A3');
xlswrite(NameBF, NPM, 1, 'B3');
xlswrite(NameBF, JJI, 1, 'C3');
xlswrite(NameBF, NAA, 1, 'D3');
xlswrite(NameBF, NLK, 1, 'E3');
xlswrite(NameBF, NML, 1, 'F3');
end

% Configuramos la tarjeta para iniciar la adquisición
start(AI);
wait(AI,Periodo*1.003);

%----- Guarda los datos de la memoria en una variable en el
espacio de trabajo----
data=getdata(AI);

handles.data= data;

if (l1==1)
    % Vector eje X para graficar la señal original
    N=length(data);
    t(N)=zeros;
    parfor j=1:N
        t(j)=j;
    end
    set(handles.axes1,'Visible','off');
    set(handles.axes2,'Visible','on');
    axes(handles.axes2);
    plot(t,data)
    hold off
    grid on
end

%% _____ GRAFICA DE LA SEÑAL ACTUAL _____

%%

%% CÁLCULO Y GRÁFICA DE LA DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA
% mediante la aproximación pwelch con oversampling=1024
[pxx,f] = pwelch(data,5000,1024,5000,SampleRate);

handles.f=f;

```

```

    Pxx= 10.4*log10(pxx)+143; %% Valor determinado para que la señal
se muestre en dB

    handles.Pxx=Pxx;

    guidata(hObject,handles);

    if (l1==0)
        set(handles.axes2,'Visible','off');
        set(handles.axes1,'Visible','on');
        % Graficamos la DSP
        axes(handles.axes1);
        plot(f,Pxx,'m')
        hold off

set(gca,'XTickLabel',{'0','5000','10000','15000','20000','25000','3000
0','35000','40000','45000','50000'})
        grid on
        xlabel('Frequency (Hz)'); ylabel('Power Spectrum (dB)');
    end

%% FIN DEL CÁLCULO DE LA DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA

%% ALMACENAMIENTO DE LAS SEÑALES DE INTERÉS (NWC,NPW,JJI,NAA,NLK y
NML)
%% DEFINIDO PARA LAS ESTACIONES MAS CERCANAS EL MONITOR CEC SOLO
TOMARA COMO BASE LA ESTACIÓN NAA

    NWC(i)=Pxx(1033);
        if (NWC(i)<=0)
            NWC(i)=0;
        end
    NPM(i)=Pxx(1116);
        if (NPM(i)<=0)
            NPM(i)=0;
        end
    JJI(i)=Pxx(1158);
        if (JJJ(i)<=0)
            JJI(i)=0;
        end
    NAA(i)=Pxx(1251);
        if (NAA(i)<=0)
            NAA(i)=0;
        end
    NLK(i)=Pxx(1293);
        if (NLK(i)<=0)
            NLK(i)=0;
        end
    NML(i)=Pxx(1314);
        if (NML(i)<=0)
            NML(i)=0;
        end

    cont=cont+1;

    %% Cada 36 muestras se graban temporalmente los datos (5 minutos)

```

```

if(cont==36)
    %Creamos los nombres de cada archivo
    [stat,struct] = fileattrib;
    PathCurrent = struct.Name;
    PathFolder= ([PathCurrent '/Datos/']);
    buffer_name=strcat('Buffer_Actual','.xls');
    NameBF = ([PathFolder (buffer_name)]);

    % Si el archivo de excel está abierto lo cierra
    file = fopen(NameBF, 'a');
    if file ~= -1
        fclose(file);
    else
        while (file == -1)
            wbkname = 'Buffer_Actual.xls';
            h = actxGetRunningServer('Excel.Application');
            h.WorkBooks.Item(wbkname).Save;
h.WorkBooks.Item(wbkname).Close;
            file = fopen(NameBF, 'a');
        end
        fclose(file);
    end

    senales = {'NWC' 'NPM' 'JJI' 'NAA' 'NLK' 'NML'};
    xlswrite(NameBF, {fecha3}, 1, 'A1');
    xlswrite(NameBF, senales, 1, 'A2');
    xlswrite(NameBF, NWC, 1, 'A3');
    xlswrite(NameBF, NPM, 1, 'B3');
    xlswrite(NameBF, JJI, 1, 'C3');
    xlswrite(NameBF, NAA, 1, 'D3');
    xlswrite(NameBF, NLK, 1, 'E3');
    xlswrite(NameBF, NML, 1, 'F3');
    %Reiniciamos el contador para grabar datos temporales
    cont=0;

end

    texto=[' ',fecha3,'
',int2str(c(4)),':',int2str(c(5)),':',int2str(c(6)), ' [',int2str(i),']
NWC='...
        int2str(floor( NWC(i))) , ' NPM=', int2str(floor(NPM(i))), '
JJI=', int2str(floor(JJI(i)))...
        ' NAA=', int2str(floor(NAA(i))), ' NLK=',
int2str(floor(NLK(i))), ' NML=', int2str(floor(NML(i)))];

    set(handles.text1, 'String',texto); % Imprimimos los datos en la
barra inferior del programa

    k=get(handles.togglebutton1, 'Value'); % Verifica el estado del
toogle button

end

%% Eliminamos el canal de recepción de datos.
delete(AI);
set(handles.text1, 'String',' Esperando Datos'); % Imprimimos los
datos en la barra inferior del programa

```

```

% -----
-----
guidata(hObject,handles);

% --- Executes on button press in pb_with_bg.
function pb_with_bg_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function togglebutton1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to togglebutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% --- Executes on button press in togglebutton2.
function togglebutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to togglebutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of togglebutton2

% --- Executes on button press in togglebutton3.
function togglebutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to togglebutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of togglebutton3

% --- Executes on button press in radiobutton1.
function radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes on button press in radiobutton2.
function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton2

% --- Executes on button press in pushbutton4.

```

```

function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes on button press in radiobutton3.
function radiobutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to radiobutton3 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton3

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1
%        as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
%              called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton5.
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)

% -----
function uitoggletool1_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to uitoggletool1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2
as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton7.
function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton7 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton8.
function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton8 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in checkbox1.
function checkbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to checkbox1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox1

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% -----
function config_menu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to config_menu (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
%%FUNCION PARA BOTON DE CONFIGURAR ENTRADA DE AUDIO MANUALMENTE

function menu_configurar_audioinput_Callback(hObject, eventdata,
handles)
salida= daqhwinfo('winsound');
tarjetas=salida.BoardNames;

in = listdlg('PromptString','Seleccione la entrada de sonido',...
            'SelectionMode','single',...
            'ListString',tarjetas,'ListSize',[300 300]);

if ( isempty(in))
    set(handles.togglebutton1,'Visible','off');
    waitfor( errordlg('Debe seleccionar un canal para poder iniciar la
aplicación',...
                    'Alerta!','OK'));
else
    set(handles.togglebutton1,'Visible','on');
end
handles.in=in;

guidata(hObject,handles);

% --- Executes when figure1 is resized.
function figure1_ResizeFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to figure1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----

```

```

function tools_menu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to tools_menu (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function menu_tools_mover_Callback(hObject, eventdata, handles)
axes(handles.axes1)
zoom off
pan on
guidata(hObject,handles);

% -----
function menu_tools_zoom_Callback(hObject, eventdata, handles)
axes(handles.axes1)
zoom on
pan off
guidata(hObject,handles);

% -----
function menu_tools_cursor_Callback(hObject, eventdata, handles)
axes(handles.axes1)
datacursormode on
guidata(hObject,handles);

% --- Executes on button press in pushbutton10.
function pushbutton10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function uipushtool4_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)

% -----
function uitoggletool9_OnCallback(hObject, eventdata, handles)
global l1;
l1=1;
hold off;
guidata(hObject,handles);

% -----
function uitoggletool9_OffCallback(hObject, eventdata, handles)
global l1;
l1=0;
hold off;
guidata(hObject,handles);

```



```

% --- Executes when user attempts to close figure1.

%% SE DEFINE CIERRE DE LA APLICACION
function figure1_CloseRequestFcn(hObject, eventdata, handles)
global k;

opc=questdlg('¿Desea salir del programa y guardar los cambios?',...
            'SALIR', 'Si', 'No', 'No');
if strcmp(opc, 'No')
    return;
end

waitfor( warndlg('Por favor recuerde cerrar todos los archivos de
Excel asociados a este software y oprimir OK ',...
                'Advertencia !', 'OK'));
GuardarDatos();

waitfor( warndlg('Datos Guardados Exitosamente!', 'Datos
Guardados', 'OK'));

delete(hObject);

% -----

%% FUNCIONES PARA GRAFICAR DATOS GUARDADOS
function uipushtool3_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)

[FileName Path]=uigetfile({'*.xls'}, 'Abrir Documento');
NameSave = ([Path FileName]);
SG=xlsread(NameSave,1, 'C2:C17281');

ejex =linspace(0,24,17280);
SG=SG';

figure(1)

hold off
plot(ejex(1:4320),SG(1:4320), 'b')
hold on
plot(ejex(4321:12961),SG(4321:12961), 'y')
hold on
plot(ejex(12962:17280),SG(12962:17280), 'b')
grid on
hold on

guidata(hObject,handles);

% -----
function uipushtool5_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)

X=getframe(gca);
X=frame2im(X);

```

```
[FileName, PathName] = uiputfile('*.jpg', 'Save As');
imwrite(X,FileName,'jpg')
guidata(hObject,handles);
```

```
% -----
function Open_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
[FileName Path]=uigetfile({'*.xls'}, 'Abrir Documento');
NameSave = ([Path FileName]);
SG=xlsread(NameSave,1, 'C2:C17281');
```

```
ejex =linspace(0,24,17280);
SG=SG';
```

```
figure(1)
hold off
plot(ejex(1:4320),SG(1:4320),'b')
hold on
plot(ejex(4321:12961),SG(4321:12961),'y')
hold on
plot(ejex(12962:17280),SG(12962:17280),'b')
grid on
hold on
```

```
guidata(hObject,handles);
```

```
% -----
function uipushtool2_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
%% Se debe imprimir la imagen
X=getframe(gca);
printpreview()
guidata(hObject,handles);
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton11.
function pushbutton11_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
figure(2)
```

```
plot(handles.f,handles.Pxx,'m')
hold off
```

```
set(gca,'XTickLabel',{'0','5000','10000','15000','20000','25000','30000',
'35000','40000','45000','50000'})
grid on
xlabel('Frequency (Hz)'); ylabel('Power Spectrum (dB)');
```

```
guidata(hObject,handles);
```

## ANEXO C

### ESCALA DE CLIMA ESPACIAL DE NOAA

Categoría		Efectos	Parámetro Físico	Frecuencia Promedio (1 ciclo = 11 años)
Escala	Descripción	La duración del evento influye en la severidad de los efectos		
<b>Tormentas Geomagnéticas</b>			Valores de Kp* determinados cada 3 horas	Número de tormentas para el valor de Kp señalado; (tormentas días)
<b>G 5</b>	Extremo	<p><u>Sistemas Eléctricos de Trasmisión:</u> Amplios problemas de control del voltaje y de los sistemas de protección. Algunas redes de trasmisión pueden colapsar, y los transformadores pueden llegar a sufrir daños.</p> <p><u>Operaciones de sistemas espaciales:</u> Inducción de carga eléctrica superficial extensiva, dificultades con la orientación, problemas con los enlaces y el seguimiento de satélites.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> La corriente inducida en las redes de combustibles es de cientos de amperes, en extensas áreas se bloquean las ondas de radio de alta frecuencia (HF) por varios días, se afecta la navegación por satélites durante un intervalo similar, se bloquea por horas la navegación por señales de baja frecuencia, y pueden verse auroras en zonas como Florida y el sur de Texas (típicamente 40° de latitud geomagnética)**.</p>	Kp = 9	4 por ciclo (4 días por ciclo)
<b>G 4</b>	Severo	<p><u>Sistemas Eléctricos de Trasmisión:</u> Posibilidad de amplios problemas de control del voltaje y de los sistemas de protección, irregular funcionamiento de la red de trasmisión.</p> <p><u>Operaciones de sistemas espaciales:</u> Posibilidad de inducción de carga eléctrica superficial y de dificultades con el seguimiento, se podrían requerir correcciones a los problemas de orientación.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> La inducción eléctrica en las redes de distribución de combustibles afecta las medidas preventivas, hay bloqueos esporádicos de señales de radio de HF, se afecta durante varias horas la navegación por satélites, se afecta la navegación por baja frecuencia, la aurora ha sido observada hasta en Alabama y el norte de California (típicamente 45° de latitud geomagnética)**.</p>	Kp = 8, incluyen do a 9-	100 por ciclo (60 días por ciclo)
<b>G 3</b>	Fuerte	<p><u>Sistemas Eléctricos de Trasmisión:</u> Se podrían requerir acciones de control del voltaje, se disparan en falso las alarmas de protección.</p> <p><u>Operaciones de sistemas espaciales:</u> Posibilidad de inducción de carga eléctrica en los componentes,</p>	Kp = 7	200 por ciclo (130 días por ciclo)

		<p>puede ocurrir un incremento de la razón de decaimiento de satélites de órbitas bajas, podrían requerirse correcciones de la orientación.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> Intermitencia en la navegación por satélites y por señales de baja frecuencia, señales de radio de HF intermitentes, la aurora ha sido observada hasta en Illinois y Oregon (típicamente 50° de latitud geomagnética)**.</p>		
<b>G 2</b>	Moderado	<p><u>Sistemas Eléctricos de Trasmisión:</u> Pueden producirse alarmas de voltaje en los sistemas de distribución de altas latitudes. Tormentas de larga duración pueden producir daño en transformadores.</p> <p><u>Operaciones de sistemas espaciales:</u> Se requieren acciones correctivas por el centro de control, los cambios en el decaimiento de los satélites afectan los cálculos de órbitas.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> La propagación de señales de HF se desvanece a altas latitudes, la aurora se ha visto hasta en New York e Idaho (típicamente 55° de latitud geomagnética)**.</p>	Kp = 6	600 por ciclo (360 días por ciclo)
<b>G 1</b>	Menor	<p><u>Sistemas Eléctricos de Trasmisión:</u> Débiles fluctuaciones de potencia.</p> <p><u>Operaciones de sistemas espaciales:</u> Afectaciones menores a la operación de satélites.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> Los animales migratorios se ven afectados a este y a niveles superiores. La aurora se ve comúnmente a altas latitudes (Norte de Maine y Michigan)**.</p>	Kp = 5	1700 por ciclo (900 días por ciclo)

\* Puede ser substituido por otras medidas, como el DST.

\*\* Para determinar la posibilidad de observar la aurora en lugares específicos, utilice el valor local de la latitud geomagnética (vea [www.sec.noaa.gov/Aurora](http://www.sec.noaa.gov/Aurora))

<b>Tormentas de Radiación Solar</b>			Nivel de flujo >10 MeV partículas (iones)*	Número de eventos para el nivel de flujo señalado; tormentas días**
<b>S 5</b>	Extremo	<p><u>Biológicos:</u> Peligro inevitable de alta radiación para astronautas en AEV (actividades extra-vehiculares); son posibles altos niveles de radiación para pasajeros y tripulación de naves aéreas comerciales a altas latitudes (equivalente a unas 100 radiografías del torso).</p> <p><u>Operaciones de satélites:</u> Pérdida de algunos satélites, daños en memoria provocan pérdida de control, intenso ruido en datos de imágenes, los seguidores de estrellas no pueden localizar las fuentes, daño permanente a paneles solares.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> No se pueden establecer comunicaciones HF (alta frecuencia) en las regiones polares, los errores en los sistemas de posicionamiento hacen la navegación extremadamente difícil.</p>	10 <sup>5</sup>	Menos que 1 por ciclo
<b>S 4</b>	Severo	<p><u>Biológicos:</u> Peligro inevitable de alta radiación para astronautas en AEV; son posibles altos niveles de radiación para pasajeros y tripulación de naves aéreas comerciales a altas latitudes (equivalente a unas 10 radiografías del torso).</p>	10 <sup>4</sup>	3 por ciclo

		<p><u>Operaciones de satélites:</u> Dificultades con los dispositivos de memoria, ruidos en sistemas de imágenes, malfuncionamiento en los localizadores de estrellas causan problemas de orientación, los paneles solares son afectados.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> Bloqueo de las comunicaciones HF a través de las regiones polares, incremento en los errores de navegación durante varios días.</p>		
S 3	Fuerte	<p><u>Biológicos:</u> Se recomienda que los astronautas en AEV eviten los peligros de radiación; son posibles bajos niveles de radiación para pasajeros y tripulación de naves aéreas comerciales a altas latitudes (equivalente a 1 radiografía del torso).</p> <p><u>Operaciones de satélites:</u> Ocurrencia de eventos simples, ruido en las señales de imágenes, es posible ligera disminución de la eficiencia de los paneles solares.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> Se deteriora la radio comunicación HF a través de las regiones polares, posibilidad de algunos errores en los sistemas de navegación.</p>	10 <sup>3</sup>	10 por ciclo
S 2	Moderado	<p><u>Biológicos:</u> Ningún efecto.</p> <p><u>Operaciones de satélites:</u> Baja probabilidad de ocurrencia de eventos simples.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> Efectos no importantes en la propagación HF y en los sistemas de navegación a través de las regiones polares.</p>	10 <sup>2</sup>	25 por ciclo
S 1	Menor	<p><u>Biológicos:</u> Ningún efecto.</p> <p><u>Operaciones de satélites:</u> Ningún efecto.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> Afectaciones menores a las señales HF en las regiones polares.</p>	10	50 por ciclo

\* Los niveles de flujo son promedios sobre 5 minutos, en partículas  $s^{-1} \cdot ster^{-1} \cdot cm^{-2}$ . Basado en esta medida, pero otras medidas físicas pueden también ser consideradas. \*\* Estos eventos pueden permanecer por más de un día.

<b>Bloqueos de Radio</b>			Brillo pico de rayos X de GOES por clases (y por flujo*)	Número de eventos para el nivel de flujo señalado ; (tormentas días)
R 5	Extremo	<p><u>Radio HF:</u> Bloqueo completo por varias horas de HF (altas frecuencias**) en todo el lado diurno terrestre. Esto resulta en que no hay comunicación HF con marineros o aviadores en este sector</p> <p><u>Navegación:</u> Se interrumpen por varias horas las señales de baja frecuencia utilizadas por los sistemas de navegación en el lado diurno del planeta, provocando pérdidas en los sistemas de posicionamiento. Durante un período similar, se incrementan los errores de los sistemas de navegación por satélites en el lado diurno, lo que puede extenderse al lado nocturno de la Tierra.</p>	X20 ( $2 \times 10^{-3}$ )	Menos de 1 por ciclo
R 4	Severo	<p><u>Radio HF:</u> Bloqueo de HF por una a dos horas, durante este tiempo se pierde el contacto por radio HF. <u>Navegación:</u> Las interrupciones por una a dos horas de las señales de navegación de baja frecuencia incrementan el error en los posicionamientos. Posibilidad de interrupciones menores en los sistemas de navegación por satélites en el lado diurno.</p>	X10 ( $10^{-3}$ )	8 por ciclo (8 días por ciclo)

<b>R 3</b>	Fuerte	<u>Radio HF</u> : Bloqueo de las señales HF en amplias áreas, pérdida durante cerca de una hora del contacto por radio en el lado diurno de la Tierra. <u>Navegación</u> : Disminución de la calidad de las señales de baja frecuencia durante aproximadamente una hora.	X1 (10 <sup>-4</sup> )	175 por ciclo (140 días por ciclo)
<b>R 2</b>	Moderado	<u>Radio HF</u> : Bloqueo limitado de las señales HF en el lado diurno, pérdida de radio contacto por decenas de minutos. <u>Navegación</u> : Alteración de las señales de navegación de baja frecuencia por decenas de minutos.	M5 (5x10 <sup>-5</sup> )	350 por ciclo (300 días por ciclo)
<b>R 1</b>	Menor	<u>Radio HF</u> : Afectaciones débiles o menores de las señales de HF en el lado diurno, pérdida ocasional de radio comunicación. <u>Navegación</u> : Alteraciones de corta duración de las señales de navegación de baja frecuencia.	M1 (10 <sup>-5</sup> )	2000 por ciclo (950 días por ciclo)

\* Flujo, medido en el rango de 0.1-0.8 nm, en W-m<sup>-2</sup>. Basado en esta medida, pero otras medidas físicas pueden también ser consideradas \*\* Otras frecuencias también pueden ser afectadas por estas condiciones.

Tomado de <http://www.swpc.noaa.gov/NOAAscales/SpanScales.pdf>