



A. PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERNO SIN FINANCIAMIENTO O AUTOGESTIONADO

1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Básica	X	Aplicada	
--------	---	----------	--

2. DEPARTAMENTO O INSTITUTO

1. Departamento de Física

2.

3. LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Astropartículas y gravitación

4. TÍTULO DEL PROYECTO *(mínimo 10 palabras):*

Desarrollo de modelo teórico para la determinación del campo geomagnético ecuatorial

5. RESUMEN *(máximo 200 palabras)*

El campo geomagnético es un parámetro de gran interés para el estudio de diversos fenómenos atmosféricos como la propagación de ondas electromagnéticas. La ionósfera terrestre puede ser caracterizada a través del estudio de la propagación de señales electromagnéticas que la atraviesan, como las señales del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Estudios que no se han realizado en nuestro medio, como tampoco se ha caracterizado el campo geomagnético en la zona del Ecuador.

Los modelos tradicionales de descripción de la propagación de ondas en el plasma ionosférico, no incluyen la afectación del campo magnético terrestre en los procesos de propagación. Es por ello que, en el presente proyecto, se plantea el desarrollo de un modelo en el que se considere la presencia del campo geomagnético y que permita deducir una expresión para la estimación del campo a partir de parámetros dispersivos de la ionosfera, parámetros que son observables en los retardos de las señales recibidas por los GPS.

Datos de señales GPS son utilizados para evaluar el modelo y generar valores del campo geomagnético en base al modelo teórico desarrollado. Finalmente, los datos del modelo y el modelo en sí, se validan con los resultados observacionales publicados del campo magnético.

6. PALABRAS CLAVE *(4-6)*

Campo geomagnético, Clima espacial, Ionósfera ecuatorial, TEC



7. DISCIPLINA CIENTÍFICA *(Marque X, solamente una opción)*

Ciencias Naturales y Exactas;	X
Ingeniería y Tecnologías;	
Ciencias Médicas;	
Ciencias Agrícolas;	
Ciencias Sociales;	
Humanidades	

8. OBJETIVO SOCIECONOMICO *(Marque X, solamente una opción)*

Exploración y explotación del medio terrestre;	
Ambiente;	X
Exploración y Explotación del espacio;	X
Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras;	
Energía;	
Producción y tecnología industrial;	
Salud;	
Agricultura;	
Educación;	
Cultura, ocio, religión y medios de comunicación;	
Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos;	
Defensa;	
Avance general del conocimiento: I+D financiada con los Fondos Generales de Universidades (FGU);	
Avance general del conocimiento: I+D financiados con otras fuentes.	

9. OBJETIVOS

9.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo teórico para la estimación del campo geomagnético en la zona ecuatorial.

9.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Planteamiento de un modelo analítico para el cálculo del campo geomagnético
- b. Estimación teórica del campo geomagnético
- c. Validación de los resultados del modelo con resultados observacionales publicados

10. HIPÓTESIS *(opcional)*

Esta parte es opcional, por lo que los revisores, categóricamente están impedidos de evaluar. Sin embargo, se ingresa un par de hipótesis.

- a. Se considera que el campo magnético puede ser importante en la ocurrencia de procesos dispersivos en la ionósfera, por lo que su inclusión en los modelos es importante.
- b. A partir de parámetros de retardo temporal detectados en las señales GPS, se puede estimar el campo geomagnético ecuatorial.

...



11. DETALLE DE LOS RESULTADOS ESPERADOS *(con relación a los objetivos)*

- a. Modelo para la determinación del campo geomagnético
- b. Calculo teórico del campo geomagnético ecuatorial.
- c. Validación de los resultados del modelo con los datos observados de estaciones geomagnéticas.

12. PRODUCTOS ESPERADOS

Tipo de Producto:	Marcar con una "X"
a. Disertación a la Comunidad Politécnica (obligatorio);	X
b. Presentación de un artículo en formato de la Revista Politécnica (obligatorio)	X
c. Proyecto de Titulación;	
d. Aplicación tecnológica construida o implementada;	
e. Patente presentada;	
f. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	
g. Publicaciones científicas indexada en SCIMAGO-SCOPUS/WoS/SCIELO/Latindex Catálogo o un artículo en congreso indexado en SCOPUS.	

13. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN *(científico, social, económico u otros)*

La ionósfera es considerada como un medio dispersivo para las ondas de radio, esto implica que su índice de refracción es una función de la frecuencia de las ondas que se propagan, de la densidad de electrones y en menor medida, de la intensidad del campo magnético de la Tierra. En la ionósfera ocurren innumerables procesos físicos que influyen en la propagación de las señales electromagnéticas que la atraviesan. Por ello, el conocer la estructura y el estado del plasma ionosférico es de suma importante, para aplicaciones, como, por ejemplo, en el ámbito de las comunicaciones y de la navegación satelital.

Al propagarse las señales se ven modificadas por la influencia de la ionósfera por lo que se deben introducir correcciones. Con este propósito, se utilizan modelos que consideran observaciones de pseudorange y portadora de fase. Mediante estas observaciones, se pueden derivar relaciones entre la actividad solar, tormentas geomagnéticas, tormentas ionosféricas, la concentración electrónica y el campo geomagnético. De aquí, se ve que es factible deducir expresiones analíticas que permitan realizar estimaciones del campo geomagnético en función de parámetros observables y la importancia de implementar un nuevo método que permita estudiar las variaciones del campo geomagnético de una localidad, como en la zona ecuatorial, donde ha habido pocos estudios y en nuestro país, no se ha hecho ninguna investigación.

Por primera vez, en Ecuador, con el presente proyecto, se realiza un estudio de la ionósfera y del campo geomagnético terrestre, de ahí la importancia de esta investigación.

Otro aspecto muy importante del presente estudio, es que brinda la posibilidad de entender mejor el comportamiento de la ionósfera local, al hacer un monitoreo temporal de las variaciones de los parámetros característicos del medio dispersivo. El estado del plasma ionosférico junto con el campo geomagnético cambian de diariamente, estacionalmente y cíclicamente (cada 11 años), en relación con la rotación de la Tierra y la actividad solar.



Además, estos estudios proporcionan un soporte técnico para investigaciones y proyectos sobre el entorno espacial, que puedan ser propuestos por otros investigadores u organismos.

14. ESTADO DEL ARTE, E INVESTIGACIONES PREVIAS DEL EQUIPO *(máximo tres carillas)*

Los primeros estudios de la ionósfera, usando información de los sistemas de comunicación y navegación satelital, se llevaron a cabo a mediados de los años ochenta. Estos trabajos principalmente consistían en realizar modelos físicos que permitieran estimar el retraso ionosférico para una determinada posición geográfica referencial. La información usada para estos estudios provenía de receptores de frecuencia única. Posteriormente, en 1988, Georgiadou y Kleusberg encontraron una expresión para el retardo ionosférico, la cual es proporcional al contenido de electrones e inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia de la señal portadora. Uno de los modelos que mayor acierto tuvo, al mostrar resultados que corregían el retardo ionosférico, fue el propuesto por "The International Reference Ionosphere" en 1986 (IRI-86), este modelo usaba datos GPS de doble frecuencia. Con el tiempo los receptores de frecuencia única dejaron de ser tomados en cuenta para estos estudios y fueron reemplazados por modelos que usaban receptores de doble frecuencia, los mismos que resultaron ser más precisos. En los años siguientes se corrigieron y mejoraron los modelos; Bruniniy Kleusberg, en 1996, dedujeron un modelo para el cálculo de los parámetros ionosféricos utilizando armónicos esféricos. Los modelos globales utilizados hasta mediados de los años noventa servían para encontrar el promedio mensual de los electrones ionosféricos, con aproximadamente un 10 % de error. Esto incentivó para que los científicos de la época trabajen en modelos más exactos y con menos errores. Debido a que el parámetro ionosférico que produce la mayoría de los efectos en las señales de radio es la concentración electrónica, los modelos buscan minimizar el error en el cálculo del retardo ionosférico. Por eso los cálculos de parámetros ionosféricos basados en receptores GPS de doble frecuencia son considerados entre los métodos más importantes para investigar la ionosfera de la Tierra.

Varios grupos de investigación, alrededor del mundo, están encargados de la realización de mapas ionosféricos para la concentración electrónica. Cada grupo hace estimaciones en función de diferentes observables ionosféricos, sin embargo, los más utilizados son el pseudorange y la fase portadora. La NASA es una de las agencias espaciales que dedica parte de su investigación a la realización y estudio de mapas ionosféricos, teniendo en su página Web oficial una extensa base de datos que contienen información de los parámetros ionosféricos.

Por otro lado, los datos de las mediciones del campo geomagnético son proporcionados por diferentes estaciones geomagnéticas alrededor del mundo, por ejemplo, la red INTERMAGNET realiza esa labor. Esta red registra datos del campo geomagnético medido por magnetómetros terrestres en todo el planeta.

Lamentablemente, en nuestro medio, no existen estudios ni trabajos previos en los que se intente estimar el campo geomagnético ecuatorial y menos aún a partir de datos ionosféricos. Igualmente, no han existido estaciones geomagnéticas a excepción de la estación de la red MAGDAS que opera en el Observatorio Astronómico desde el 2012.

El presente trabajo, es pionero en estos estudios y pretender introducir una nueva técnica de estimación del campo geomagnético, que con seguridad servirá para estudios posteriores de caracterización de la atmósfera y del clima espacial.

En esta propuesta se desarrolla una nueva metodología que servirá para el cálculo del campo geomagnético ecuatorial a partir de una modificación del modelo dispersivo de Appleton-Hartree. De este modo, se desarrolla un método alternativo para el cálculo del campo



geomagnético que en esencia corresponde a correcciones en los modelos para la determinación del contenido electrónico del plasma ionosférico. Además, es posible determinar la correlación existente entre el campo magnético terrestre y el contenido total de electrones de la ionósfera ecuatorial.

Experiencia investigativa y en ejecución de proyectos		
Año	Título del proyecto	Cargo /Actividades realizadas
2006	Medición de parámetros meteorológicos de volcanes	Director
2007	Telescopios virtuales y astronomía en el cielo usando streaming.	Director
2012	Proyecto Magdas. Estudio del campo geomagnético ecuatorial.	Director

Publicaciones previas relacionadas con el proyecto

Lopez E. Gnedin Yu. N., Angular displacement of radiation in radio frequency, passing through a magnetoactive plasma. XXVI Conference of Radioastronomy, September 18-22, 1995, St.Petersburg, 1995.
E. D. Lopez, Relativistic outflows and radiation processes, The Origins of Galactic Magnetic Fields, 24th meeting of the IAU, Joint Discussion 14, August 2000, Manchester, England, 2000 IAUJD..14E..27L,2000
E. Lopez, Dispersion of electromagnetic waves in active moving plasma, Astronomical and Astrophysical Transactions, vol. 14, pp. 79-85, 1997.
E. D. Lopez, Dispersion relations in relativistic astrophysical outflows, JPP, 70, 53, 2004
E.D. Lopez, Pulsar Radio Emission Cutoffs, in Magnetic Fields In The Universe: From Laboratory and Stars to Primordial Structures. AIP Conference Proceedings, Volume 784, pp. 697-704 (2005).
E. D. López, "Ionospheric Models For Wave Propagation", Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, 1991
E. D. López, "Solar Wind-Earth's Magnetosphere Coupling", Tatranska Lomnica, 2011.

15. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO, INCLUIDO METODOLOGÍA *(máximo tres carillas)*

En los estudios realizados y en los modelos propuestos para describir la ionósfera, en general no se toma en cuenta el campo geomagnético en las relaciones de dispersión [2]. Sin embargo, el campo magnético, a pesar de su pequeño valor, juega un papel importante en la ocurrencia de ciertos fenómenos ionosféricos ligados a perturbaciones de Very Low



Frequency (VLF) y Extreme Low Frequency (ELF) (Tweeks/Spherics, Whistlers) y en general, en la propagación de ondas electromagnéticas [5]. Nace entonces, la necesidad de realizar el estudio de la ionósfera, basado en la teoría clásica ya establecida, pero tomando en cuenta ciertas correcciones a los modelos teóricos, con la inclusión de términos que contenga el campo magnético terrestre.

La metodología a seguir en el presente trabajo de investigación consiste primero en la deducción analítica de un modelo para la estimación del campo magnético ecuatorial basado en las relaciones dispersivas de Appleton-Hartree. Las ecuaciones son manipuladas y bajo ciertas consideraciones, se deduce una expresión para la obtención del campo geomagnético (campo geomagnético en función de las relaciones dispersivas de la ionosfera en un plasma magnetizado) [4].

Seguidamente, una vez que se obtiene la expresión para el campo magnético, esta se expresa en función de parámetros medibles que caracterizan el retraso que sufren las señales de GPS por afectación de la ionósfera, es así que observables como la fase, los parámetros de pseudorange, la frecuencia, el TEC, etc., obtenidos en los diferentes detectores, son incluidos en el modelo teórico para la estimación del campo geomagnético.

La medición del contenido total de electrones de la ionosfera es importante en la investigación de la morfología ionosférica, ligada a la atmósfera superior en la que tienen lugar muchos procesos físicos. Una herramienta utilizada para caracterizar a la ionósfera y estimar el contenido de electrones, es el sistema de posicionamiento global GPS [4]. Los datos de varias estaciones GPS están disponibles en la red global The international GNSS service, un consorcio de varias organizaciones que proveen el servicio de datos satelitales (<http://igs.org>). Para la evaluación del modelo y estimación teórica del campo geomagnético, usamos los datos disponibles en esta fuente de información.

Finalmente, el campo magnético calculado, con el modelo dispersivo desarrollado para el efecto, a su vez, es seguidamente validado con los resultados de los datos observacionales del campo geomagnético ya publicados para nuestra zona ecuatorial. Se realiza el análisis estadístico correspondiente y el ajuste del modelo con los datos observados.

En torno al presente proyecto se ha planteado, complementariamente, la realización de un trabajo de titulación, que se lleva a cabo con un estudiante de la Carrera de Física, trabajo que se centra en el estudio del contenido total de electrones (TEC) de la ionósfera y en la



recolección, selección y análisis de datos de las estaciones geomagnéticas del International Real-time Magnetic Observatory Network (www.intermagnet.org). Este sitio Web registra datos del campo magnético de la Tierra observado a lo largo del tiempo, a través de un consorcio mundial de institutos que operan alrededor del Planeta. Se realiza un estudio riguroso de desviaciones respecto al valor observado del campo geomagnético ecuatorial y se determina la validez del modelo propuesto para estimar los valores del campo magnético terrestre y su variación temporal

Un aspecto importante del estudio de la concentración electrónica es que permite comprender mejor la variación espacial y temporal de la ionosfera, lo que da lugar a la implementación de nuevos modelos para realizar correcciones ionosféricas más precisas en los sistemas de navegación y de comunicaciones por satélite. La ionosfera ecuatorial no ha sido estudiada en nuestro país y muy pocos estudios externos se han realizado al respecto, por lo que el presente proyecto es relevante, necesario y de gran importancia para la caracterización local de la ionosfera ecuatorial. El proyecto se enmarca dentro de los estudios del Clima Espacial y es de interés dentro de la línea de investigación de Astropartículas y Gravitación, línea de investigación vigente en el Departamento de Física de la facultad de Ciencias de la Escuela Politécnica Nacional.

El trabajo está dividido en cuatro fases: la primera de ellas se centra en el desarrollo del modelo analítico para la determinación del campo geomagnético. La segunda fase consiste en la estimación teórica del campo geomagnético en base al modelo planteado. La tercera fase se encarga de la validación del modelo con los resultados del campo magnético obtenidos de las observaciones y ya publicados.

Referencias

- [1] Ya'acob, N., Abdullah, M., & Ismail, M. (2010). GPS total electron content (TEC) prediction at ionosphere layer over the equatorial region. In Trends in Telecommunications Technologies. IntechOpen.
- [2] Komjathy, A. (1997). Global ionospheric total electron content mapping using the Global Positioning System (Doctoral dissertation, University of New Brunswick).
- [3] Sardón, E., & Zarraoa, N. (1997). Estimation of total electron content using GPS data: How stable are the differential satellite and receiver instrumental biases?. Radio science, 32(5), 1899-1910.
- [4] Hernández-Pajares, M. (2003). Performance of IGS ionosphere TEC maps. IGS IONO working group report, research group of astronomy and geomatics, Technical University of Catalonia (g/AGE/UPC), Barcelona, Spain, 16.
- [5] James R. Wait. (1962). Electromagnetic Waves in Stratified Media. Pergamon Press. Reprinted 1996, IEEE Press.



Bibliografía (Normas APA)

16. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

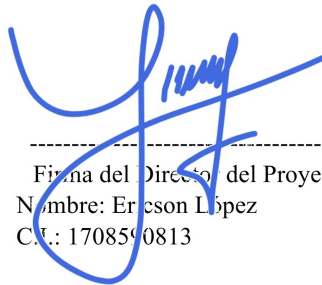
Infraestructura	Equipos	
Laboratorio	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Departamento de Física	Laptops Lenovo (a ser usadas para el análisis y tratamiento de datos)	En existencia (Director y Colaborador)



C. DECLARACIÓN FINAL DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta podría ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.
- Que para el caso de derechos de autor otorgamos una licencia de uso exclusivo con fines académicos para la o las instituciones participantes en el proyecto.
- Que aceptamos conocer y cumplir con la normativa vigente para la gestión de proyectos.



Firma del Director del Proyecto
Nombre: Erickson López
C.I.: 1708590813



D. DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO

Esta propuesta ha sido aprobada y avalada por el Consejo del Departamento de, en sesión del día mediante resolución No.

Las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del proponente y sus colaboradores de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta propuesta.

Firma del Jefe del Departamento

Nombre:

C.I.:

