

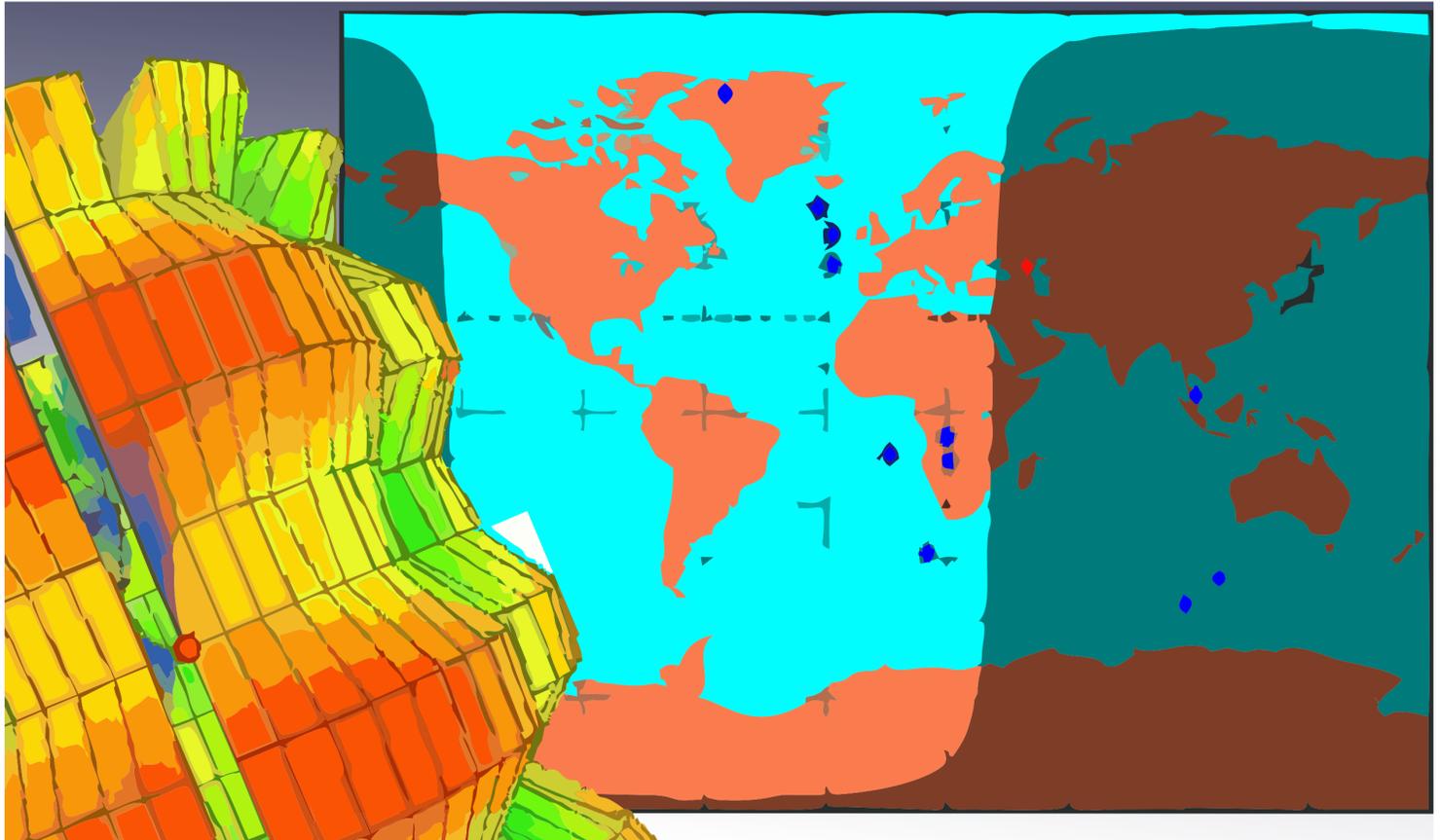


# DIFU 100Ci@



## REVISTA DE DIFUSIÓN CIENTÍFICA

### INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS



DIFU100ci@ (léase difuciencia) Vol. 11, No.2, septiembre-diciembre 2017, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, "Francisco García Salinas", a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Jardín Juárez No. 147, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Tel. (01 492) 925 6690. <http://difu100cia.uaz.edu.mx>. Editor responsable: Jorge Flores Troncoso, email: [jflorest@uaz.edu.mx](mailto:jflorest@uaz.edu.mx).

**Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-060212215100-203, ISSN: 2007-3585**, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número Jorge Flores Troncoso, López Velarde 801, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Fecha de última actualización 21 de abril de 2018. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas" a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica.

Producción

**Universidad Autónoma de Zacatecas  
"Francisco García Salinas"**

Diseño y Producción

**Jorge Flores Troncoso**

Diseño de Portada

**José Ricardo Gómez Rodríguez**

D.R. de la Presente Edición

**Universidad Autónoma de Zacatecas  
"Francisco García Salinas"**

**López Velarde 801, Centro  
98010 Zacatecas, Zac. México**

**ISSN 2007-3585**

DIFU100ci@ (léase difucencia) Vol. 11, No.2, septiembre-diciembre 2017, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, "Francisco García Salinas", a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Jardín Juárez No. 147, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Tel. (01 492) 925 6690. <http://www.uaz.edu.mx>, <http://difu100cia.uaz.edu.mx>. Editor responsable: Jorge Flores Troncoso, email: [jflorest@uaz.edu.mx](mailto:jflorest@uaz.edu.mx).

Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-060212215100-203, ISSN: 2007-3585, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número Jorge Flores Troncoso, López Velarde 801, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Fecha de última actualización 21 de abril de 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas" a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica.

Hecho en México  
Made in Mexico

### Directorio

Dr. Antonio Guzmán Fernández Rector  
Dr. Rubén de Jesús Ibarra Reyes Secretario General  
Dr. Luis Alejandro Aguilera Galavíz Secretario Académico  
Dr. Agustín Serna Aguilera Secretario Administrativo  
Dr. Manuel Reta Hernández Coord. Investigación y Posgrado  
Dra. Georgia Aralu González Pérez Coord. Depto. Editorial

### Editores Ejecutivos

Jorge Flores Troncoso, Editor en Jefe, UAZ, México  
Manuel Reta Hernández, UAZ, México  
Remberto Sandoval Aréchiga, UAZ México  
Claudia Sifuentes Gallardo, UAZ, México

### Editores Asociados

Salvador Ibarra Delgado, UAZ, México  
Israel Alejandro Arriaga Trejo, CONACyT-UAZ, México  
Juvenal Villanueva Maldonado, CONACyT-UAZ, México  
Jorge Simón Rodríguez, CONACyT-UAZ, México  
Viktor Iván Rodríguez Abdalá, UAZ México  
José Ricardo Gómez Rodríguez, UAZ México

### Grupo Revisor

Oliver Joekisch, University of Applied Sciences, Germany  
Ding Hongwei, Tongji University, China  
Robert Weissbach, Penn State Erie, The Behrend College  
Naim Logic, Arizona Public Service  
Leonardo Acho Zuppa, U Politècnica de Catalunya, España  
Miguel Andrés, U. de Valencia, España  
Manuel Hernández Calviño, Universidad de La Habana, Cuba  
Luis C. García Santander, Universidad de Concepción, Chile  
José Ángel González Fraga, UABC, México  
Omar Álvarez Xochihua, UABC, México  
Ramón Parra Michel, CINEVESTAV, México  
Leonel Soriano Equigua, FIME-UColima, México  
José Luis Álvarez Flores, FIME-UColima, México  
Geminiano D. Martínez Ponce, CIO, México  
Jaime Sánchez García, CICESE México  
Salvador Villarreal Reyes, CICESE, México  
Enrique Pacheco Cabrera, AEM, México  
Ernesto García Domínguez, UAZ México  
Rafael Villela Varela, UAZ México  
Jorge de la Torre y Ramos, UAZ México

## Contenido

---

Editorial	p. <a href="#">1</a>
Prueba de Interferencia Electromagnética Radiada para CanSat en una Cámara Anecoica	pp. <a href="#">2-5</a>
TIS (Tracking interface for satellites): Rastreo satelital y predicción de órbitas a base de modelos de perturbaciones simplificadas en Python	pp. <a href="#">6-10</a>

## Editorial

---

La revista *DIFU*<sub>100</sub>*ci*@ es una revista cuatrimestral que comenzó su publicación oficial en 2005. En mayo del 2012, la revista *DIFU*<sub>100</sub>*ci*@ adquirió el ISSN.

Desde entonces, se pretende contribuir a la difusión del conocimiento de la comunidad académica tanto nacional como internacional mediante la difusión de resultados de investigación de alta calidad. La Revista se centra en obras originales, que incluyen principalmente los estudios experimentales, análisis numéricos, estudios de casos y revisiones bibliográficas que proporcionan una significativa contribución a las áreas de ingeniería y tecnología en todas las disciplinas (Electrónica, Eléctrica, Ciencias de la Computación, Mecatrónica, Robótica, Telecomunicaciones, Procesamiento de señales, Ingeniería Industrial, Ingeniería de Control, y Bioingeniería).

Desde el comienzo, la revista ha buscado la mejora de los artículos aceptados para su publicación por un proceso de evaluación por pares o árbitro de los manuscritos recibidos. Estas evaluaciones son llevadas a cabo por expertos de reconocido prestigio por sus conocimientos y logros académicos, con el objetivo de asegurar que las publicaciones seleccionadas están contribuyendo al estado del arte en diferentes áreas de interés. Además, desde su inicio, la revista se ha abierto a los estudiantes y académicos a través del Sistema Open Journal, facilitando todo el proceso de presentación y publicación.

Agradezco a los autores y revisores, que se esfuerzan para mejorar la calidad de los manuscritos. Exhorto a todos los investigadores, académicos y estudiantes en las áreas de ingeniería y tecnología para que continúen sometiendo sus artículos en nuestra revista y contribuir a la noble difusión de la ciencia y la tecnología.

Jorge Flores Troncoso  
Editor en Jefe, Revista *DIFU*<sub>100</sub>*ci*@  
Universidad Autónoma de Zacatecas

# Prueba de Interferencia Electromagnética Radiada para CanSat en una Cámara Anecoica

MC José Luis Álvarez Flores<sup>a</sup>, DR Israel A. Arriaga Trejo<sup>b</sup>, DR Victor H. Castillo<sup>a</sup>, DR Fermin Marcelo Ruben Maciel Barbosa<sup>a</sup>, MC Edel Serafin Hernandez Gomez<sup>c</sup>, MC Reydi Piña Piña<sup>c</sup>, DR Leonel Soriano Equigua<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad de Colima, FIME, México.

[alvarez\\_jose@uclm.mx](mailto:alvarez_jose@uclm.mx), [victorc@uclm.mx](mailto:victorc@uclm.mx), [fermin\\_maciel@uclm.mx](mailto:fermin_maciel@uclm.mx), [lsoriano@uclm.mx](mailto:lsoriano@uclm.mx)

<sup>b</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo en Telecomunicaciones Av. López Velarde 801, Col. Centro, Zacatecas, Zac., México, 98000.

[israel.alejandrosoriano@outlook.com](mailto:israel.alejandrosoriano@outlook.com)

<sup>c</sup>Universidad de Colima, Laboratorio de Radio frecuencias, México.

[hernandezes8@hotmail.com](mailto:hernandezes8@hotmail.com), [rpina@uclm.mx](mailto:rpina@uclm.mx)

2018 Published by DIFU<sub>100ci</sub>@ <http://difu100cia.uaz.edu.mx>

## Resumen

Un CanSat es un satélite en miniatura usado principalmente para enseñanza en tecnología aeroespacial. En los últimos años, los dispositivos CanSat han incrementado su importancia debido a su bajo costo, su pequeño volumen y por las posibilidades de ser utilizados con fines educativos. Sin embargo, para utilizar éstos dispositivos en forma segura es recomendable realizar pruebas de compatibilidad electromagnética. Como cada equipo diseñado puede causar niveles de interferencia electromagnética diferentes, es recomendable caracterizar sus formas de radiación. Para lograr alcanzar el objetivo, se realizaron pruebas de compatibilidad electromagnética a un dispositivo del tipo CanSat para lograr identificar el tipo de interferencia que pudiera provocar él mismo y así obtener el rendimiento ideal en condiciones totalmente controladas en el interior de una cámara anecoica.

*Palabras clave:* CanSat, Interferencia Electromagnética Radiada, Cámara Anecoica.

## 1. Introducción

Un CanSat es un dispositivo que puede almacenar datos y cumplir una misión predeterminada [1]. Es similar a la tecnología usada en satélites miniatura. Sus componentes electrónicos están dentro de una lata de refresco típica. El CanSat es usado princi-

palmente para enseñanza en tecnología aeroespacial. Es lanzada hasta unos cuantos kilómetros de altura. No está diseñado para girar alrededor de la Tierra ni abandonar la atmósfera terrestre. Está usualmente equipado con un paracaídas para reducir el daño del impacto al caer y permitir la reutilización. Normalmente, debe ser completamente autónomo y puede recibir o transmitir

datos. Sus antenas se pueden montar externamente, pero, el diámetro del CanSat no debe ser alterado. En los últimos años, los dispositivos CanSat han incrementado su importancia debido a su bajo precio, su pequeño volumen pero principalmente a las posibilidades de ser utilizados por alumnos de nivel medio superior o superior para inculcarles el gusto por las tecnologías espaciales.

Por otro lado, actualmente es necesario realizar pruebas de Compatibilidad Electromagnética para asegurar que estos dispositivos se ajusten a los límites de señales electromagnéticas impuestas por los gobiernos de distintos países [2]. Cualquier sistema electrónico debe ser compatible con otro sistema electrónico, no produciendo y no siendo susceptible a interferencias. Un sistema que es eléctricamente compatible con su ambiente no causa interferencia con otros sistemas, no es susceptible a emisiones de otros sistemas y no causa interferencia consigo mismo. La compatibilidad electromagnética se divide en pruebas de interferencia y susceptibilidad. A su vez, las pruebas de interferencia y susceptibilidad se dividen en conducidas y radiadas cada una [3].

La interferencia electromagnética radiada es cualquier señal o emisión causada por un dispositivo a través del espacio libre. Esta interferencia puede modificar el rendimiento de otro dispositivo o sistema de comunicación. Los radios AM, FM, teléfonos celulares y televisores son usualmente afectados por este fenómeno. Actualmente si un dispositivo es usado para fines militares, industriales, comerciales o científicos, éste debe ser analizado mediante una prueba de interferencia electromagnética radiada. Lo anterior con la finalidad de asegurar que el dispositivo no afecte a terceros que pudieran encontrarse cercanos a tales dispositivos.

Una prueba de interferencia electromagnética radiada es a menudo hecha en una cámara anecoica con un ambiente de señales electromagnéticas controlado. Una cámara anecoica es cubierta con material absorbente de señales electromagnéticas [4]. El material más efectivo para absorber ruido causa el nivel más bajo de radiación reflejada. El nivel de calidad de una cámara anecoica es determinada por su más baja frecuencia de operación. Las reflexiones medidas de las frecuencias más bajas provenientes de las superficies internas serán las más significativas comparadas con las frecuencias altas [5].

El CanSat considerado en el presente estudio fue desarrollado en la Universidad de Zacatecas y analizado en el Laboratorio de Radiofrecuencias de la Universidad de Colima. Este laboratorio se usa para hacer diferentes tipos de pruebas tales como Inmunidad Elec-

tromagnética radiada y conducida, Caracterización de antenas, además de Interferencia Electromagnética radiada y conducida. Por el momento, este laboratorio es el más grande en México y puede ser empleado de forma completamente anecoica o semianecoica. A cada tipo de prueba le corresponde cierta norma. Esta última menciona cómo debe ser usado el laboratorio (completamente anecoica o semianecoica), qué antenas deben utilizarse, cómo deben desplazarse las antenas en el espacio a medir, qué detectores ocupará en el receptor, etc. Dentro del recinto pueden ser utilizados dispositivos enormes y pesados. El rango de operación es de 100 MHz a 40 GHz.

El realizar pruebas de compatibilidad electromagnética a un dispositivo CANSAT es con la intención de lograr identificar cualquier tipo de interferencia proveniente del DUT en una cámara anecoica y con ello poder obtener el rendimiento ideal del mismo en condiciones totalmente controladas.

## 2. Procedimiento

La prueba del CanSat fue implementada con relación a las especificaciones marcadas en las normas NMX-I-175/01-NYCE-2003 y NMX-I-175/02-NYCE-2003, las cuales son normas mexicanas específicas para la medición de interferencia radiada. Estas normas están basadas en documentos elaborados por el Comité Internacional Especial en Radio Interferencia (CISPR). La máxima potencia radiada y la ubicación de ésta en el CanSat fueron unos de los datos registrados en este trabajo.

Es importante resaltar los resultados obtenidos con las mediciones realizadas al interior de la cámara anecoica, puesto que es indispensable conocer los niveles y patrones de radiación, con el objetivo de tener un diseño cada vez mejor en la implementación de dispositivos que tengan la necesidad de radiar cualquier tipo de señal y que, al mismo tiempo el resultado, sea más acorde a las necesidades del cliente o usuario final.

La figura 1 muestra la distribución del entorno de medición. El CanSat fue colocado en una base no conductiva de 80 cm de altura; a su vez, la base se colocó sobre una mesa giratoria. Debido a que el CanSat transmite a una frecuencia de 2.45 GHz, la antena utilizada de medir la radiación fue la de Corneta (3117, ETS-Lindgren, USA). La antena estuvo montada sobre un mástil automático en posición y polaridad. Tanto la tornameza como el mástil fueron controlados de manera automática desde el cuarto de control de la cámara anecoica. La antena se conectó a un receptor de la marca R&S, y se empleó el software de medición EMC

32 de la marca R&S.

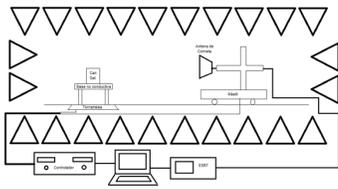


Figura 1. Entorno de medición en la cámara anecoica

El software de medición fue configurado para que la tornamesa realizara una vuelta completa en pasos de 5°. La antena se encontraba a una altura inicial de 1 m y en polarización horizontal.

En cada paso, el receptor censaba la radiación proveniente del CanSat. Al finalizar la medición de los 365 grados, la antena se desplazaba 20 cm hacia arriba y la tornamesa volvía a realizar una vuelta completa en pasos de 5°. Esta acción se repetía a diferentes alturas de la antena. La antena se desplazó de 1 m a 3 m en pasos de 20 cm. Al terminar este recorrido, la antena cambió a la polarización vertical y realizó el proceso nuevamente, es decir, la tornamesa giraba una vuelta completa en pasos de 5° para cada altura.

### 3. Resultados

Se llevaron a cabo las mediciones del sistema CanSat y los resultados que se encontraron fueron bastante buenos ya que sería un parteaguas en la medición de estos dispositivos en el país y en nuestras instituciones ya que ayudan a establecer una mejor instalación o colocación de los dispositivos de radiofrecuencia como son los amplificadores, moduladores y antenas para poder tener una mejor eficiencia en la propagación de la señal al momento de establecer la comunicación con el dispositivo.

En la figura 2 se puede apreciar la medición del campo electromagnético radiado por parte de los dispositivos de comunicaciones en el sistema CanSat a una posición inicial de 0° en la mesa giratoria y 1 metro de alto en el mástil; se detectaron 70.688 dB uV/m con una frecuencia de 2490MHz.

En la figura 3 se puede apreciar la medición del campo electromagnético radiado en una posición inicial de 180° en la mesa giratoria y 1 metro de alto en el mástil; se detectaron 70.044 dB uV/m con una frecuencia de 2490MHz.

En la figura 4 se puede apreciar la medición del campo electromagnético radiado en una posición inicial de 0° en la mesa giratoria y 3 metros de alto en el mástil;

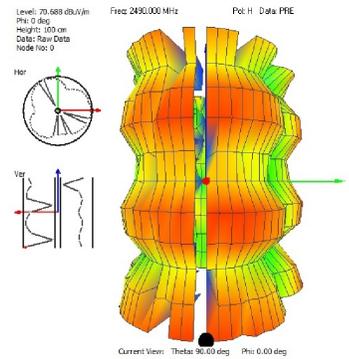


Figura 2. Medición de radiación en posición inicial.

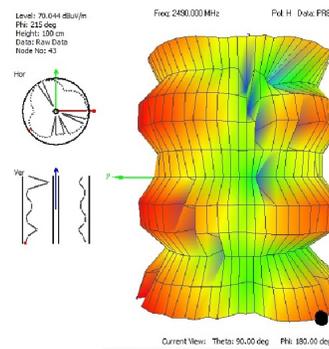


Figura 3. Medición de radiación a 180 grados.

se detectaron 69.120 dB uV/m con una frecuencia de 2490MHz.

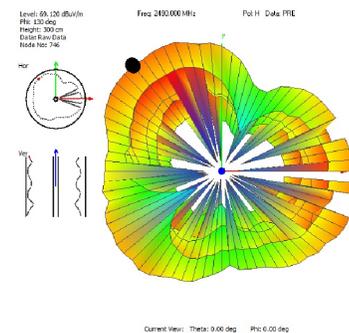


Figura 4. Medición de radiación cenital.

### 4. Conclusiones

El llevar a cabo las mediciones descritas en la sección anterior, realizadas en ambientes libres de radiación electromagnética, es bastante útil, debido a que es posible conocer la forma de propagación de la señal enviada como recibida y poder integrar soluciones antes de poner en funcionamiento nuestros dispositivos, en nuestro caso se trata de un prototipo en desarrollo para

un dispositivo que se encontrará a algunos cientos de kilómetros en el espacio y en ese momento será muy complicado el llevar equipo especializado para realizar ajuste alguno, es por ello conveniente conocer el funcionamiento de transmisores, receptores, antenas, incluso de conectores eléctricos y de los mismos cables que podrían afectar a la propagación de la señal en caso de estar colocados en un espacio específico no adecuado.

## 5. Trabajo Futuro

El equipo de trabajo de la Universidad de Colima en conjunto con la Universidad Autónoma de Zacatecas han estado colaborando en diferentes aspectos importantes en el ámbito de las comunicaciones, entre los cuales se puede destacar la creación de una nueva versión del CanSat, la generación e implementación de un enlace bidireccional con un micro satélite.

## Referencias

- [1] Rycroft, Michael J and Crosby, Norma "Smaller Satellites: Bigger Business?: Concepts, Applications and Markets for Micro/Nanosatellites in a New Information World", 2013. Springer Science & Business Media
- [2] Ron Schmitt "Electromagnetics Explain", 2002 Newnes, USA
- [3] David Morgan "A handbook for EMC testing and measurement", 1994 The institution of Engineering and Technology, Gran Bretaña
- [4] Leland H. Hemming "Electromagnetic Anechoic Chambers: A Fundamental Design and Specification Guide", 2002 Wiley, USA
- [5] N. V. Kantartzis, T. D. Tsiboukis "Modern EMC Analysis Techniques II", 2008 Morgan and Claypool Publishers, USA

# TIS (Tracking interface for satellites): Rastreo satelital y predicción de órbitas a base de modelos de perturbaciones simplificadas en Python

Arnulfo de Jesús Montoya Delgado<sup>a</sup>, Víktor Iván Rodríguez Abdalá<sup>a</sup>, Jorge Flores Troncoso<sup>a</sup>, Remberto Sandoval Arechiga<sup>a</sup>, Salvador Ibarra Delgado<sup>a</sup>, José Ricardo Gómez Rodríguez<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica,  
Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo en Telecomunicaciones  
Av. López Velarde 801, Col. Centro, Zacatecas, Zac., México, 98000.  
[abdala@uaz.edu.mx](mailto:abdala@uaz.edu.mx),

2018 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://difu100cia.uaz.edu.mx>

---

## Resumen

El desarrollo de aplicaciones científicas en lenguajes de programación de alto nivel como Python se ha dado por la integración de librerías que facilitan el análisis y el procesamiento numérico de datos, lo que permite el desarrollo de código científico y de ingeniería en tiempos relativamente cortos para ser utilizado en el campo de trabajo. Las aplicaciones para rastreo satelital y predicción de órbitas suelen ser propietarias, por lo que generar una alternativa en software con licencia libre y abierta es una alternativa viable para fomentar la investigación científica a diferentes niveles, permitiendo al usuario final la personalización de la aplicación de acuerdo a requerimientos específicos.

*Palabras clave:* Rastreo Satelital, predicción de órbita, modelos de perturbaciones.

---

## 1. Introducción

Hoy en día el desarrollo de proyectos de software para rastreo satelital y predicción de órbitas es realizable en lenguajes de programación de alto nivel de código abierto a través de librerías especializadas, tal es el caso de PyEphem, el cual es una librería de Python que provee herramientas de cálculo astronómico de grado científico [1].

Dada una fecha y ubicación en la superficie de la Tie-

rra, esta librería puede calcular la posición de diversos cuerpos celestes incluidos satélites artificiales con la ayuda de elementos orbitales, lo que permite la predicción de órbitas en una determinada fecha. El cálculo numérico detrás de PyEphem se basa en la aplicación de astronomía XEphem [2].

Los satélites artificiales tienen diferentes tipos de órbitas de acuerdo al propósito de la misión, para ello se utiliza un formato de conjunto de elementos en dos líneas llamado TLE (Two-Line Element Set), este es

un formato utilizado por NORAD (North American Aerospace Defence Command) para la identificación de elementos orbitales de los satélites [3] [4], este formato cuenta con tres líneas de datos, tal como se muestra en la Tabla 1.

La primera línea (línea 0) se compone de 24 caracteres, en ella se indica el nombre del satélite. Las dos líneas siguientes contienen los elementos orbitales y valores para la identificación del satélite, tal como se observa en las tablas 2 y 3 [5].

Los elementos orbitales se actualizan dependiendo del tipo de órbita, en el caso de las órbitas bajas los datos deben actualizarse una vez por semana y para órbitas altas una vez por mes [6].

### 1.1. Modelos matemáticos

Para el cálculo de la posición de un satélite en el espacio, el proyecto TIS utiliza los modelos matemáticos de NORAD SGP4/SDP4 [7]. Estos modelos utilizan el formato TEL para determinar las coordenadas de los objetos que orbitan la Tierra, considerando que las coordenadas tiene su origen en el centro de la masa terrestre.

Para ello, SDP4 determina primero la perturbación en el espacio profundo considerando los efectos de la gravedad y el efecto secular de arrastre en la longitud de nodo ascendente, para el cálculo de las predicciones agrega el espacio profundo lunar y la predicción solar de los elementos orbitales que son la velocidad orbital media, excentricidad, inclinación, argumento de perigeo, longitud del nodo ascendente y anomalía media.

## 2. Entorno de programación

El programa de rastreo satelital se basa en el lenguaje de programación Python, el cual permite la integración de múltiples librerías creando un entorno interactivo capaz de ser modificado con diferentes funciones, las librerías utilizadas para el desarrollo del proyecto son:

- PyEphem.
- PyQt.
- Matplotlib.
- Bokeh.
- Folium.
- Hamlib.
- Socket.

### 2.1. Estructura del programa

La interfaz gráfica del usuario consiste en una clase principal la cual controla los diferentes módulos que conforman el proyecto, estos módulos consisten en clases o funciones que realizan tareas simples.

En la Figura 1 se muestra la interfaz gráfica del sistema que consta de:

1. Un mapa con la posición del observador y los satélites que se desean observar.
2. Una tabla con la fecha y hora de la próxima línea de vista de cada satélite.
3. La hora y fecha del observador en formato UTC.
4. Los datos del satélite seleccionado.

El mapa cuenta con diferentes tipos de marcadores: el marcador "X" representa la ubicación del observador que puede ser una Estación Terrena, los rombos azules son los satélites que se desean observar y el rombo rojo es el satélite seleccionado.

Una vez seleccionado el satélite a observar se pueden generar las siguientes gráficas y tablas:

- Gráfica de ángulos: muestra las gráficas de azimut y elevación del satélite seleccionado.
- Ruta del satélite: muestra la ruta del satélite seleccionado.
- Tabla de ángulos: muestra una tabla con los ángulos de elevación y azimut del satélite seleccionado.

Para simular el movimiento de los satélites en el mapa se utilizó la función `basemaps` de la librería `Matplotlib`, la cual genera cada 3 segundos un nuevo mapa con las posiciones actuales de los satélites.

### 2.2. Módulo para la actualización de la base de datos de satélites

Los parámetros TEL para el cálculo de los elementos orbitales se actualizan periódicamente dependiendo de la época del satélite, para ello se desarrolló una función la cual consulta la página web <http://celestrak.com/NORAD/elements/>, tal como se observa en la Figura 2

La actualización se realiza utilizando una técnica llamada `scraping`, esta técnica consiste en simular el comportamiento de una persona al navegar en una página web, en este caso, a una persona buscando los formatos TEL, esto generará un archivo para cada satélite encontrado en la página web y estos archivos se registrarán en un diccionario donde se indique el nombre del satélite y la ubicación del archivo generado.

Tabla 1. Formato TEL.

AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
1 NNNNNU NNNNNAAA NNNNN.NNNNNNNNN +.NNNNNNNN +NNNNN-N +NNNNN-N N NNNNN
2 NNNNN NNN.NNNN NNN.NNNN NNNNNNNN NNN.NNNN NNN.NNNN NN.NNNNNNNNNNNNNNN

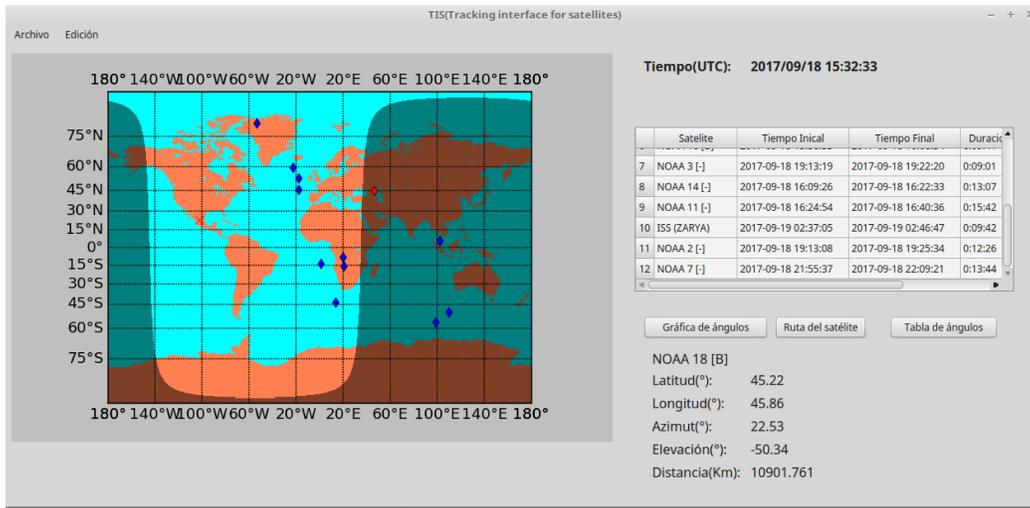


Figura 1. Interfaz gráfica del usuario

Tabla 2. Descripción de la línea 1 de TEL

Columna	Descripción
01	Número de línea
03-07	Número de satélite
08	Clasificación
10-11	Dos últimas cifras del año de lanzamiento
12-14	Número de lanzamiento del año
15-16	Identificación del componente del lanzamiento
19-20	Época - Dos últimas cifras del año
21-32	Época - Día del año y fracción del día
34-43	Primera derivada de la velocidad orbital media
45-52	Segunda derivada de la velocidad orbital media
54-61	Término de resistencia
63	Número 0
65-68	Número de elemento
69	Suma de verificación

Tabla 3. Descripción de la línea 2 de TEL

Columna	Descripción
01	Número de línea
03-07	Número de satélite
09-16	Inclinación (grados)
18-25	Ascensión recta del nodo ascendente (grados) $\Omega$
27-33	Excentricidad
35-42	Argumento del perigeo (grados)
44-51	Anomalía media (grado)
53-63	Velocidad orbital media ( $\frac{revoluciones}{día}$ )
64-68	Número de revoluciones en la época
69	Suma de verificación

### 2.3. Cálculo de los ángulos de azimut y elevación

las gráficas de azimut y elevación se generan a partir de dos funciones: la primera función obtiene los tiempos de línea de vista calculados por el módulo de predicción de pyephem, adicionalmente se calculan los ángulos de azimut, elevación, latitud y longitud; la segunda función toma los ángulos de azimut y elevación junto con el tiempo de línea de vista para construir las gráficas de la Figura 3.

El módulo que calcula los datos de rastreo de los satélites también guarda los datos para generar las gráficas cuando sean llamados por el usuario, en caso de que las gráficas no sean válidas, el programa volverá a calcular los ángulos del satélite.

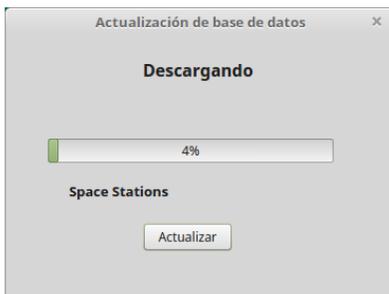
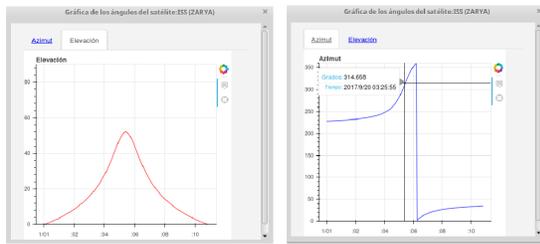


Figura 2. Módulo para la actualización de la base de datos de los satélites.



(a) Ángulo de elevación (b) Ángulo de azimut

Figura 3. Gráfica de los ángulos de elevación y azimut.

### 2.4. Cálculo de la ruta del satélite

Este módulo se basa en la librería folium la cual permite trazar la ruta que seguirá el satélite de acuerdo a los ángulos de latitud y longitud previamente calculados, esta librería permite mostrar los puntos de manera precisa junto con el tiempo de paso del satélite con respecto a la ubicación del observador, tal como se muestra en la Figura 4.

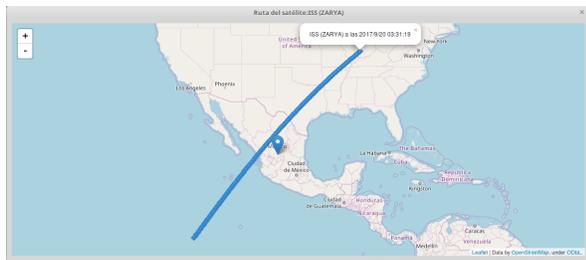


Figura 4. Ruta del satélite.

Para marcar la ruta del satélite que se muestra en el mapa se generaron todos los puntos con un intervalo de tiempo determinado, de este modo se simula una línea que es la ruta que seguirá el satélite durante el tiempo de vista del observador.

### 2.5. Módulo de control de los rotores de la antena

Además se integró un módulo para el control de rotores en caso de conectarse a una Estación Terrena vía IP o USB, esto permitirá al usuario realizar el rastreo satelital a través de una sola interfaz gráfica, tal como se muestra en la Figura 5.

Este módulo de control se basa en dos librerías: una que permite la comunicación con los rotores mediante el puerto USB y otra a través del protocolo TCP/IP.

El módulo USB utiliza la librería hamlib, esta muestra la posición en grados de cada rotor, fija a un ángulo en específico cada rotor y programa la ruta a seguir del satélite seleccionado en tiempo real, además inicializa los rotores al ángulo cero al terminar el recorrido programado.



Figura 5. Interfaz para el control de los rotores de una Estación Terrena.

El módulo TCP/IP se basa en la librería socket la cual permite la comunicación con la librería hamlib vía Ethernet a través de un puerto en específico.

## 3. Resultados

Para validar los cálculos realizados por el proyecto TIS, estos se compararon con los del proyecto Gpredict ya que es la plataforma que comúnmente se utiliza para rastreo satelital, para ello se generaron las gráficas de los ángulos de azimut y elevación para la estación espacial internacional (ISS) además de la ubicación geográfica en ambos proyectos.

### 3.1. Cálculo de ángulo de azimut y elevación

La ISS se encuentra a una altura de 408 km sobre el nivel del mar, esta se desplaza a una velocidad de 7.66 km/s, este satélite se elevó sobre el horizonte del observador el día 01/02/2018 a las 21:53:44 horas para terminar a las 22:04:24 horas, se calculó y graficó los ángulos de azimut y elevación descritos por el satélite en el proyecto TIS y se compararon los resultados con la gráfica del proyecto Gpredict.

En la Figura 6 se puede observar una comparación de las gráficas calculadas por TIS y Gpredict, las subfiguras 6(a) y 6(b) corresponden al ángulo de elevación y azimut calculado por TIS respectivamente y la subfigura 6(c) corresponde a los cálculos obtenidos por Gpredict, se observa que los resultados son similares entre ambos proyectos puesto que los valores son cercanos tanto en tiempo como en ángulo y solo se diferencian en los valores del eje x ya que el proyecto TIS muestra el tiempo de duración y el proyecto Gpredict muestra el tiempo cuando se encuentra en esa posición.

### 3.2. Cálculo de la posición de los satélites

Adicionalmente se comparó la posición de los satélites calculados por TIS y la posición de los satélites mostrados en el proyecto Gpredict.

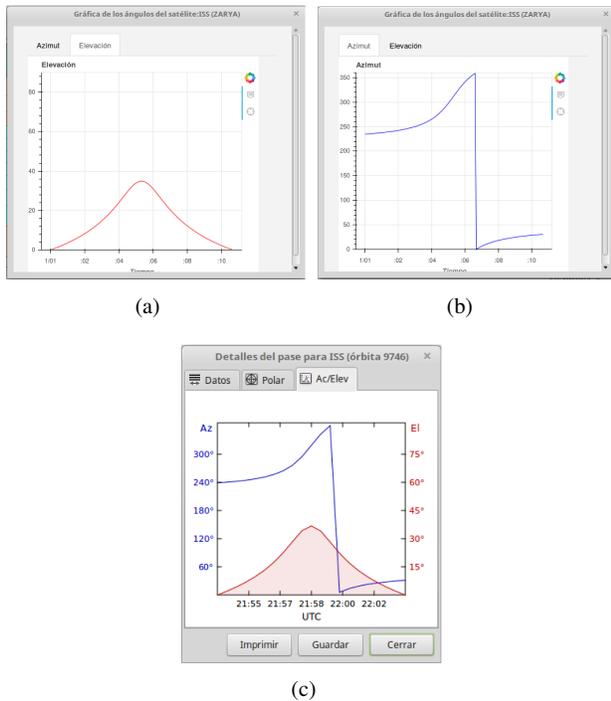


Figura 6. Comparación de las gráficas de azimut y elevación del satélite ISS.

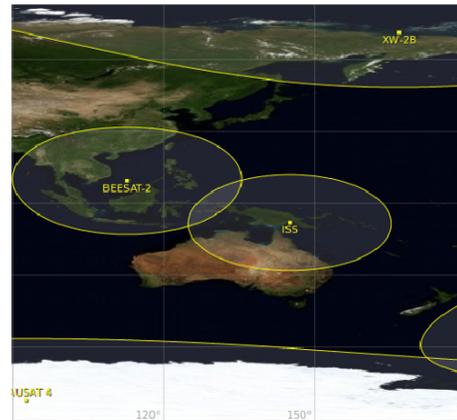
En la Figura 7 se muestra la posición del satélite ISS tanto en el proyecto Gpredict como en el proyecto TIS, se puede observar como la posición del satélite ISS es relativamente parecida ya que las escalas del proyecto Gpredict y el proyecto TIS son diferentes.

**4. Conclusión**

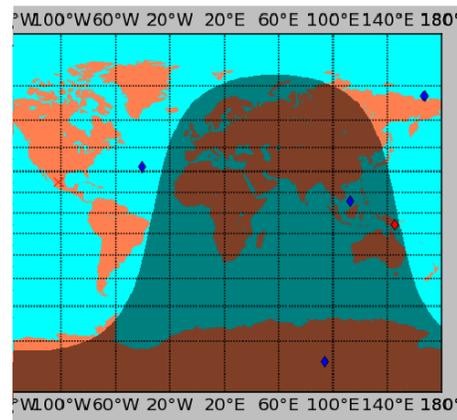
La interfaz desarrollada es capaz de dar seguimiento a varios satélites a la vez, muestra ciertos datos específicos del satélite seleccionado y actualiza la posición de los satélites en el mapa, es capaz de calcular la ruta que tomará cuando pase cerca del observador y puede estimar los parámetros de ajuste para una Estación Terrena.

**Referencias**

[1] Perez, F., Granger, B. E., & Hunter, J. D. (2011). Python: an ecosystem for scientific computing. *Computing in Science & Engineering*, 13(2), 13-21.  
 [2] Rhodes, B. C. (2011). PyEphem: astronomical ephemeris for python. *Astrophysics Source Code Library*.  
 [3] Kelso, T. S., & Alfano, S. (2006, May). Satellite orbital conjunction reports assessing threatening encounters in space (SO-CRATES). In *Modeling, Simulation, and Verification of Space-based Systems III* (Vol. 6221, p. 622101). International Society for Optics and Photonics.  
 [4] Osweiler, V. P. (2006). Covariance estimation and autocorrelation of NORAD two-line element sets (No. AFIT/GSS/ENY/06-



(a) Posición en Gpredict



(b) Posición en TIS

Figura 7. Comparación de la posición del satélite ISS.

M09). AIR FORCE INST OF TECH WRIGHT-PATTERSON AFB OH SCHOOL OF ENGINEERING AND MANAGEMENT.  
 [5] Kelso, T. S. (2011). NORAD two-line element sets current data. 2013, accessed.  
 [6] Vallado, D. A., Virgili, B. B., & Flohrer, T. (2013, April). Improved SSA through orbit determination of two-line element sets. In *ESA Space Debris Conference*.  
 [7] Kelso, T. S., Hoots, F., & Roehrich, R. (1988). Spacetrack report no. 3-models for propagation of norad element sets.

