

RED DE ESTACIONES DE TIERRA PARA COMUNICACIONES Y SEGUIMIENTO DE SATELITES DE ÓRBITA BAJA

Benjamin, Edgardo Exequiel^a – Dolz, Jorge Alejandro^b – Simone, Daniel Domingo^c

^a *Estudiante avanzado de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires 1400 (8300) Neuquén Capital, exebenj@yahoo.com.ar*

^b *Estudiante avanzado de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires 1400 (8300) Neuquén Capital, jordolz@yahoo.com.ar*

^c *Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires 1400 (8300) Neuquén Capital, Argentina, dsimone@siscoweb.com.ar*

Palabras Clave: satélites de orbita baja, aplicaciones libres, público en general, automatización de estación terrena

Resumen: La recepción de satélites de orbita baja (LEO), muy utilizados por los radioaficionados, requiere la instalación de una estación de tierra. Estas estaciones pueden ser de alto costo y los equipos suelen ser muy sofisticados, por lo cual no son accesibles para la gran parte de la población. Otro inconveniente en la utilización de este tipo de orbitas, es la alta velocidad que poseen los satélites en su paso sobre el cielo terrestre, lo que nos da muy poco tiempo para realizar la recepción en cada pasada. Una solución a este problema es realizar la recepción en distintos puntos del planeta y conformar la totalidad de la información enviada por el satélite con las partes recibidas por distintas estaciones receptoras.

El trabajo presente propone una red a la que se puede tener acceso libre desde cualquier computadora conectada a Internet, sin necesidad de tener que instalar programas específicos para poder acceder a la estación de tierra. La propuesta es desarrollarla bajo programación PHP y HTML, ya que de esta manera no será necesaria la instalación de aplicaciones específicas. La red constaría de dos tipos de usuarios; los que se conectan para recibir información de un determinado satélite sin poseer una estación de tierra (observadores), y los que poseen una estación de recepción conectada a la red que brindan la posibilidad del seguimiento (administradores). La diferencia entre los tipos de usuarios es que los observadores podrán observar la estación, sin tener el control de la misma, mientras que los administradores poseen el control de la estación en cualquier momento y pueden modificar cualquier parámetro que sea necesario.

Otro objetivo que se pretende lograr, en este trabajo, es que el público en general (y el sector de la educación en particular) tenga conocimiento de cuando pasa un determinado satélite por su ubicación geográfica, y pueda escuchar o recibir información del mismo, sin la necesidad del equipo específico de comunicaciones (receptores, transmisores, antenas, torres, etc.), siendo necesario contar, únicamente, con una computadora y acceso a Internet.

1 INTRODUCCIÓN

Desde el lanzamiento del primer satélite, las comunicaciones satelitales han evolucionado de una era analógica a una era digital. En dicha evolución se pasó de unos primeros satélites de comunicaciones analógicas, a los actuales satélites de comunicaciones de gran capacidad, satélites de observación espacial y terrestre, y satélites de posicionamiento global (GPS), donde muchos de estos pueden ser utilizados por radioaficionados, entre otros ([Vela Rodolfo Neri](#)).

Por otro lado, las comunicaciones desde tierra hacia los satélites también evolucionaron no solo en su manera de establecerse, sino también en la forma en que se envían los datos. Se pasó de protocolos de baja velocidad de transmisión y sin posibilidad de corrección de errores a nuevos protocolos mucho más rápidos en transmisión y con corrección de errores, lo que aporta confiabilidad en la integridad de los datos. De esta manera se pudieron introducir las computadoras en las comunicaciones satelitales, y con ellas, todos los beneficios que una PC puede aportar tanto en el procesamiento de una señal como en la automatización de la estación.

Por el lado de las comunicaciones digitales entre PC y/o redes, también se evolucionó hacia una mayor velocidad de transmisión de datos y a una reducción de errores en dichas transmisiones. De esta forma, en la actualidad se poseen medios de comunicaciones confiables y de fácil acceso para la gran mayoría de las personas de mundo ([Tanenbaum Andrew S](#)).

No es necesario remarcar el tremendo desarrollo y masividad alcanzado por Internet en los últimos años.

El potencial que vemos en la combinación de estas dos tecnologías (Internet y comunicación satelital) es de gran magnitud, ya que transformaría para mucha gente algo tan lejano como los satélites en un mero acceso a una página Web.

Utilizar la estación terrena con una automatización como la que plantearemos reportará beneficios sobre la eficiencia de la estación, ya que la misma podrá repartir su tiempo de actividad en distintos satélites y no estar enfocada para el seguimiento del satélite específico para el que se construyó.

Por otro lado se tendrá la posibilidad de hacer un seguimiento de un satélite sobre una zona terrestre que va más allá de una única estación terrena. Es decir, combinando en tiempo y espacio una cierta cantidad de estaciones terrenas se podrá seguir al satélite durante un largo tiempo y distancia. El tener mayor contacto temporal con el satélite, gracias a las estaciones terrenas consecutivas, nos permitirá una recepción más rápida de la información para un posterior armado y ensamblado de la misma. Esto significaría un mayor aprovechamiento de la estación de tierra, lo cual se traduce en una mayor eficiencia ([Bernier Steve, Barbeau Michel](#)).

El objetivo de nuestro trabajo es poner al alcance de la mano de cualquier usuario de Internet, la posibilidad de recibir los datos de un satélite. Mediante este sistema se podrían recibir y escuchar satélites que no están en el campo visual del usuario. Se podrán también almacenar los datos recibidos para su posterior lectura para aquellos casos en los que el usuario no tiene la posibilidad de estar sentado en la PC al momento de tener visual con el satélite.

2 LA FILOSOFÍA DEL TRABAJO

El trabajo consiste en desarrollar un servidor, el cual mediante una sencilla interfaz podrá comandar los controladores de posicionamiento de los ángulos de elevación y azimut de una

antena. Por otro lado, este servidor estará conectado a Internet lo cual brindará la posibilidad de tener una gestión remota sobre la actividad de la estación terrena. El acceso al servidor permitirá coordinar el apuntamiento de la antena instalada en la estación de tierra entre los distintos usuarios interesados, para que siga un cierto satélite durante un momento determinado del día.

Los usuarios que posean una estación de tierra y quieran ofrecer su estación, deberán instalar un mínimo de software para poder ofrecer el uso de su estación a los demás usuarios. Este software de conexión será la herramienta necesaria para que la PC que controla la antena pueda montarse como su propio servidor PHP y así brindar conexión a todos los usuarios del mundo que estén interesados en la posición de dicha antena en particular.

2.1 ¿Qué es GSN?

La Red de Estaciones Terrenas (GNS – Ground Station Network) es un concepto que surgió en Japón en el año 1998 aproximadamente, en un simposio sobre Sistemas Espaciales Universitarios.

Hasta el año 2006 algunas universidades construyeron estaciones terrenas para el seguimiento de sus propios satélites. Estas estaciones se podían acceder remotamente, pero no existía compatibilidad alguna entre ellas.

En la actualidad han desarrollado en Japón una manera remota de acceder y controlar las antenas mediante dos aplicaciones, una que se instala en el servidor conectado a la antena, y el otro que se instala en la PC cliente que se conecta al servidor mencionado (<http://www.unisec.jp/gsn/>; http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat1/ground_segment.asp; <http://www.svengrahn.pp.se/radioind/okik/okik.htm>).

Actualmente existen en el mundo varias redes de este tipo, con diferencias principalmente en el modo de conexión y gestión de la estación terrena. Estos grupos de desarrollo son por lo general Universidades o Institutos de Tecnología que apuntan sus desarrollos a la propia comunidad intelectual o científica. Sus accesos a las estaciones son generalmente mediante la instalación de aplicaciones específicas de desarrollo propio. Incluso algunas de estas redes son del tipo comercial y se debe ser cliente para obtener este servicio.

Nuestro aporte con esta red de estaciones terrenas es hacerlo no solo de fácil, rápido y de libre acceso, sino también pretendemos que no esté restringido a un sector en particular y que cualquier persona con interés en el tema pueda acceder al mismo.

Es por ello que el modo de acceso lo planteamos mediante una navegación WEB a un servidor PHP. Esto elimina el requisito de la instalación de herramientas específicas o propietarias para el acceso.

2.2 PHP y MySQL como herramientas

El lenguaje de programación desarrollado para servidores PHP, esta orientado a la creación de paginas Web dinámicas, y es usado principalmente en la interpretación del lado del servidor (server-side scripting)

Fue creado originalmente por *Rasmus Lerdorf* en 1994; sin embargo la implementación principal de PHP es producida ahora por *The PHP Group* y sirve como el estándar de facto para PHP al no haber una especificación formal.

PHP es un lenguaje interpretado de propósito general ampliamente usado y que está diseñado especialmente para desarrollo Web y puede ser incrustado dentro de código HTML. Generalmente se ejecuta en un servidor Web, tomando el código en PHP como su entrada y

creando páginas Web como salida y, en nuestro caso en particular, enviando datos de salida a través de un puerto de la PC mediante una librería apropiada. Puede ser desplegado en la mayoría de los servidores Web y en casi todos los sistemas operativos y plataformas sin costo alguno.

Este tipo de programación tiene muchas características, pero las que más aplican a nuestro trabajo son (www.php.net).

- Capacidad de conexión con la mayoría de los manejadores de base de datos que se utilizan en la actualidad.
- Capacidad de expandir su potencial utilizando la enorme cantidad de módulos (llamados ext's o extensiones).
- Es libre, por lo que se presenta como una alternativa de fácil acceso para todos.
- Permite las técnicas de Programación Orientada a Objetos.
- Biblioteca nativa de funciones sumamente amplia e incluida.
- No requiere definición de tipos de variables.

En lo que respecta a la información correspondiente a “parámetros de satélites”, “datos de usuarios”, “datos de estaciones terrenas”, “información recibida” “agenda satelital” se guardará en la base de datos que administraremos con MySQL.

Actualmente, muchos diseñadores de todo el mundo están apuntando a desarrollar aplicaciones Web con PHP y MySQL. Es por eso que han convertido a este administrador de base de datos en uno de los más solicitados del mundo.

Las razones de su masividad y preferencia de elección se deben a que tiene un rendimiento rápido y consistente, su facilidad de uso, es compatible con múltiples lenguajes de programación (Linux, Apache, MySQL, PHP / Pearl / Python), es multiplataforma (Linux, Windows, OS/X, HP-UX, AIX, Netware) y su licencia gratuita.

A continuación enumeramos las Razones principales para uso de MySQL ([Mancini Andrés](#), [Calegari Nicolás](#), [Giannini Leandro](#), [Quiroga Juan Jorge](#)).

- Escalabilidad y flexibilidad
- Alto Desempeño
- Alta Disponibilidad Soporte transaccional robusto
- Web Data Warehouse y Fortalezas
- Fuerza de Protección de Datos
- Desarrollo completo de aplicaciones
- Facilidad de gestión
- Libertad de Código abierto y Soporte 24x7
- Costo Total de Propiedad mas bajo

2.3 Metodología de Diseño

El control y programación de la estación se hará por medio de una página Web que estará montada en la PC que se encuentra directamente conectada a la antena por medio de la interfaz de control de los rotores.

El acceso a la página WEB montada en el servidor desde cualquier ubicación del planeta permitirá setear la programación de la antena para que siga un cierto satélite en un tiempo dado, siempre y cuando, claro está, dicha antena tenga visual con el satélite.

El servidor ejecutara un algoritmo de predicción de orbital satelitales, llamado SGP4. Mediante los datos generados la PC podrá saber en que punto del espacio se encuentra el

satélite en el momento, y con esta información, podrá trazar una recta que los una. De esta recta se extraen los ángulos de interés para comandar el movimiento de la antena, es decir, se obtienen de una recta imaginaria los ángulos de azimut y elevación para mover la antena y apuntar correctamente al satélite. El movimiento de la antena para lograr los ángulos necesarios se realiza mediante dos rotores que están instalados en el pie de la antena.

Los usuarios que pretendan utilizar el sistema de control remoto deberán registrarse en la página del servidor para crear su perfil de usuario y su medio de acceso (usuario y contraseña). Una vez que el usuario accede a la página puede consultar la disponibilidad de los satélites para un tiempo y espacio dados, y si es posible, programar el evento para una pasada. Llamamos evento a un período de programación, es decir, a programar la antena para que siga un satélite en una pasada. Los períodos generados se utilizarán para organizar el cronograma de uso de la antena y poder llevar así una trazabilidad de la misma.

A medida que los datos vayan llegando a la antena desde un satélite durante una pasada, la misma los irá guardando en uno u otro formato según corresponda, con una codificación en el nombre de los archivos de modo que no se dupliquen los mismos. Esta codificación permitirá a la vez mantener un orden en la administración de archivos.

Estos datos quedarán guardados en el servidor a disposición de cualquier otro usuario que pretenda obtenerlos.

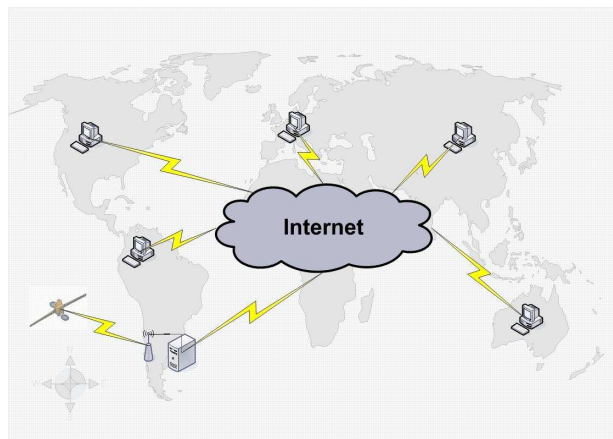


Figura 1: Acceso remoto

En la Figura 1 se muestra la integración de Internet y la estación de tierra que controla la antena comandada mediante un servidor de GSN. Mediante esta imagen pretendemos hacer énfasis en que el acceso al servidor puede ser desde cualquier lugar del mundo sin la necesidad de depender de un operario en la estación terrena.

3 IMPLEMENTACION EN PHP

Las órbitas de los satélites alrededor de la tierra no son elipses perfectas como las predichas en la mecánica Newtoniana, esto es consecuencia de la simplificación del modelo tomado en dicha mecánica. A medida que es necesaria mayor precisión, el modelo se torna de mayor complejidad y con mayor cantidad de variables. A medida que aumenta la complejidad, los modelos pueden tener en cuenta términos como, el achatamiento de la tierra en los polos, las irregularidades del campo gravitatorio, el arrastre o fricción de la atmósfera, la atracción de la luna y/o el sol y la presión de la radiación solar; son términos o conceptos que se deben tener en cuenta a la hora de aumentar la precisión del cálculos de orbital satelitales.

En nuestro caso, se decidió utilizar el modelo SGP4 en combinación con SDP4, para los casos en que haya una orbita de espacios lejano. El modelo SGP4 (*Simplified General*

Perturbations Satellite Orbit Model 4) es un algoritmo de NASA y NORAD utilizado para el cálculo de posición y velocidad de satélites cercanos a la tierra. Cualquier satélite que posea un tiempo de orbita menor o igual a 225 minutos puede utilizar este algoritmo.

3.1 Programación del algoritmo

Este algoritmo se encuentra muy difundido en distintos lenguajes de programación, como MatLab, C, Fortran, pero no en PHP. Se debió escribir y desarrollar completamente en este lenguaje basándonos en los análogos para otras tecnologías. En particular, se utilizó el código escrito en MatLab ([Vallado David A.](#), [Crawford Paul](#), [Hujsak Richard](#) and [Kelso T S](#); [Hoots Felix R](#), [Roehrich Ronald L](#)) como guía. Durante la traducción de lenguaje (de MatLab a PHP) del código se aprovechó para realizar algunas modificaciones en el mismo para lograr una ejecución más prolija y optima, además de adaptar la información de las bases de datos que se utilizan en el algoritmo de predicción.

En la Figura 2 se puede ver un diagrama de flujo de cómo se ejecuta el algoritmo SGP4, desde que ingresan los datos del satélite hasta que nos devuelve los valores de posición y velocidad en un instante de tiempo determinado.

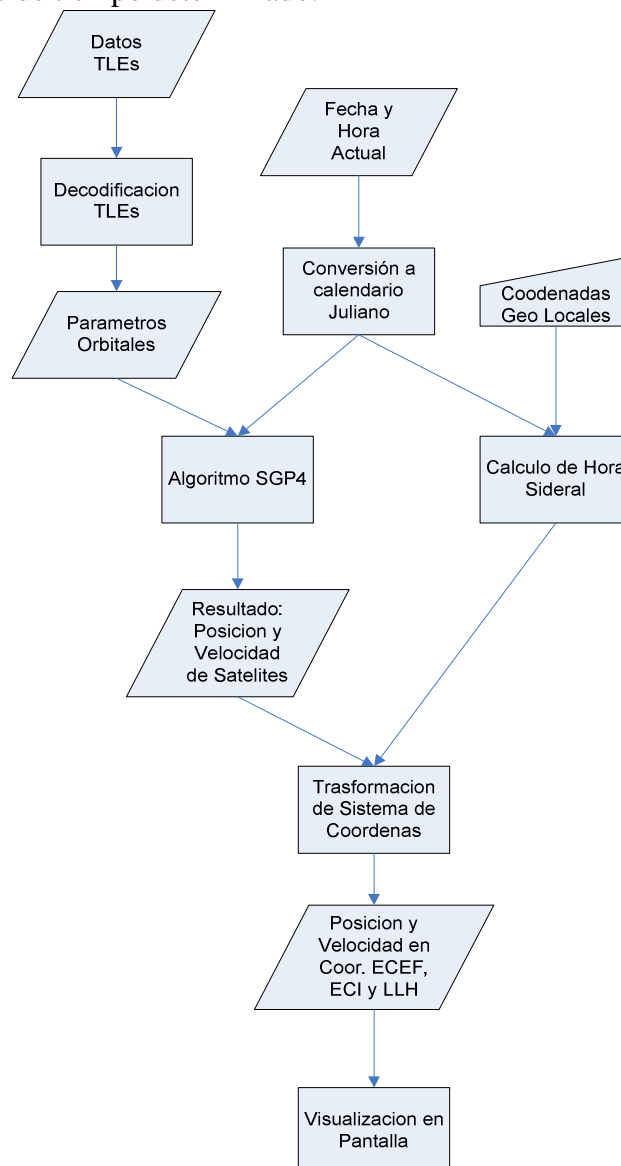


Figura 2 – Algoritmo de predicción SGP4

Nuestro planteo en particular consta de un diseño de una página Web con PHP y HTML y una base de datos administrada con MySQL (Welling Luke, Thomson Laura). El diseño del sistema tuvo como premisa ser simple e intuitivo para el usuario y, a la vez, fácil de montar para el administrador de una estación terrena que quisiera tenerlo.

El desarrollo de software o Web realizado, consta de HTML para la parte gráfica de las pantallas y del entorno que puede visualizar el usuario, mientras que por detrás de las pantallas se corren permanentemente en el servidor distintas funciones PHP que o bien interactúan con el servidor (para transporte o actualización de datos) o bien para cálculos que son necesarios en el momento, como por ejemplo, el algoritmo SGP4.

Su pantalla principal, una vez que el usuario accedió mediante su usuario y contraseña, consiste en un entorno donde se pueden visualizar datos del sitio geográfico de la estación, del usuario, del diseñador y en otra sección, los accesos o funciones posibles para el usuario.

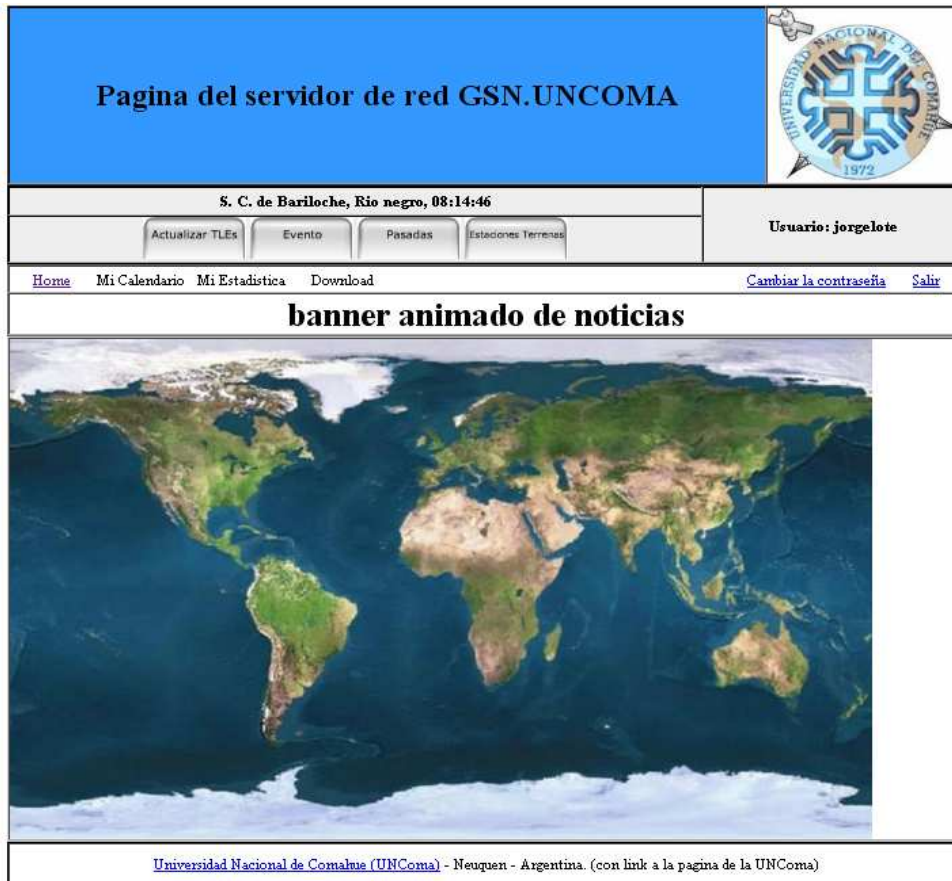


Figura 3 – Pagina principal

Una de las funciones posibles que se puede ver en la Figura 3 es el link de “Actualizar TLEs”. Este acceso, válido solo para administradores, se conecta al sitio <http://www.celestrak.com> y baja uno por uno los distintos archivos de texto actualizados para cada uno de los distintos grupos de tipos de satélites, a saber: amateur, weather, military, globalstar, geodetic, engineering, etc. Es muy importante que esta actualización se haga periódicamente, ya que la posición de los satélites puede sufrir modificaciones y no tener registros de las nuevas posiciones resultaría en un gasto de recursos y tiempos para apuntar a

un satélite en una posición que no sería cierta.

En este punto el usuario tiene también acceso a las dos pantallas principales y más importantes del sistema: “Evento” y “Pasadas”. En la primera puede seleccionar un satélite del grupo que corresponda, un rango de días y una estación terrena. Con estos datos, el algoritmo de predicción SGP4 listará los horarios de pasada del satélite para la estación terrena seleccionada. Si la estación no tiene otro evento para esa ventana de tiempo, el usuario puede elegir guardar el mismo en la base de datos para que quede agenda o programada.



Grupo

Satélite

Estación Terrena

Cantidad de días de pasadas

[Home](#)

Figura 4 - Selección de datos para visualización de pasadas sobre una estación terrena

Fecha y hora	Azimut	Elevación
20/08/2010 19:23:48	104.92	17.53
20/08/2010 19:24:48	89.07	18.84
20/08/2010 19:25:48	72.93	18.02
20/08/2010 19:26:48	58.62	15.41
20/08/2010 19:27:48	47.08	11.89
20/08/2010 19:28:48	38.17	8.16
20/08/2010 19:29:48	31.32	4.57

Satélite: SAC C
 Angulo de vista: 0°
 Dias de prediccion 1

Fecha Desde:	<input type="text"/>
Fecha Hasta:	<input type="text"/>
Id. de la Estación:	2
Id. del Satélite:	26620

Figura 5 - Pasadas de un satélite por una estación terrena en una ventana de tiempo.

La segunda pantalla mencionada es similar en cuanto a los datos que se deben proporcionar al sistema, solamente un satélite, pero en este punto se visualiza la posición geográfica en el momento actual del satélite. Los datos devueltos se refrescan cada unos pocos segundos.



Grupo

Satélite

[Home](#)

Figura 6 - Selección de datos para visualización de la posición de un satélite.

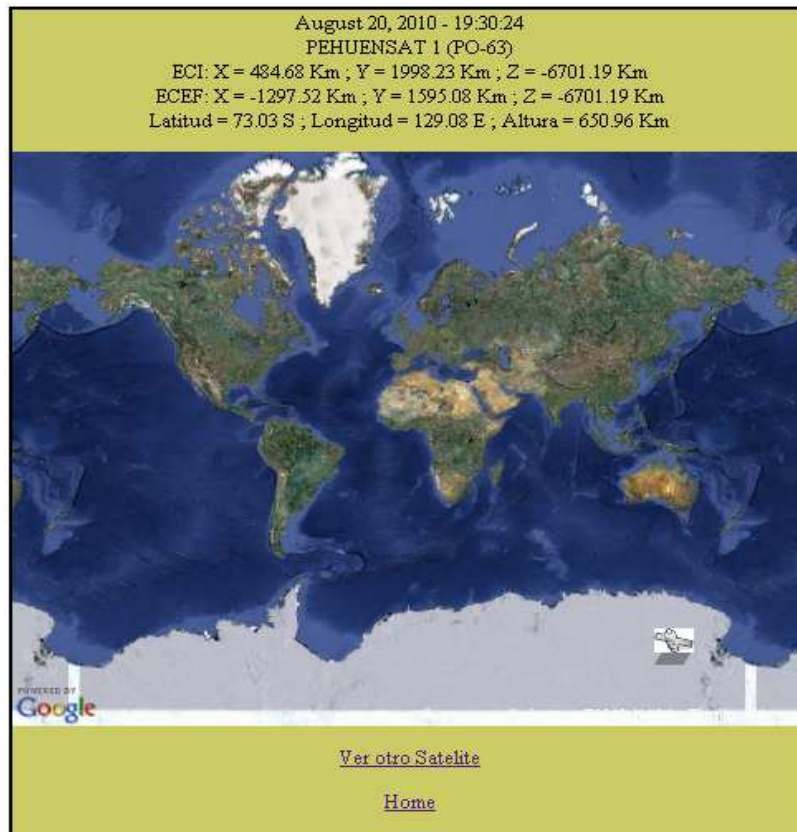


Figura 7 - Posición Actual de un satélite.

4 CORRECCIÓN DE FRECUENCIA (EFECTO DOPPLER).

Para la recepción de señal proveniente de satélites de órbita LEO, se debe tener en cuenta el corrimiento de frecuencia por efecto Doppler. Este efecto se manifiesta cuando se establece un enlace de RF, a una determinada frecuencia, en donde uno o los dos puntos del enlace se están moviendo uno respecto al otro. Para nuestro caso, el movimiento de los satélites, es una velocidad considerablemente alta para los valores que estamos acostumbrados a manejar, y también para los valores de frecuencia utilizados en el enlace. Valores que van desde 5 Km/s hasta 10 Km/s, dependiendo de la órbita en la que este ubicado (Tomasi Wayne).

También se debe tener en cuenta el movimiento que tiene la estación terrena, aunque no estemos consciente de este, es una velocidad que varía desde 0 Km/s hasta, aproximadamente, 0.416 Km/s. Esta variación de la velocidad se corresponde a la ubicación del observador o estación terrena con respecto a eje de rotación de la tierra, desde el polo hasta el ecuador, respectivamente.

$$V_{co} = R_o * \omega_T \quad (1)$$

donde,

V_{co} = velocidad del observador.

R_o = radio de la tierra desde el eje de rotación hasta la ubicación del observador.

Ω_T = velocidad angular = $7.2921e-5$ rad/s⁻¹.

Esta diferencia de velocidades produce un efecto en la señal transmitida, el cual, a su vez,

produce un pequeño corrimiento en la frecuencia del enlace. Esto se traduce, que la frecuencia de la señal transmitida por el satélite no tiene la misma frecuencia que la señal recibida en la estación terrena, pudiendo producir pérdidas de la señal de comunicación. Por este motivo, al momento de realizar una bajada de datos de un satélite se debe tener en cuenta este efecto y compensarlo. La compensación que se realiza es la de ajustar la frecuencia del receptor, de esta forma se tiene mas seguridad en el enlace.

4.1 Implementación en el algoritmo

Para la implementación de corrimiento Doppler en el algoritmo de seguimiento de satélites, una manera fácil de calcular la velocidad relativa entre el observador (o estación terrena) y el satélite, fue hacer el cálculo directamente del parámetro llamado rango, que es la distancia desde la estación/observador al satélite. De este modo, el algoritmo resulta sencillo y no ocupa recursos innecesarios. El cálculo de la velocidad consiste en resolver la ecuación

$$V = \frac{X_i + X_{i-1}}{\Delta t} \quad (2)$$

donde X_i y X_{i-1} son 2 valores de rango consecutivos con una separación en tiempo de valor Δt . De esta forma, obtenemos un valor de velocidad media en un tiempo determinado y con este podemos calcular el corrimiento Doppler. Una vez conocido, se prosigue a corregir la frecuencia del equipo receptor.

Para nuestro algoritmo, la ecuación que nos resulta con este método es

$$F_{Rx} = F_{Tx} \left(1 - \frac{X_i + X_{i-1}}{c * \Delta t} \right) \quad (3)$$

donde,

F_{Rx} y F_{Tx} = frecuencias de recepción y transmisión, respectivamente.

V_f = velocidad relativa entre transmisor/receptor.

c = velocidad de la luz.

5 CONCLUSIONES

Nuestra intención con el desarrollo del presente trabajo es complementar los avances realizados por los distintos grupos de redes de estaciones terrenas mediante la sustitución de las aplicaciones cliente-servidor por un acceso Web vía Internet.

Mediante esta implementación simple y de libre acceso se pretende ampliar los grupos de interés que en la actualidad participan de las comunicaciones satelitales. Estos grupos en la actualidad son de un número y tamaño reducido principalmente por el escepticismo de la gente sobre el tema.

La combinación de una serie de estaciones terrenas tales que permitan seguir un satélite durante un tiempo continuo dado redundará en un mayor tiempo de comunicación, y por lo tanto un mayor tiempo de bajada de información. Esto permite que los usuarios tengan una mayor eficiencia de parte del satélite en lo que respecta a los tiempos de bajada de información, ya que lo que el satélite bajaría en una cantidad dada de pasadas ahora lo podría realizar en una única pasada con la ayuda de estas estaciones terrenas en serie. Esto por otro lado, lograría un ahorro en la capacidad física de almacenamiento de información en los satélites, ya que no retendría tanto tiempo la información si pudiera descargarla en una sola pasada mediante un arreglo de antenas en serie. Este ahorro de capacidad se puede traducir a la vez en ahorro en

peso, y porque no, en ahorro económico.

Este aporte que pretendemos agrega versatilidad a la estación terrena, ya que no estaría a disposición del único satélite para el que fue construida, sino que se aprovecharían los tiempos para una mayor cantidad de seguimientos de satélites y usuarios.

REFERENCIAS

Bernier Steve, Barbeau Michel; A Virtual Ground Station Based on Distributed Components for Satellite Communications; 15th Annual/USU Conference on Small Satellites, Logan, Utha, 2001.

Ground Station Network (GSN) <http://www.unisec.jp/gsn/>

Hoots Felix R, Roehrich Ronald L, SPACETRACK REPORT NO. 3 Models for Propagation of NORAD Element Sets, December 1980 Package Compiled by TS Celso 31 December 1988

Mancini, Andrés, Calegari, Nicolás, Giannini, Leandro, Quiroga, Juan Jorge, Sistema de Posicionamiento de Antena para el Seguimiento de Satélites en Órbita. Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ingeniería, Neuquén.

PHP, www.php.net.

RADARSAT-1 Ground Segment: Network Stations http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat1/ground_segment.asp

Soviet/Russian OKIK Ground Station Sites <http://www.svengrahn.pp.se/radioind/okik/okik.htm>

Tanenbaum Andrew S, Redes de Computadoras. Editorial Pearson Educación. Edición 2003

Tomasi Wayne, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. (1996) 2º Edición

Vallado David A, Crawford Paul, Hujsak Richard and Kelso T S, Paper AIAA 2006-6753 Revisiting Spacetrack Report #3, 2007.

Vela Rodolfo Neri, Comunicaciones Por Satélite - Editorial Thomson – 2003

Welling Luke, Thomson Laura, Desarrollo Web con PHP y MySQL, Ed. Anaya, 2005