

Simulación De Un Enlace De Comunicaciones Geo-Espacial (Junio 2010)

Gabriel Arturo Cárdenas Perilla.

Resumen— En la actualidad los sistemas de comunicación satelital son muy utilizados en distintas aplicaciones, donde, para el correcto funcionamiento de estos sistemas resulta importante un diseño y simulación adecuados del enlace satelital.

En el diseño de enlaces satelitales involucra toda una serie de cuestiones tales como la elección de la banda de frecuencias; se tuvieron en cuenta los estándares para estaciones terrenas y para satélites de INTELSAT, además se tienen en cuenta los siguientes aspectos; el tipo de antenas y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencias, la estimación de los niveles de ruido e interferencia o atenuaciones que las ondas sufren al momento de la propagación radioeléctrica, entre otras. En este proyecto de grado se recopila todo el material técnico que se necesita para el diseño práctico de enlaces satelitales.

Índice de términos— Estaciones terrenas, Modelos de comunicaciones satelitales, Satélites, Simulador (STK), simulaciones, constreñimientos.

I. INTRODUCCIÓN

Un enlace satelital, básicamente es igual a un enlace de microondas excepto que uno de los extremos de la conexión se encuentra en el espacio, por tanto se deben tener en cuenta otros factores que influyen en el funcionamiento del enlace, estos factores serán mencionados en el transcurrir de este documento, un factor limitante para la comunicación RF (radio frecuencia) es que tiene que existir una línea de vista entre los dos puntos, pero como la tierra es esférica esta línea se ve limitada en tamaño, entonces colocando sea el receptor o el transmisor en el espacio se cubre un área más grande de superficie eliminando esta limitación de los enlaces RF.

En la actualidad, hay aproximadamente 140 000 canales en funcionamiento, sólo para el sistema de INTELSAT (organización internacional de comunicaciones satelitales), permitiendo un gran número de aplicativos para el uso de las comunicaciones. Donde el papel de los satélites es continuar llevando la mayoría del tráfico de la telefonía entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo, gracias a las ventajas de sistemas del satélite y en particular a la simplicidad y la flexibilidad de la infraestructura requerida.

El factor de la evolución en las comunicaciones satelitales es casi completo, esto se debe principalmente a que se ha realizado una permutación de la modulación transmisión analógica convencional a una transmisión digital, trayendo ventajas en las técnicas de transmisión digital, haciendo referencia al proceso señalado en el hardware y aplicación del software que es el caso de este documento en el cual por medio de STK (satellite tool kit por sus siglas en ingles).

Se implementaran escenarios para ver las condiciones y los factores que influyen en un enlace satelital, donde por medio

de guías se explicara los procedimientos, elementos y condicionales para el enlace satelital.

Esto pretende ayudar a una mayor difusión de la educación, logrando ampliar el conocimiento en enlaces satelitales por medio del software STK.

II. MARCO REFERENCIAL.

A. Satélite.

El satélite posee varios subsistemas.

a) Subsistema de telemetría: Monitorea todos los subsistemas del satélite, enviando continuamente a tierra información suficiente para la determinación de la altitud, condición y desempeño del satélite, según requieren el satélite y el subsistema de control [1].

b) Subsistema de control: Controla la operación del satélite a través de todas las fases de la misión recibiendo y decodificando señales de control desde la estación terrena de control y telemando [2].

c) Subsistema de alineación: Establece la inclinación entre la estación terrena de control y el satélite para la determinación de la órbita geostacionaria.

d) Subsistema de control de altitud: Tiene como función principal mantener la exactitud en la posición del satélite

e) Subsistema de potencia eléctrica: Es el encargado del suministro de potencia a los diferentes subsistemas del satélite. Para ello cuenta con un arreglo de celdas solares de silicón [1].

f) Subsistema de comunicaciones: Es el encargado de garantizar las funciones de recepción y transmisión desde y hacia las estaciones terrenas dentro del área de cobertura del satélite [4]. Como la razón de ser de esta Sección, es precisamente, el subsistema de comunicaciones de los satélites de comunicaciones, a continuación, profundizaremos en el estudio y comprensión de las partes que lo componen y de las funciones que realiza.

A su vez el subsistema de comunicaciones está compuesto por las siguientes partes:

1) Antena

La antena hace las veces de interfaz entre las estaciones terrenas y los diferentes subsistemas satelitales. La función principal de la antena es proporcionar un patrón de radiación adecuado que garantice el establecimiento de los enlaces ascendente y descendente para la recepción y transmisión de las señales en las bandas de frecuencia de operación. Además, la antena puede ser usada para proporcionar el enlace que se establece desde tierra con los subsistemas de telemetría, control e inclinación, [3] los cuales en conjunto con el subsistema de control de altitud proporcionan señales de radio faro de rastreo que garantizan el apuntamiento preciso de la

antena hacia las áreas de cobertura sobre la superficie de la tierra.

II) El repetidor de comunicaciones

La segunda parte del subsistema de comunicaciones es el repetidor de comunicaciones el cual es una interconexión de muchos transpondedores canalizados [5]. Esta afirmación merece una explicación más detallada. El recurso que el satélite de comunicaciones pone a disposición de las estaciones terrenas.

El repetidor de comunicaciones, generalmente, se divide en los siguientes módulos (Ver figura 1):

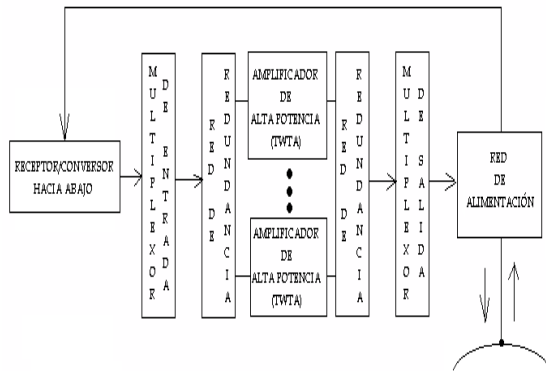


Fig. 1. Partes del repetidor de comunicaciones.

B. Estación Terrena

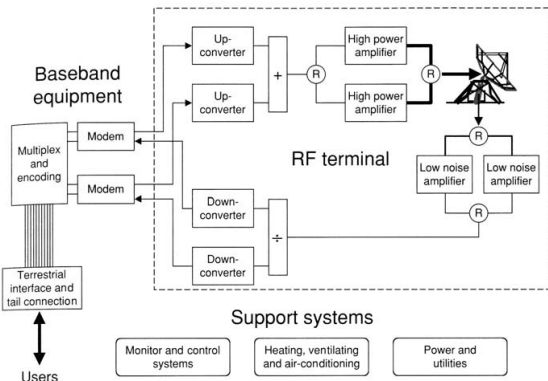


Fig. 2. Estación terrena.

a) Antena

La antena debe tener una alta directividad y un bajo nivel de lóbulos laterales: debe tener un lóbulo principal muy estrecho de manera que al ser dirigido hacia la antena del satélite tanto en transmisión como en recepción garantice los niveles adecuados de potencia de la portadora, pero además, la radiación lateral debe ser muy pequeña para reducir la interferencia de señales indeseadas a la vez que minimiza la interferencia hacia otros satélites y sistemas terrestres [6].

La antena debe tener una temperatura de ruido baja, de manera que la temperatura efectiva de ruido del receptor de la estación terrena, la cual es proporcional a la temperatura de ruido de la antena, pueda mantenerse baja y así reducir la potencia de ruido dentro del ancho de banda de la portadora en el enlace descendente. Para garantizar una contribución al ruido baja, el patrón de radiación de la antena debe ser controlado de forma tal que se minimice la energía recibida

desde otras fuentes distintas al satélite. Además, las pérdidas óhmicas de la antena, que contribuyen de forma directa y apreciablemente a su temperatura de ruido, deben ser minimizadas, lo cual incluye las pérdidas óhmicas de la guía de onda que conecta el amplificador de bajo ruido con el alimentador de la antena [7].

La antena debe ser fácilmente orientable, de manera que un sistema de rastreo (si es requerido) pueda ser empleado para apuntar el haz de la antena con exactitud.

b) El amplificador de alta-potencia

El amplificador de alta-potencia es el encargado de suministrarle ganancia a las señales que se transmiten hacia el satélite. Generalmente se utilizan uno de los siguientes tres tipos de amplificadores de alta potencia en las estaciones terrenas: tubo de onda progresiva *ATOP*, klystron y amplificadores de potencia a estado sólido *APES* (en inglés *SSPA*): diodo *impatt* o GaAs FET. El *ATOP* se utiliza cuando se requiere operar un ancho de banda significativo, por ejemplo, 500 MHz. En aplicaciones en las que se requiere mayor potencia de Salida y operación en anchos de banda más pequeños, el Klystron es una buena elección. Los amplificadores a estado sólido se utilizan en aplicaciones de baja-potencia [8].

La confiabilidad es de extrema importancia en las comunicaciones satelitales. Cuando se utiliza un amplificador de alta potencia solamente, la transmisión se detendrá si dicho amplificador falla. Por lo tanto el amplificador de alta potencia en las estaciones terrenas siempre emplea alguna clase de configuración de redundancia [9].

c) El amplificador de bajo ruido

Los amplificadores de bajo ruido ABR más comúnmente usados en las estaciones terrenas son los amplificadores paramétricos y los amplificadores GaAs FET. Los primeros se usan desde los inicios de las comunicaciones satelitales. Su principal ventaja es su muy baja temperatura de ruido. Los segundos tienen como principales ventajas la estabilidad, la confiabilidad y el bajo costo. Al igual que en el caso de los amplificadores de alta potencia, existen configuraciones de redundancia para el amplificador de bajo ruido con el fin de asegurar la confiabilidad en el funcionamiento (en este caso en el receptor) de la estación terrena.

d) Up-converter

El convertidor hacia arriba (en inglés *up-converter UC*) como se muestra en la figura acepta la portadora de FI (frecuencia intermedia) modulada desde el modulador de portadora de FI y traslada esta frecuencia w_i a la frecuencia w_s de RF del enlace ascendente en el espectro de frecuencia del satélite, mezclando w_i con la frecuencia w_{ol} generada por el oscilador local [1]. Como en los casos anteriores, también se emplean, configuraciones de redundancia para el convertidor hacia arriba [10].

e) Down-converter

El convertidor hacia abajo (en inglés *down-converter DC*) como se muestra en la figura recibe la portadora modulada w_b de RF del enlace descendente en el espectro de frecuencia del satélite desde el amplificador de bajo ruido y traslada esta frecuencia de radio a la frecuencia intermedia w_0 . Al igual que en los dispositivos descritos anteriormente, se implementan también, configuraciones de redundancia para el convertidor hacia abajo

C. Modelos De Comunicación Satelital

1) Modelo de subida

El principal elemento dentro de esta sección es el transmisor de la estación terrena. Un típico transmisor de la estación terrena consiste de un modulador de IF, un convertidor de microondas de IF a RF, un amplificador de alta potencia (HPA) y algún medio para limitar la banda del último espectro de salida (por ejemplo, un filtro pasa-bandas de salida). El modulador de IF convierte las señales de banda base de entrada a una frecuencia intermedia modulada en FM, en PSK o en QAM [4]. El convertidor (mezclador y filtro pasa-bandas) convierte la IF a una frecuencia de portadora de RF apropiada. El HPA proporciona una sensibilidad de entrada adecuada y potencia de salida para propagar la señal al transponder del satélite. Los HPA comúnmente usados son klystrons y tubos de ondas progresivas.

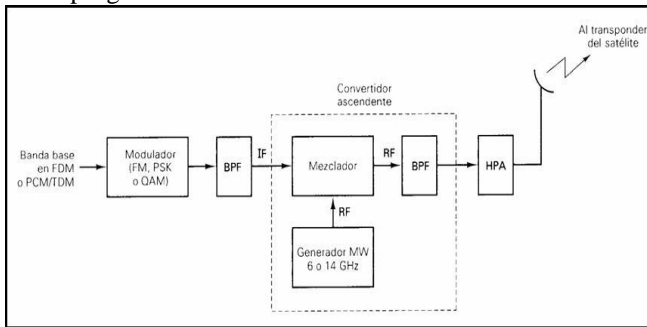


Fig. 3. Diagrama de bloques del modelo de comunicaciones de subida

a) Transponder

Consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada (BPF), un amplificador de bajo ruido de entrada (LNA), un traslador de frecuencia, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa-bandas de salida. El del diagrama es un repetidor de RF a RF. Otras configuraciones de transponder son los repetidores de IF, y de banda base, semejantes a los que se usan en los repetidores de microondas. El BPF de entrada limita el ruido total aplicado a la entrada del LNA (diodo tunel). La salida del LNA alimenta a un traslador de frecuencia (un oscilador de desplazamiento y un BPF), que convierte la frecuencia de subida de banda alta a una frecuencia de bajada de banda baja. El amplificador de potencia de bajo nivel, que es comúnmente un tubo de ondas progresivas, amplifica la señal de RF para su transmisión por medio de la bajada a los receptores de la estación terrena. Cada canal de RF del satélite requiere de un transponder por separado [1].

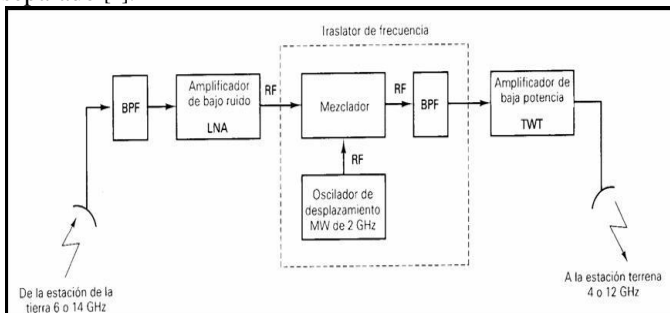


Fig. 4. Diagrama de bloques del modelo de comunicaciones de transponder

b) Modelo de bajada

Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. Nuevamente, el BPF limita la potencia del ruido de entrada al LNA. El LNA es un dispositivo altamente sensible con poco ruido. El convertidor de RF a IF es una combinación de filtro mezclador/pasa-bandas que convierte la señal de RF recibida a una frecuencia de IF [3].

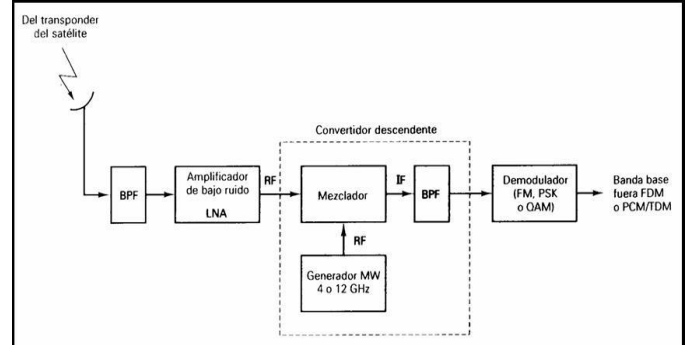


Fig. 5. Diagrama de bloques del modelo de comunicaciones de bajada

c) Enlaces cruzados

Ocasionalmente, hay una aplicación en donde es necesario comunicarse entre satélites. Esto se realiza usando enlaces cruzados entre satélite o enlaces intersatelitales (ISL). Una desventaja de usar un ISL es que el transmisor y receptor son enviados ambos al espacio. Consecuentemente, la potencia de salida del transmisor y la sensibilidad de entrada del receptor se limitan [7].

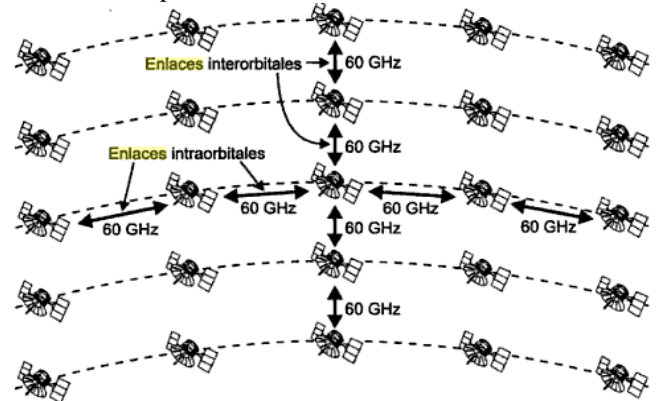


Fig. 6. Enlaces cruzados interorbitales e interorbitales.

III. ENLACE SATELITAL.

A. Simulador

En este proyecto se opta por utilizar STK de la organización AGI (analytical graphics inc por sus siglas en ingles) que es una organización que proporciona una capa dinámica al sistema de información geográfico normal. Esta tecnología usa el producto de búsqueda insignia el STK (Satellite Tool Kit), entrega el software probado para el desarrollo oportuno, rentable, despliegue de espacio avanzado, defensa y las aplicaciones de inteligentes. el análisis geo-espacial puede calcular las situaciones precisas de plataformas dinámicas o satélites, [4] los recursos y movimiento de sensor; de modelos y campos de vista para la adquisición y planificación de la recolección de datos. Es una organización a la cual recurre el

departamento de defensa de los Estados Unidos de América, para optimizar los procedimientos en defensa por medio de los satélites, detección de amenazas de ataques con misiles entre otras cosas [2].

STK es un software que permite contemplar un gran número de variables en los distintos escenarios que se tienen presupuestados utilizar en este proyecto, posee una base de datos en donde están pre cargados aproximadamente 1421 satélites, son todas las características reales que poseen y que además son utilizados actualmente por diferentes entidades, contempla alrededor de 150 modulaciones que pueden ser utilizadas en los enlaces satelitales, se pueden ubicar estaciones terrenas en cualquier parte del globo terráqueo tanto fijas como móviles (por medio de coordenadas geográficas), muestra además una gran cantidad de antenas que con las características con las cuales deben ser implementadas (frecuencias de trabajo, sensibilidad, polarización, modulación, potencias etc.), además con cálculos que se realicen se puede configurar las orbitas, ángulo de elevación, ángulo de azimuth, altitud, retardo en la propagación; con todas las características mencionadas se podrá realizar la simulación en los diferentes escenarios de una manera objetiva enfocándose en lo que concierne al proyecto [10].

B. Diseño e implementación de los escenarios.

Se desarrollara una planeación de un enlace satelital entre tres estaciones terrenas en diferentes partes del globo terráqueo con un satélite de órbita circular.

TABLA I
PARAMETROS DEL SEGMENTO ESPACIAL

PARÁMETRO	VALOR
PIRE de saturacion del trasponder	5dBW
Ancho de banda	32MHz
Desidad de flujo de saturacion (SFD)	-150dBW/32MHz
G/T del sistema de recepcion	-7dB/K
Relacion portadora a interferencia cocanal	17 dB
Intermodulación del transponder	-37 dBW 4KHz
Relacion de ganacia de potencia de compresion	3dB

TABLA II
PARAMETROS DE LAS ESTACIONES TERRENAS

PARÁMETRO	BOGOTÁ	MADRID	SUDAFRICA
Latitud	4.6302°N	40.4422°N	-26.3°N
Longitudud	285.9195°E	356.3090°E	28.08°E
Altura sobre el nivel del mar	2600m	640m	1700m
Diametro de la antena	1m	1m	1m
Ganancia de la antena	20dBi	20dBi	20dBi
Eficiencia de la antena	55%	55%	55%
B	2dB	4dB	4dB
Rastreo	Automatico	Automatico	Automatico

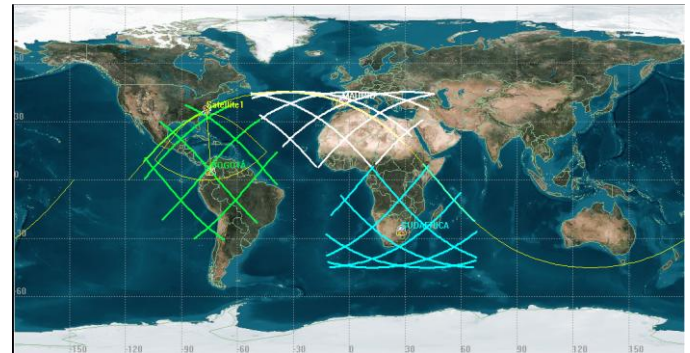


Fig. 7. Escenario en 2D

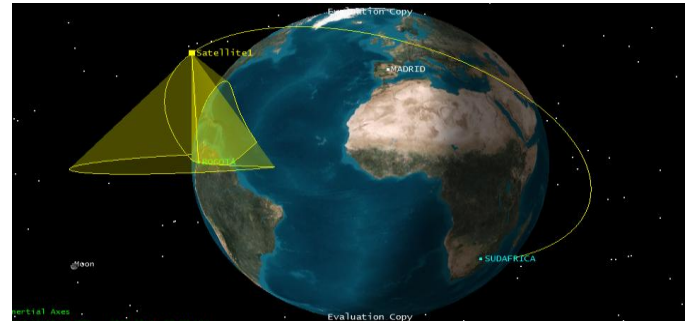


Fig. 7. Escenario en 3D.

C. Escenario con restricción en RIP

Se muestra con que periodo hay enlace cuando el satélite pasa por las estaciones terrenas con una restricción en el RIP, lo que se pretende con esta prueba es:

- Reconocer los cambios que presenta el enlace con la restricción en RIP
- Consolidar los procedimientos y metodologías que se utilizan en un enlace satelital a través de prueba en el escenario implementado para este enlace.
- Desarrollar a manera de ilustración un enlace satelital en el simulador (STK), para el satélite intelsat de órbita circular con restricción en RIP.
- Obtener los cálculos de todos los parámetros del enlace satelital proporcionados por el software (STK).

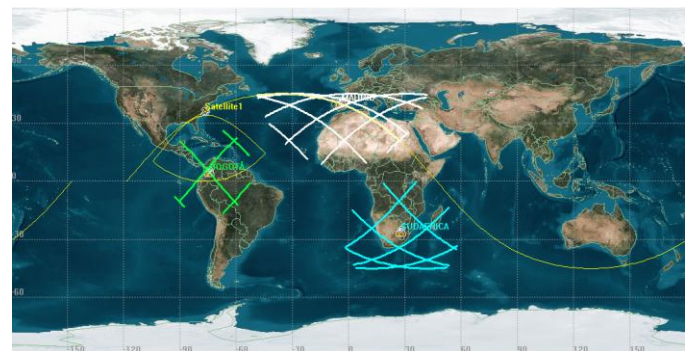


Fig. 8. Escenario en 2D, con una restricción en RIP de -140dBW

D. Escenario con restricción en DOPPLER SHIFT

Se muestra con que periodo hay enlace cuando el satélite pasa por las estaciones terrenas con una restricción en el DOPPLER SHIFT (-50KHz A 50KHz), lo que se pretende con esta prueba es:

- Reconocer los cambios que presenta el enlace con la restricción con doppler shift (corrimiento de frecuencia).
- Consolidar los procedimientos y metodologías que se utilizan en un enlace satelital a través de prueba en el escenario implementado para este enlace.
- Desarrollar a manera de ilustración un enlace satelital en el simulador (STK), para el satélite INTELSAT de órbita circular con restricción en doppler shift.
- Obtener los cálculos de todos los parámetros del enlace satelital proporcionados por el software (STK).

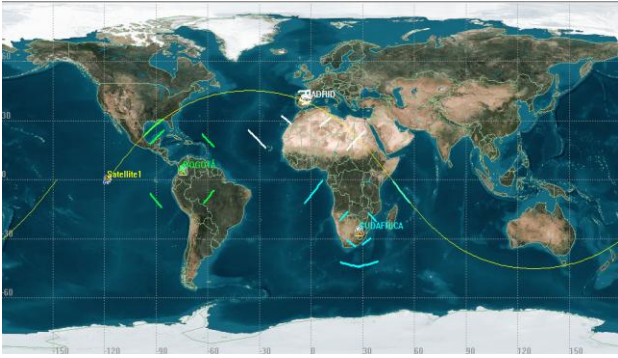


Fig. 9. Escenario en 2D, con una restricción en DOPPLER SHIFT de -50KHz A 50KHz

E. Escenario con restricción en FLUX DENSITY

Se muestra con que periodo hay enlace cuando el satélite pasa por las estaciones terrenas con una restricción en el FLUX DENSITY, lo que se pretende con esta prueba es:

- Reconocer los cambios que presenta el enlace con la restricción en flux density
- Consolidar los procedimientos y metodologías que se utilizan en un enlace satelital a través de prueba en el escenario implementado para este enlace.
- Desarrollar a manera de ilustración un enlace satelital en el simulador (STK), para el satélite INTELSAT de órbita circular con restricción en flux density.
- Obtener los cálculos de todos los parámetros (PIRE, PIR, BER, FLUX DENSITY) del enlace satelital proporcionados por el software (STK).

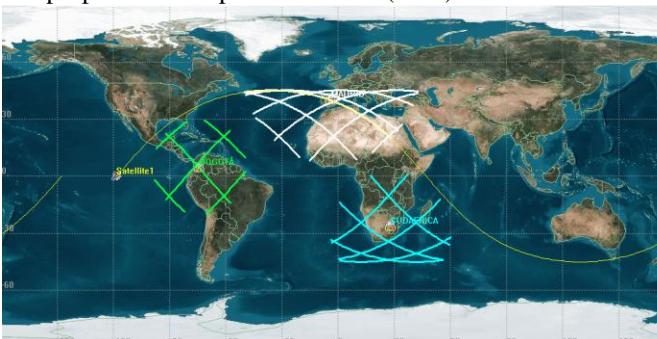


Fig. 10. Escenario en 2D, con una restricción en FLUX DENSITY.

F. Escenario con restricción en CARRIER NOISE RATIO

Se muestra con que periodo hay enlace cuando el satélite pasa por las estaciones terrenas con una restricción en el CARRIER TO NOISE RATIO, lo que se pretende con esta prueba es:

- Reconocer los cambios que presenta el enlace con la restricción en Carrier to Noise Ratio
- Consolidar los procedimientos y metodologías que se utilizan en un enlace satelital a través de prueba en el escenario implementado para este enlace.
- Desarrollar a manera de ilustración un enlace satelital en el simulador (STK), para el satélite intelsat de órbita circular con restricción en Carrier to Noise Ratio.
- Obtener los cálculos de todos los parámetros del enlace satelital proporcionados por el software (STK).

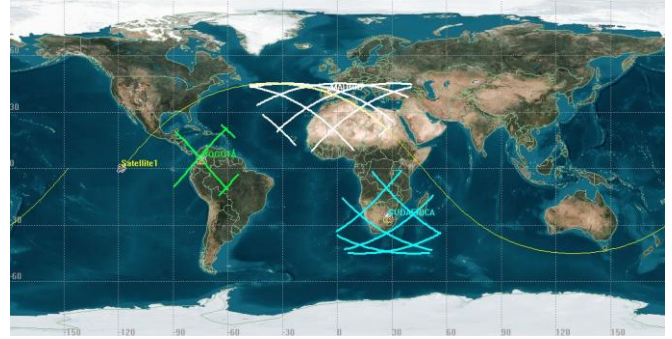


Fig. 11. Escenario en 2D, con una restricción en CARRIER TO NOISE RATIO.

G. Escenario con restricción para sistemas digitales.

Que se cumplan los requerimientos mínimos para que se pueda realizar entre el satélite y las estaciones terrenas, lo que se pretende con esta prueba es:

- Reconocer los cambios que presenta el enlace con la restricción en digital systems
- Consolidar los procedimientos y metodologías que se utilizan en un enlace satelital a través de prueba en el escenario implementado para este enlace.
- Desarrollar a manera de ilustración un enlace satelital en el simulador (STK), para el satélite intelsat de órbita circular con restricción en digital systems.
- Obtener los cálculos de todos los parámetros del enlace satelital proporcionados por el software (STK).

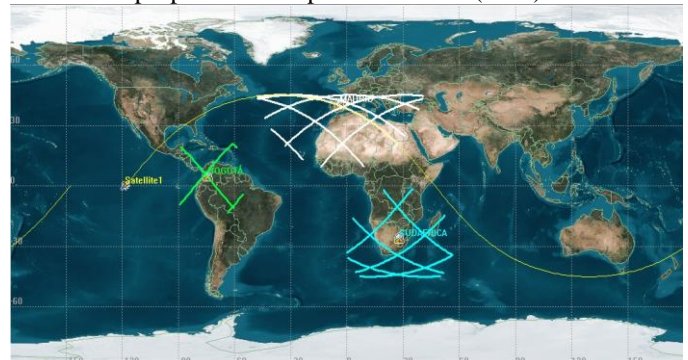


Fig. 12. Escenario en 2D, con una restricción para sistemas digitales.

IV. CONCLUSION

- Los elementos que interactúan en el enlace satelital son básicamente, la estación terrena y el satélite porque permiten aplicar tres modelos de comunicación (subida, de bajada y trasponder), estos a su vez están conformados por varios componentes (antena, subsistemas de comunicación, repetidor de comunicaciones, amplificador de potencia, entre otros)

- que cumplen una determinada función en el enlace geo-espacial.
- Existen cuatro modelos de comunicación satelital (de subida, de bajada, trasponder y cruzados), estos son utilizados según los requerimientos que posea el enlace satelital.
 - La determinación de los ángulos de vista, es parte fundamental del enlace debido a que estos permiten orientar las antenas de las estaciones terrenas hacia el satélite para que haya cobertura y el enlace funcione debidamente.
 - STK cumple con las mejores características para realizar simulaciones de enlaces satelitales respecto a MATLAB y OPNET, debido a las características mencionadas en la tabla 6.
 - Para el diseño de los escenarios es necesario saber los requerimientos, las normas y los estándares que se deben tener en cuenta a la hora de realizar un enlace satelital, para este trabajo se tomaron en cuenta los estándares proporcionados por INTELSAT, para estaciones terrenas y segmentos espaciales.
 - Al utilizar las normas, estándares y requerimientos específicos, los escenarios se asemejan más al comportamiento real del enlace de comunicaciones satelital permitiendo contemplar mayor número de parámetros para el enlace.
 - A la hora de implementar de los escenarios es absolutamente necesario tener conocimiento en el manejo del software, para saber en donde se deben introducir los parámetros, para que así la simulación funcione y los resultados que arroje sean los que cumplan con el enlace y no otros.
 - La ubicación geográfica de las estaciones terrenas altera directamente el comportamiento del enlace satelital, debido a los ángulos de vista y las condiciones climáticas de cada sector en donde se encuentren localizadas.
 - STK entrega datos que se asemejan a la realidad, debido a que logra simular el entorno de forma muy similar a la realidad, tomando en cuenta un gran número de variables que pueden afectar el enlace satelital.
 - Las restricciones en los factores que influyen en el enlace satelital (PIRE, PIR, BER, FLUX DENSITY, CARRIER TO NOISE RATIO), influyen directamente en el desarrollo del mismo, ocasionando que cambien los periodos de en donde sucede el enlace.
 - El desarrollo de la guía ayudara a los estudiantes interesados en el tema a entender mejor el funcionamiento de un enlace satelital, ilustrando en conceptos y practica del enlace satelital simulado.

REFERENCIAS

- [1] R. Wangsnes. *campos electromagneticos*. Mexico: limusa 2009.
- [2] M. Brown. *Compendium of Communication and Broadcast Satellites*. new york: IEEE 1980.
- [3] E. Bruce. *Introduction To Satellite Communication*. Boston: Aatech Huose 2008.
- [4] G. Coraza. *Digital Satellite Communnications*. Bologna: Springer 2007.
- [5] J. C. Gomez. *Sistemas De telecomunicaciones*. Bogotá, 2005.
- [6] M. Brown . *Compendium of Communication and Broadcast Satellites*. new york: IEEE 1980.
- [7] E. Bruce. *Introduction To Satellite Communication*. Boston: Aatech Huose 2008.
- [8] D. Roddy . *Satellite Communication*. United States Of America: McGraw-Hill 2006.
- [9] M. Moher. *Moder Wireless Communications*. United States Of America: Pearson Iinternational 2005.
- [10] W. Tomasi. *Comunicaciones electronicas*. Mexico: Prentice hall 2008.