

SIMULACIÓN DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES GEO-ESPACIAL.

GABRIEL ARTURO CARDENAS PERILLA.

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2010 I**

SIMULACIÓN DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES GEO-ESPACIAL.

**GABRIEL ARTURO CARDENAS PERILLA.
042074
GABRIEL.CARDENAS.PERILLA@GMAIL.COM**

MONOGRAFÍA

**ASESOR TÉCNICO
ING. JORGE ARÉVALO ALDANA**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2010 I**

Nota de aceptación

Ing. Jorge Arévalo Aldana
Asesor Técnico

Ing. Joaquín Sánchez
Jurado 1

Ing. Jesús Rojas
Jurado 2

Bogotá D.C., 8 de Junio de 2010

A mis padres por su amor, comprensión y apoyo incondicional, a mi señora y mis hijos por la paciencia, a mis hermanas por la colaboración, y a todas las personas que siempre han creído mí.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá, Lucy Perilla Vaca; a mi papá Arturo Cardenas, por permitirme tener la oportunidad de hacer una carrera profesional; a mi señora Francy Bonilla, mis hijos Alejandra Cardenas Bonilla y Juan José Cardenas Bonilla, por ser un motivo para convertirme en un profesional; mis hermanas Vannesa Cardenas, Angie Cardenas, por ayudarme en los momentos difíciles, porque nunca me dejaron renunciar a mi sueño; al Ing. Jorge Alberto Arévalo Aldana que me acompañó a lo largo de este proceso, al igual que el Ing. Hans Igor López Chávez; a los profesores, que aportaron sus conocimientos para lograr culminar este proyecto, y a mis amigos, que de una u otra manera hicieron esto posible.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. MARCO REFERENCIAL	20
4.1 ANTECEDENTES	20
4.2 MARCO CONCEPTUAL	21
4.3 MARCO TEÓRICO	22
4.3.1 Clasificación de satélites.	22
4.3.2 Medio de trasmisión.	25
4.3.3 La estación terrena.	25
4.3.4 Topología de la red.	25
4.3.5 Interconexión del Núcleo de la red UMTS	28
4.3.6 Limitaciones del componente satelital	28
4.3.7 Modulación	30
4.3.8 Demodulación	31

4.3.9	El acceso múltiple, asignación y las arquitecturas de la red	32
4.3.10	Perdidas	35
4.3.11	Interferencia	38
4.4	ESTADO DEL ARTE	40
4.4.1	Tecnología AGI	40
4.4.2	Satélites de comunicaciones.	41
4.4.3	Satelites de navegacion.	42
4.4.4	Satélites De Teledetección	43
4.4.5	Satélites militares	44
4.5	LIMITACIONES Y ALCANCES	45
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	46
5.1	UNIDAD DE ANÁLISIS	46
5.2	TIPO DE ESTUDIO	46
5.3	INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS	46
6.	DESARROLLO	47
6.1	ELEMENTOS QUE INTERACTÚAN EN UN ENLACE SATELITAL.	47
6.1.1	El satélite	47
6.1.2	Estación Terrena	48
6.2	MODELOS DE ENLACE DEL SISTEMA SATELITAL	51
6.2.1	Modelo de subida	51

6.2.2	Transponder	52
6.2.3	Modelo de bajada	52
6.2.4	Enlaces cruzados	53
6.2.5	Ángulos de vista	53
6.3	SIMULADOR	54
6.4	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS ESCENARIOS.	56
6.4.1	Escenario I para el satélite de prueba con tres estaciones terrenas.	56
6.4.2	Escenario II con restricción en RIP.	56
6.4.3	Escenario III con restricción doppler shift.	57
6.4.4	Escenario IV con restricción en Flux Density.	58
6.4.5	Escenario V con restricción en Carrier to Noise Ratio.	58
6.4.6	Escenario VI para sistemas digitales (BER).	58
6.5	MANUAL STK	58
6.6	guia de trabajo para los escenarios.	59
7.	RUEBAS Y RESULTADOS	62
7.1	SATELITE CIRCULAR	62
7.1.1	Objetivos de la prueba	62
7.1.2	Recursos	62
7.1.3	Proceso	62
7.1.4	Resultados esperados	62

7.1.5	Resultados obtenidos	62
7.1.6	Conclusiones.	63
7.2	SATELITE CIRCULAR CON RESTRICCIÓN EN RIP	63
7.2.1	Objetivos de la prueba	63
7.2.2	Recursos	63
7.2.3	Proceso	63
7.2.4	Resultados esperados	63
7.2.5	Resultados obtenidos	64
7.2.6	Conclusiones.	64
7.3	SATELITE CIRCULAR CON RESTRICCIÓN EN DOPPLER SHIFT	64
7.3.1	Objetivos de la prueba	64
7.3.2	Recursos	64
7.3.3	Resultados esperados	65
7.3.4	Resultados obtenidos	65
7.3.5	Conclusiones.	65
7.4	SATELITE CIRCULAR CON RESTRICCIÓN EN FLUX DENSITY	65
7.4.1	Objetivos de la prueba	65
7.4.2	Recursos	65
7.4.3	Proceso	66
7.4.4	Resultados esperados	66

7.4.5	Resultados obtenidos	66
7.4.6	Conclusiones.	66
7.5	SATELITE CIRCULAR CON RESTRICCIÓN EN CARRIER NOISE RATIO	67
7.5.1	Objetivos de la prueba	67
7.5.2	Recursos	67
7.5.3	Proceso	67
7.5.4	Resultados esperados	67
7.5.5	Resultados obtenidos	67
7.5.6	Conclusiones.	68
7.6	SATELITE CIRCULAR CON RESTRICCIÓN PARA SISTEMAS DIGITALES	68
7.6.1	Objetivos de la prueba	68
7.6.2	Recursos	68
7.6.3	Proceso	68
7.6.4	Resultados esperados	69
7.6.5	Resultados obtenidos	69
7.6.6	Conclusiones.	69
8.	CONCLUSIONES	70
9.	RECOMENDACIONES	71
	GLOSARIO	72
	BIBLIOGRAFÍA	74

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Secuencia de la puesta de un satélite en órbita.	24
Figura 2. Estación terrena de comunicaciones.	26
Figura 3. Esquema CDMA	36
Figura 4. Satélite utilizado para telecomunicaciones.	41
Figura 5. Satélite de comunicaciones.	42
Figura 6. Satélite para sistemas GPS.	43
Figura 7. Partes del repetidor de comunicaciones	49
Figura 8. Up-converter	51
Figura 9. Down-converter	51
Figura 10. Trasponder.	52
Figura 11. Enlaces interorbitales e intraorbitales	53
Figura 12. Escenario en general 2D	57
Figura 13. Escenario general en 3D	57
Figura 14. Escenario con restricción en flux density.	58

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Comparacion de orbitas para comunicaciones satelitales	23
Tabla 2. Tipos de modulaci3n	32
Tabla 3. Peridas por apuntamiento	36
Tabla 4. Perdidas atmosfericas con un angulo de 10°	37
Tabla 5. Valores tipicos de desvanecimiento por lluvia	37
Tabla 6. Características de los simuladores	54
Tabla 7. Parametros del segmento espacial	56
Tabla 8. Parametros de las estaciones terrenas	56

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO 1. Manual de STK (Ver anexo digital)	75
ANEXO 2. Escenario I con las condiciones iniciales	75
ANEXO 3. Datos Sudafrica escenario I	76
ANEXO 4. Datos Madrid escenario I.	77
ANEXO 5. Datos Bogotá escenario I.	78
ANEXO 6. Escenario II (RIP A -140dBW.)	79
ANEXO 7. Datos Sudafrica escenario II.	80
ANEXO 8. Datos Madrid escenario II	81
ANEXO 9. Datos Bogotá escenario II	82
ANEXO 10. Escenario III doppler shift(-50KHz A 50KHz)	83
ANEXO 11. Datos Sudafrica escenario III	84
ANEXO 12. Datos Madrid escenario III	85
ANEXO 13. Datos Bogotá escenario III	86
ANEXO 14. Escenario IV a $-100dBW/m^2$	87
ANEXO 15. Datos Sudafrica escenario IV	88
ANEXO 16. Datos Madrid escenario IV	89
ANEXO 17. Datos Bogotá escenario IV	90
ANEXO 18. Escenario V C/N 10 dB	91
ANEXO 19. Datos Sudafrica escenario V	92
ANEXO 20. Datos Madrid escenario V	93
ANEXO 21. Datos Bogotá escenario V	94
ANEXO 22. Escenario VI data rate a 12 Mbps min Eb/N0 to 15 dB	95
ANEXO 23. Datos Sudafrica escenario VI	96
ANEXO 24. Datos Madrid escenario VI	97
ANEXO 25. Datos Bogotá escenario VI	98

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.

Los pasos que se relacionan a continuación, resumen, el procedimiento a seguir para diseñar enlaces satelitales.

- Se escoge el satélite de acuerdo a la ubicación de los puntos a enlazar. Una vez seleccionados los sitios o emplazamientos donde estarán ubicadas las estaciones terrenas y el satélite de comunicaciones, se conocen, por lo tanto, la latitud, longitud y altitud de dichos emplazamientos y la longitud del satélite; donde los datos son pautas que serán utilizados como parámetros iniciales de la simulación en el software.
- Se escoge el transponder que interconectara a los dos puntos a enlazar teniendo en cuenta disponibilidad y potencia.
- Una vez seleccionado el transponder y de acuerdo al plan de frecuencias del satélite se seleccionan las frecuencias.
- Se escogen los parámetros del segmento espacial, según el satélite seleccionado.
- Se escogen los parámetros de la estación terrena, según su ubicación geográfica: tipo de antena y en general los parámetros de los sistemas de transmisión y recepción empleados.
- Se escogen los parámetros de la portadora. Este paso es fundamental para determinar el ancho de banda de transmisión.
- Se introducen los datos en el software para determinar la relación portadora a temperatura equivalente de ruido total $(C/T)_T$ y compararla con la relación portadora temperatura equivalente de ruido proyectada $(C/T)_P$, y verificar entonces que se cumplen los criterios de calidad del enlace (el BER seleccionado para el ancho de banda de transmisión requerido).

Debido a la secuencia de los pasos anteriores se logró realizar la simulación del enlace satelital satisfactoriamente, luego se recopilaron estos procedimientos en guías de trabajo que podrán ser utilizadas por estudiantes de la facultad que se interesen en el tema de manejo de software STK.

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 recta 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 en la 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 implementarán 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 la conocimiento en enlaces satelitales por medio del software STK.

1. PROBLEMA

Pese a que en la actualidad se tienen grandes avances tecnológicos en las telecomunicaciones, en donde es posible crear redes más consistentes, con mayor capacidad de tráfico y excelentes niveles de calidad, con posibilidades de enviar voz, video, datos, etc.; hacer el montaje de estas redes ó trabajar con radiofrecuencias en la vida real es complicado, en primer lugar por los recursos económicos, en segundo lugar hay que tener conocimiento adecuado del tema de enlaces satelitales, en tercer lugar los instrumentos físicos como una estación terrena para poder realizar el enlace, el alquiler del satélite o para poder enviar un satélite, se necesitan permisos, entre otros aspectos.

Un inconveniente que se presenta es, que no se hace un énfasis claro en el tema de enlaces satelitales, ocasionando falencias en las competencias profesionales que un estudiante deba tener, debido que cuando se toca el tema respectivo a un enlace satelital se hace hincapié en aplicaciones de temas importantes para la ingeniería electrónica y telecomunicaciones tales como ondas electromagnéticas, antenas, redes, comunicaciones inalámbricas entre otros.

Es un tema complicado de abarcar debido a que para realizar un enlace satelital se tienen que tener en cuenta un gran número de variables, tipos de equipos que se van a utilizar en la estación terrena y el satélite, las frecuencias en las cuales va a trabajar el sistema, tanto en subida (de la estación terrena al satélite) como en bajada (del satélite a la estación terrena), tipos de acceso, los puntos que se desean enlazar, los parámetros de la señal portadora; es un paso muy importante esta proporcionara el ancho de banda con el cual se trabajara, los cálculos en los cuales se contemplan factores como el medio de trasmisión, verificación de en el cumplimiento de los criterios de calidad del sistema.

Por demás surgen las preguntas ¿Cómo funciona un enlace satelital? ¿Qué equipamientos se pueden y se deben utilizar para realizar el enlace? ¿Cuáles son las condiciones mínimas de calidad para realizar un enlace geo-espacial? ¿Qué factores se deben tener en cuenta para el enlace? ¿Cuáles son los cálculos a realizar?

2. JUSTIFICACIÓN

La simulación del enlace de comunicaciones geo-espacial proporcionará varios escenarios e implementaciones, con diferentes condiciones. Donde estas permitirán realizar comparaciones en los parámetros fundamentales, como en las diferentes técnicas ya mencionadas. Estas diferencias mostrarán sus ventajas e inconvenientes y de esta manera se analizará el enlace; así, se podrán proporcionar conocimientos teóricos de cómo se realiza un enlace de comunicaciones geo-espacial.

La ventaja de realizar una simulación de un enlace de comunicaciones satelital para mostrar su funcionamiento y comportamiento es que se puede contemplar en diferentes escenarios, facilitando así la observación de las diferentes variables y el comportamiento de éste.

Este proyecto podría repercutir de una manera favorable en los estudiantes de la facultad de ingeniería, del programa de electrónica y telecomunicaciones, para convertirse en un instrumento con la respuesta a preguntas de lo relacionado a un enlace de comunicaciones satelitales; debido a que se construirían bases en este campo, donde los estudiantes podrían interactuar en su vida profesional sirviendo así como una herramienta que los ayude a desenvolverse de una manera más satisfactoria.

La parte económica es muy importante debido al costo tan elevado que se requiere para realizar un enlace satelital. Para dar un ejemplo pormenorizado de los costos se observa que es aproximadamente de USD 314.260 (trescientos catorce mil doscientos sesenta) dólares, es el precio aproximado para la implementación de un enlace satelital, mientras que para realizar la simulación se utilizará un software libre.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la simulación de un enlace de comunicación geo-espacial asistida por software, donde se evalué el comportamiento del enlace en diferentes escenarios.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la interacción entre los elementos en un enlace satelital, y cuáles son los que se utilizan para la realización de un enlace de comunicación geo-espacial.
- Recopilar las características de los principales modelos de comunicación geo-espacial que se han desarrollado y usado en este tipo de enlaces.
- Seleccionar una herramienta donde se implementarán las simulaciones diseñadas.
- Diseñar los diferentes escenarios de simulación que permitan recolección de datos, las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.
- Implementar los escenarios en la herramienta de simulación seleccionada.
- Realizar las pruebas de comportamiento de los escenarios implementados.
- Generar una guía de trabajo por cada escenario diseñado.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

Arthur C. Clark escribió el primer artículo conocido sobre satélites de comunicaciones. "Extra-Terrestrial Relays" se publicó en Wireless World en 1945. En el artículo, Clark examinó la órbita terrestre geoestacionaria y la posibilidad de cubrir la tierra con tres satélites, mas sin embargo el viaje real al espacio empezó a 4 de octubre 1957 (NASA, 2007).

Cuando la Unión Soviética lanzó el Sputnik 1, la primera nave espacial, que orbitaba el mundo durante tres meses. Un mes más tarde, los soviéticos lanzaron el Sputnik 2, y su pasajero Laika, un perro que tiene la distinción de ser el primer ser vivo conocido en viajar al espacio exterior, en febrero de 1958, los Estados Unidos lanzó el Explorer 1.

El primer satélite de comunicación fue lanzado el 18 de diciembre de 1958, que transmitía un mensaje de Navidad del Presidente Eisenhower - "Paz en la Tierra, la buena voluntad hacia los hombres" - en órbita de la Tierra durante 12 días hasta que la energía que almacenada se termino, convirtiéndose así en basura espacial. El objetivo principal del proyecto SCORE (nombre de la primera misión de comunicación satelital) era probar que un misil Atlas podría ser puesto en órbita.

Cuando los países EE.UU. y URSS se unieron para el avance de esta tecnología fueron lanzados seis satélites en 1958, 14 satélites en 1959, 19 en 1960 y 35 en 1961. En 1962, el Reino Unido y Canadá puso en marcha de sus propios satélites, junto con los 70 satélites lanzados por los EE.UU. Y URSS. El 12 de agosto de 1960, los Estados Unidos lanzó Echo 1, un satélite reflector pasivo, sin posibilidades de amplificación. Echo 1 sólo puede reflejar la radiación a la Tierra. En el momento de su lanzamiento, se pensó que los satélites pasivos podrían tener un propósito en las comunicaciones, pero la tecnología fue pronto abandonada. Bell Telephone Laboratories colaboradora en el proyecto Echo 1, y con los conocimientos adquiridos trabajando en el lanzamiento del primer satélite pasivo, Bell ayudó a desarrollar Telstar, un satélite experimental que retransmiten señales de televisión. Telstar fue puesto en órbita terrestre media, en 1962. En los seis meses siguientes fueron puestas en marcha las estaciones terrenas en los Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia, esto se utilizo para llevar a cabo alrededor de 400 transmisiones de múltiples canales con teléfono, telégrafo, fax y señales de televisión, se presentaron más de 250 pruebas técnicas y mediciones. Cobertura casi completa de la Tierra (con exclusión de las zonas polares) se logró con el desarrollo de Intelsat y el lanzamiento de satélites en órbita terrestre geoestacionaria sobre el Océano Atlántico (1965), Pacífico (1967), y de los océanos Índico (1969) (NASA, 2007).

Hasta el día de hoy han sido lanzados innumerable cantidad de satélites con diferentes fines. Así mismo los enlaces satelitales también son un número considerable (NASA, 2007).

4.2 MARCO CONCEPTUAL

El uso de los satélites en los sistemas de comunicación es en gran medida un hecho de la vida cotidiana, como lo demuestran los muchos hogares equipados con antenas, utilizadas para la recepción de televisión vía satélite. Lo que no puede ser tan conocido es que los satélites constituyen una parte esencial de las telecomunicaciones sistemas en todo el mundo, llevando grandes cantidades de datos y tráfico telefónico, además de señales de televisión. Los satélites ofrecen una serie de características no disponibles con otros medios de comunicación. Debido a que hay áreas grandes de la tierra que son visibles desde un satélite, el satélite es el punto estrella del programa de comunicación net, que a la vez une a usuarios que pueden estar ampliamente separados geográficamente. La misma característica permite a los satélites proporcionar enlaces de comunicación a las comunidades remotas de baja densidad de población áreas que son de difícil acceso por otros medios. Por supuesto, las señales de satélite ignoran las fronteras políticas, así como los geográficos, que pueden o no puede ser una característica deseable (Roddy, 2006).

Las redes satelitales utilizan como medios de transmisión satélites artificiales, localizados en órbita alrededor de la tierra. En este tipo de redes los enrutadores tienen una antena por medio de la cual pueden enviar y recibir. Todos los enrutadores pueden oír las salidas enviadas desde el satélite y en algunos casos pueden también oír la transmisión ascendente de los otros enrutadores hacia el satélite.

La tecnología de redes satelitales, representada por satélites poderosos y complejos y el perfeccionamiento de las estaciones terrenas están revolucionando el mundo. Así por ejemplo, la necesidad de interconectar terminales remotos con bases de datos centralizadas, de una manera veloz y eficiente, han conducido a una nueva tecnología conocida como "Very Small Apertura Terminal (VSAT)".

Un satélite artificial puede amplificar las señales antes de que el mismo realice la devolución de la señal, esto los hace ver como un gran repetidor de señales en el cielo. El satélite contiene varios transpondedores, cada uno de los cuales capta alguna porción del espectro, amplifica la señal de entrada y después la re-difunde en otra frecuencia para evitar la interferencia con la señal de entrada. Los haces retransmitidos pueden ser amplios y cubrir una fracción substancial de la superficie de la tierra, o estrechos y cubrir un área de solo cientos de Kms. de diámetro.

Cuando se habla de la simulación de un sistema, cualquiera que sea su naturaleza, se busca poder contemplar un determinado número de variables y escenarios para evaluar el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones y de esta forma obtener resultados que ayuden a aclarar las características del mismo; en el caso de este proyecto se busca realizar la simulación de un enlace satelital, para lo cual se necesita cierta cantidad de instrumentos y características que se mencionarán a continuación. Una estación terrena de emisión y/o varias de recepción están conformadas por dos partes, un terminal RF (radio frecuencia) el cual consta de un up converter y down converter, un amplificador de alta potencia, un amplificador de bajo ruido y una antena la cual transmite y recibe simultáneamente hacia y desde el satélite, la otra parte es un terminal BB (banda base), el cual consta de un equipamiento de banda base, un codificador y un decodificador, un modulador y un demodulador.

El satélite está compuesto por un down converter de frecuencias, un amplificador de bajo ruido, un demultiplexor de entrada, un amplificador de potencia, un multiplexor de salida y una antena (Bruce, 2008).

Las características del medio de transmisión, se tendrá en cuenta para las pérdidas que puede tener el enlace debido a las diferentes condiciones del espacio (Gomez, 2005).

4.3 MARCO TEÓRICO

Para realizar un enlace satelital se deben tener en cuenta ciertos aspectos tales como el tipo de satélites que se deben utilizar, las bandas de frecuencias en las cuales se pueda realizar un enlace, tipos de acceso, las condiciones del medio de transmisión (troposfera y estratosfera) y estaciones terrenas. (Dennis, 2006)

4.3.1 Clasificación de satélites.

4.3.1.1 Por su órbita:

- Satélites de órbita geostacionaria
- Satélites de órbita baja
- Satélites de órbita elíptica excéntrica

4.3.1.2 Por su finalidad:

- Satélites de Telecomunicaciones (Radio y Televisión)
- Satélites Meteorológicos.
- Satélites de Navegación.

- Satélites Militares y espías.
- Satélites de Observación de la tierra.
- Satélites Científicos y de propósitos experimentales.
- Satélites de Radioaficionado.

Ver figura 1 donde se muestra la secuencia de cómo se pone un satélite en órbita.

Tabla 1. Comparacion de orbitas para comunicaciones satelitales

ORBITAS	ÓRBITA BAJA	ORBITA MEDIA	ORBITA ALTA	ORBITA GEOESTACIONARIA
CONSTREÑIMIENTOS DEL AMBIENTE	ACTUALMENTE BAJO	BAJO/MEDIO	MEDIO/ALTO	BAJO
PERIODO ORBITAL	1.5-2 h	5-10h	12h	24h
RANGO DE ALTITUD	500-1500Km	8000-18000Km	HASTA 40000Km	>40000Km
DURACIÓN DE LA VISIBILIDAD	15-20Min/PASO	2-8H/PASO	8-11H/PASO	PERMANENTE
ELEVACIÓN	RÁPIDA VARIACIÓN: ALTA Y ÁNGULOS BAJOS	LENTA VARIACIÓN: ÁNGULOS ALTOS	SIN VARIACIÓN: ALTOS ÁNGULOS	SIN VARIACIÓN: ÁNGULOS BAJOS Y LATITUDES ALTAS
RETRASO DE LA PROPAGACIÓN	VARIOS MILLISEGUNDOS	DECENAS DE MILLISEGUNDOS	CIENTOS DE MILLISEGUNDOS	>250 MILLISEGUNDOS
PRESUPUESTO DEL ENLACE (DISTANCIA)	FAVORABLE: COMPATIBLE CON PEQUEÑOS SATÉLITES Y ESTACIONES PORTÁTILES	MENOS FAVORABLE	NO FAVORABLE PARA TERMINALES PORTÁTILES O PEQUEÑAS	NO FAVORABLE PARA TERMINALES PORTÁTILES O PEQUEÑAS
CONVERGENCIA INSTANTÁNEA A TIERRA (CON DIÁMETRO DE ELEVACIÓN 10°)	≈6000Km	≈12000-15000Km	HASTA 16000Km	>16000Km
EJEMPLOS DE SATÉLITES	IRIDIUM GLOBALSTAR TELEDESIC SKYBRIDGE	ODYSSEY INMARSAT P21	MOLINYA ARCHIMEDES	INTELSAT INTERPOUNTIK ENMARSAT

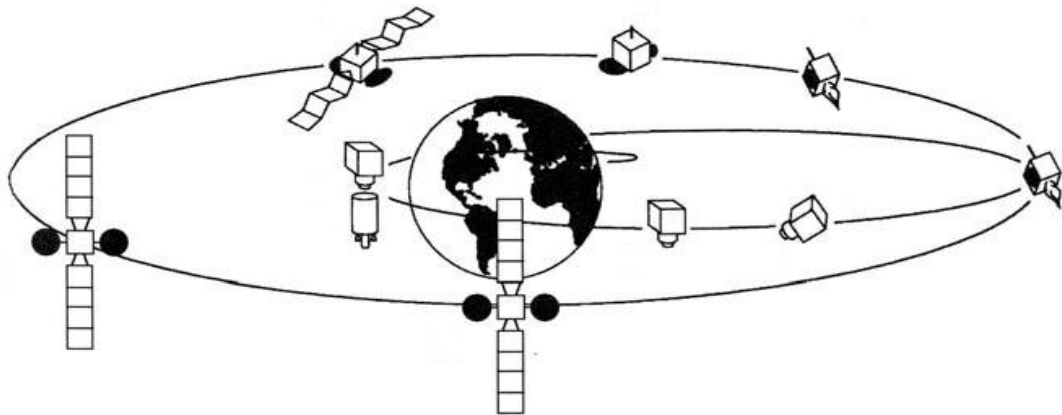
(ITU, 2007).

4.3.1.3 Por bandas de frecuencias

Todos los entes que quieran realizar un enlace satelital deben tener en cuenta cuál es la parte del espectro electromagnético que la señal va a ocupar. A partir de la alta frecuencia, el espectro electromagnético consta de rayos gamma, rayos X,

la radiación ultravioleta, luz visible, radiación infrarroja, microondas y ondas de radio. Los satélites de comunicaciones utilizan las microondas, que están en el extremo superior de la parte de radio del espectro, por lo general las frecuencias son las siguientes: banda P que su intervalo es de 200-400MHz, Banda L de 1350-2700MHz, banda S de 2700-3500MHz, banda C 3700-4200, 4400-4700 y 5725-6425MHz, banda X 7900-8400MHz, banda Ku1 10.7-11.75GHz, banda K21 11.75-12.5GHz (Dennis, 2006).

Figura 1. Secuencia de la puesta de un satélite en órbita.



(Bruce, 2008)

4.3.1.4 Por tipos de acceso.

- FDMA (Frequency-division multiple access): Acceso múltiple por división de frecuencias. Este tipo de sistemas canalizan el transpondedor usando múltiples portadoras, donde a cada portadora le asigna un par de frecuencias. El ancho de banda total utilizado dependerá del número total de portadoras. Existen dos variantes de esta técnica: SCPC (Single Channel Per Carrier) y MCPC (Multiple Channel Per Carrier) (Simon Haikyn, Michel Moher, 2005).
- TDMA (Time-division multiple access): El Acceso múltiple por división de tiempo esta caracterizado por el uso de ranuras de tiempo asignadas a cada portadora. Existen otras variantes a este método, el más conocido es DAMA (Demand Access Multiple Access), el cual asigna ranuras de tiempo de acuerdo a la demanda del canal (Gomez, 2005).
- CDMA (Code-division multiple access): El Acceso múltiple por división de código mejor conocido como Espectro ensanchado (Spread Spectrum) es una técnica de modulación que convierten la señal en banda base en una señal modulada con un espectro de ancho de banda que cubre o se esparce sobre una banda de magnitud más grande que la que normalmente se necesita para transmitir la señal en banda base por sí misma. Es una técnica muy robusta en contra de la interferencia en el espectro común de radio y ha sido usado muy ampliamente en aplicaciones militares. Esta técnica se aplica en

comunicaciones vía satélite particularmente para transmisión de datos a bajas velocidades (Coraza, 2007).

4.3.2 Medio de transmisión.

La propagación de las ondas que se transmiten en un enlace satelital no transcurre sobre el espacio libre totalmente, a pesar de que el satélite este en el espacio exterior, las ondas que se propagan en el radio enlace tienen que atravesar por la troposfera, la estratosfera, mesosfera y la ionosfera, de tal forma resulta de especial importancia estudiar sus características y cómo influyen estas en el fenómeno mismo de la propagación del enlace como tal.

Tanto la troposfera, la estratosfera, la mesosfera y la ionosfera se comportan como dieléctrico heterogéneo, como consecuencia el índice de refracción y la velocidad de propagación de las ondas que viajan por ellas varían con la altura, además las propiedades de este dieléctrico también cambian con el tiempo, el movimiento y la desaparición de las irregularidades que se presentan en estas capas.

4.3.3 La estación terrena.

Esta es una parte muy importante en el enlace satelital, por que el objetivo de este es conectar o permitir la comunicación de dos o más estaciones terrenas por medio del satélite. Las estaciones terrenas proporcionan el acceso al segmento espacial, mientras que están interconectadas con los usuarios, con las redes terrestres como Internet y/o el teléfono público. En las primeras décadas de esta industria, las estaciones terrenas eran grandes, tanto en las condiciones físicas y financieras (ver figura 2).

Una estación terrena puede dividirse en elementos mayores siguientes: el término de RF (incluso la antena), la banda base, el equipo del mando, y el usuario. Además de los sistemas electrónicos, cada estación terrena fija debe apoyarse por una facilidad física capaz (Brown, 1980).

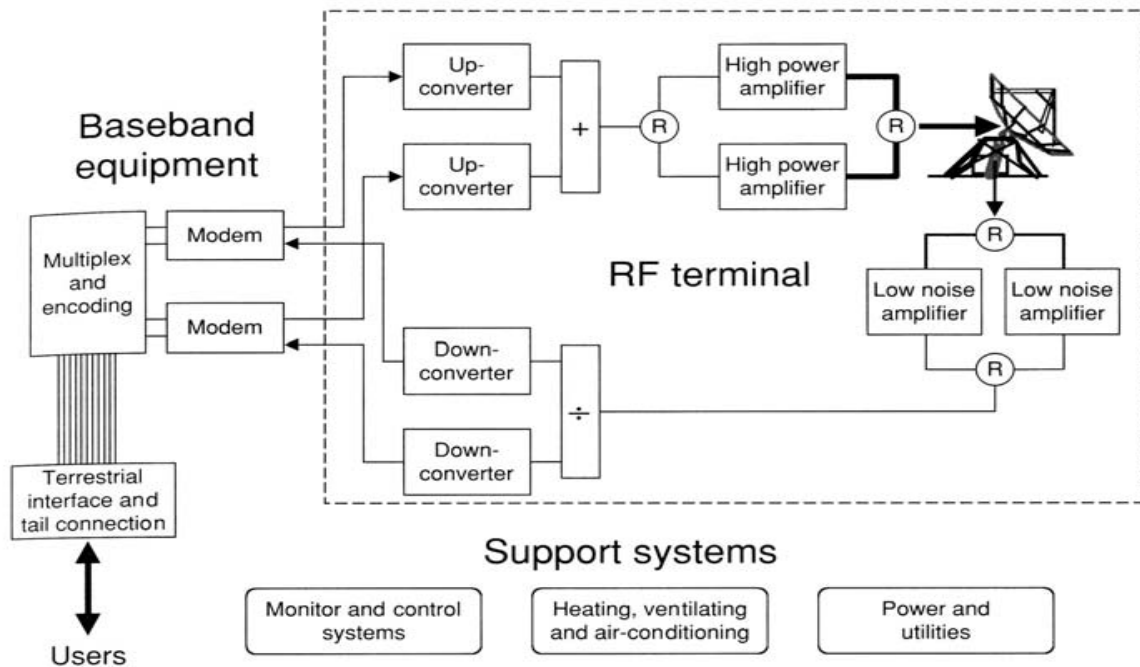
4.3.4 Topología de la red.

4.3.4.1 Con un único sentido.

En estas redes se transmite la información en sólo una dirección, generalmente usando el satélite para relevar esta información para la distribución (la distribución conecta una red de computadoras) o colección (la colección son las redes terrenas) desde o hacia una estación terrena central, con varios solo receptores o

transmisores las estaciones de tierra remotas. Por consiguiente, estas redes proporcionan el primer ejemplo de una arquitectura de la estrella.

Figura 2. Estación terrena de comunicaciones.



(Bruce, 2008).

En estas redes de distribución, hay una estación terrena central, llamada normalmente "hub", que es en el principio, un solo transmisor; la estación (aunque es de recepción esta normalmente se mantienen los medios el mando de red y de vigilancia) y las estaciones de tierra remotas receptoras son (RO), estas estaciones son a menudo llamadas terminales. La distribución del enlace puede ser selectiva, es decir que es dirigida a un grupo de terminales (o incluso a un solo) o puede recibirse por cualquier terminal. Esto hace que pueda darse énfasis a que el satélite sea un único medio de la transmisión, y de este modo repara el tipo de la transmisión que se utilizara (NASA, 2007).

4.3.4.2 Con sentido bidireccional.

Las redes bidireccionales proporcionan las aplicaciones más generales de comunicaciones del satélite. En este sentido hacen parte los siguientes tipos de arquitectura: enlaces como el punto a punto y punto a multipunto, de malla, de estrella y las configuraciones mixtas.

Los enlaces punto a punto son elementales y son simplemente una conexión bidireccional entre dos estaciones de tierra. El término punto a multipunto describe

una red que conecta un número limitado de estaciones de tierra recíprocamente, qué sea preferentemente del mismo tipo. El punto a punto y punto a multipunto, son las redes más comunes y convencionales de enlaces satelitales. En la mayoría de las aplicaciones son la interconexión de comunicación principal, que se centra en telefonía de tráfico pesado, los datos de proporción de altos índices de transmisión, intercambio de programa de televisión u otro según sea la aplicación. (ITU, 2007).

4.3.4.3 Topología en malla.

La red de malla describe una red capaz de interconectar un número significativo de estaciones terrenas, normalmente todas del mismo tipo (un punto a multipunto el enlace puede ser considerado como un formulario simplificado de red de la malla). Las redes de la Malla permiten la interconexión entre los centros no jerárquicos. Cuando localmente se conectan a las redes terrestres, las estaciones de tierra están operando como los nodos de un sistema de comunicación completo y no hay necesidad por un intercambio del tránsito dentro de la malla de la red satelital. Sin embargo, si la red se opera en TDMA, la TDMA referencia a la estación terrena donde se puede incluir los medios de dirección de tráfico (incluso la asignación de la demanda) que juega el papel de un tránsito intercambiado. También, en los sistemas del satélite rurales avanzados, las interconexiones de la malla pueden llevarse a cabo para permitir acceso directo a las comunicaciones entre las estaciones terrenas, normalmente bajo el mando de un mando de DAMA centralizado (ITU, 2007).

4.3.4.4 Topología en estrella.

En la arquitectura de estrella se han realizado hallazgos que permite que esta topología pueda ser utilizada en distintas aplicaciones, para la gestión de redes bidireccionales entre los centros jerárquicos, es decir, un centro principal en qué la estación de tierra central, por ejemplo el "hub" se instala y se conecta a varios sitios remotos, con la demanda de tráfico relativamente baja en las estaciones pequeñas o micro estaciones. La mayoría de las aplicaciones comunes de esta arquitectura son:

- las telecomunicaciones rurales, es decir las comunicaciones para las moradas esparcidas, pueblos o pueblos pequeños en áreas que tienen uno o más de lo siguiente las características: la dificultad de obtener electricidad, falta de personal técnicamente experimentado en la localidad, el área aislada, las condiciones medioambientales severas, las restricciones del costo y donde la telefonía de ruta generalmente es el servicio principal requerido (Gomez, 2005).
- las comunicaciones de datos corporativas entre un central que procesa la facilidad, por ejemplo la computadora del organizador y una estación terrena

remoto. La computadora central se conecta al hub y los DTEs se conectan directamente al VSATs (Bruce, 2008).

4.3.4.5 Topología mixta

Un ejemplo de una red mixta es cuando hay tres estaciones de alto tráfico, que se localizan en las capitales ó provincias, está en una configuración del multipunto y cada una de ellas constituye una estación central de una subred de topología estrella (ITU, 2007).

4.3.5 Interconexión del Núcleo de la red UMTS

En un canal retorno del terminal móvil, sino existe cobertura del componente terreno, esto es entonces, una perspectiva de complemento geográfico, donde el terminal debería transmitir con mayor potencia de la habitual para lograr una comunicación exitosa con la infraestructura en el espacio, lo que representa menor duración de las baterías, por esta razón se considera fundamental el desarrollo de tecnologías en la interfaz de radio que favorezcan el consumo de potencia del terminal y mantengan la tasa de transmisión en rangos aceptables (Coraza, 2007).

El diseño de S-UMTS puede incorporar diferentes tipos de constelaciones de satélites LEO, MEO e incluso GEO de acuerdo a los requerimientos de los servicios. Por ejemplo, los servicios de alta velocidad se adaptan mejor a equipos de poca movilidad y antenas activas altamente directivas, para lo cual los sistemas geoestacionarios son las soluciones más atractivas, entre tanto, los servicios de tasas de transmisión inferiores son asociados a terminales móviles con restricciones de potencia de transmisión y desplazamientos rápidos, para lo cual requieren de soluciones en orbitas no geoestacionarias. Por esta razón las interfaces de radio deben ser independientes de la órbita del satélite para hacerlo tan flexibles como sea posible y puedan constituirse como un estándar internacional (Coraza, 2007)

4.3.6 Limitaciones del componente satelital

4.3.6.1 Características del Medio de Propagación

Las inclemencias del medio de propagación con la señal radioeléctrica hacia o desde el satélite, afectan en mayor proporción a los sistemas GEO que a los LEO debido a la diferencia de distancias entre los terminales y los satélites en ambas orbitas. Por esta razón las comunicaciones móviles exigen la condición de línea de vista para mantener velocidades adecuadas, en este caso, el multitrayecto no puede usarse como mecanismo para ofrecer servicio en interiores teniendo en cuenta que estas componentes no podrían tener la potencia suficiente, aún

usando receptores tipo Rake y amplificadores de alta potencia así como antenas de gran ganancia en el satélite. (Simon Haikyn, Michel Moher, 2005)

4.3.6.2 Efecto Doppler

La velocidad de los satélites en orbitas bajas respecto de las antenas en tierra, involucra el efecto Doppler, el cual consiste en un aumento o disminución de la frecuencia recibida respecto de la transmitida por efecto del desplazamiento entre receptor y transmisor. No obstante este hecho puede corregirse en el segmento terreno debido a que la posición y velocidad de cada satélite es bien conocida, luego puede predecirse con alguna capacidad de procesamiento añadida a los equipos del usuario o bien por un mecanismo de exploración alrededor de la frecuencia estimada antes de establecer la comunicación. Debe aclararse que este fenómeno no afecta a los satélites en órbita geosincrónica debido a que estos permanecen aparentemente estáticos para las antenas dispuestas en tierra. (Hernandez, 2002)

4.3.6.3 Diversidad de Satélites.

La diversidad de satélites, es la facultad ofrecida exclusivamente por los sistemas de orbitas no geo-sincrónicas para permitir que un usuario pueda "ver" varios satélites en un mismo momento. Esta condición reduce las posibilidades de bloqueo de la señal, pues permite el cambio de satélite a conveniencia del usuario e incluso podría aumentar la capacidad si establece comunicación con varios de ellos.

La probabilidad de bloqueo se relaciona directamente con el ángulo de elevación y con la cantidad de satélites visibles, al respecto la ventaja es de los sistemas no Geosincrónicos pues las constelaciones están diseñadas para ofrecer, dependiendo de la posición del usuario entre uno y tres satélites, mientras que los GEO, por su condición de amplia cobertura un usuario solo puede "ver" un satélite siempre (Roddy, 2006).

4.3.6.4 Control de Potencia

Esta capacidad ha sido considerada principalmente para los sistemas S-WCDMA, en los cuales el control de potencia es necesario para no desperdiciar potencia valiosa en el lado del usuario y para proteger la capacidad del sistema. Esta es una gran ventaja, más notable para las constelaciones LEO, entendiendo que las condiciones de desvanecimiento y pérdidas de propagación son variables, debido al moviendo del usuario y del satélite. Dentro de este contexto se tienen lazos abiertos y cerrados de control, no obstante los retardos de propagación hacen que estos sean menos dinámicos y su respuesta más lenta que en los sistemas del componente terrestre (Brown, 1980).

4.3.6.5 Canales Piloto

Los canales piloto son muy útiles tanto en el enlace de subida como de bajada. En el primer caso se requiere para mitigar el efecto Doppler a través del seguimiento de este canal por parte de los terminales y con ello favorecer las comunicaciones, por otra parte este canal puede usarse para realizar detección coherente, ajustar los niveles de potencia para el canal de retorno (control de lazo abierto) y además, si se incluyen símbolos piloto multiplexados en el dominio del tiempo (time-domain multiplexing of pilot symbols TDMP) en intervalos pre-asignados, podría soportar el control de antenas adaptativas. En el segundo caso, los canales piloto en el canal de subida, están relacionados con información de señalización (Bruce, 2008).

4.3.7 Modulación

Las comunicaciones satelitales usan la desviación de frecuencia más grande que los sistemas de microondas terrestres, Es más, el modulador-demodulador normalmente se diseña para permitir el ajuste de cualquier parámetro de la modulación esta necesita ser proporcionado para en la planificación de sistema de comunicaciones. En consecuencia los modulador-demoduladores FM deben exhibir linealmente buenas características de retraso de grupo por encima de un ancho de banda normalmente aproximadamente 36 MHz. Los modulador-demoduladores de FM son osciladores que usan capacitores inconstantes donde el voltaje lo controla el diodo con la unión híper-abrupta. Este diodo ofrece una característica cuadrada inversa que a su vez da una característica lineal (la frecuencia contrala el voltaje) del modulador-demodulador (ITU, 2007).

4.3.7.1 Modulaciones análogas

FM (frecuencia modulada) ha sido principalmente usado en las comunicaciones satelitales. Es particularmente conveniente cuando un solo portador para el transponder se usa y donde sobre la constante del signo de FM permite el poner los amplificadores para operar a la saturación, haciendo uso máximo disponible. Así FM es generalmente usado en el dos FDM-FM muy conocido y sistemas de SCPC-FM. La transmisión de SSB-AM de un signo amplitud-modulado en un eslabón del satélite puede aplicarse. Esta técnica de modulación hace posible conseguir una alta capacidad del transponder por medio de la composición silábica, Sin embargo el transponder con la contestación linealmente buena, frecuencia automática y dispositivos de adaptaciones de ganancia, se consiguen los márgenes más anchos en el presupuesto del eslabón y se requieren las condiciones de la interferencia bajas (ITU, 2007).

4.3.7.2 Modulaciones Digitales

Los avances en los esquemas de modulación ha permitido enviar varios bits de información por cada hertz de ancho de banda disponible, es decir, han aumentado la eficiencia espectral, la cual se expresa como la relación existente entre la capacidad del canal y el ancho de banda, en unidades de bit/hertz. No obstante la complejidad del esquema de modulación se puede aumentar tanto como la potencia y medio de transmisión permita una detección exitosa en el receptor, dado que durante el trayecto y por las alinealidades de los amplificadores de potencia estos estados de amplitud y/o fase de la portadora que identifican combinaciones de bits de la información, sufren distorsiones que aumentan la probabilidad de confundirlos con otros estados o de no detectarlos. En los tipos de modulación digitales, una señal banda base puede modularse con un portador sinusoidal variando uno o más de sus tres parámetros básicos: la amplitud, frecuencia, y fase. Hay tres modulaciones básicas de acuerdo con los esquemas en las comunicaciones digitales: de amplitud (ASK), de frecuencia (FSK) y de fase (PSK). Hay muchas variaciones y combinaciones de estas técnicas (ITU, 2007) (ver tabla 2).

4.3.8 Demodulación

4.3.8.1 Análoga

El propósito básico del demodulador es recuperar la modulación de amplitud del signo de banda base que es proporcional a la desviación de frecuencia recibida instantánea del portador. Los demoduladores de FM convencionales consisten en un límite del diodo en serie seguido por un triple punto circuito del discriminador, Sin embargo, cuando la proporción ruido del portador a ruido del portador recibido es demasiado baja el uso de un umbral es necesario poner la extensión del demodulador (ver tabla 2) (Wangness, 2009).

4.3.8.2 Digital

Un MLSE óptimo (la estimación de sucesión de probabilidad máxima) el receptor basó en el algoritmo de Viterbi comprenderá la actuación de proporción de error óptima. Comparado al convulsionar descifrando, un receptor de TCM contiene una unidad de demanda que sigue el decodificador de Viterbi. En otro las palabras, el decodificador de Viterbi toma la decisión en el subconjunto óptimamente descifrado que es el más íntimo uno al punto señalado recibido, el punto señalado o los pedazos descifrados se determinarán por la unidad del demandante como el punto señalado más íntimo al punto señalado recibido. Un decodificador del diferencial pudo poner los momentos del rendimiento afectados por las rotaciones de la fase (Hernandez, 2002).

Tabla 2. Tipos de modulación

ABREVIACIÓN	ABREVIACIÓN ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN DEL NOMBRE
ASK FSF BFSK MFSK	FSK	modulación por desplazamiento de amplitud modulación por desplazamiento de frecuencia modulación binaria por desplazamiento de frecuencia m-aria modulación por desplazamiento de frecuencia
PSK BPSK DPSK QPSK DQPSK DEQPSK OQPSK $\pi/4$ -QPSK $\pi/4$ -DQPSK CTPSK MPSK	2PSK 4PSK SQPSK	modulación por desplazamiento de fase modulación binaria por desplazamiento de fase diferencial BPSK cuadratura PSK diferencial QPSK (demodulación diferencial) diferencial QPSK (demodulación diferencial coherente) desplazamiento QPSK $\pi/4$ -cuadratura PSK $\pi/4$ diferencial QPSK $\pi/4$ transición controlada PSK m-aria PSK
CPM SHPM MHPM LREC CPFSK MSK DMSK GMSK SMSK TFM CORPSK	FFSK	Modulación continua de fase Solo h (índice de modulación) modulación de fase Multi h modulación de fase Pulso rectangular de longitud L Fase continua FSK Mínimo cambio en modulación y rápido cambio en frecuencia Diferencial MSK Gaussiano MSK Serial MSK Domado FSK Correlativo PSK
QAM SQAM		Modulación por cuadratura en amplitud Sobrepuesta QAM
Q^2 PSK QPSK		Modulación por cuadratura en fase Diferencial QPSK

(ITU, 2007)

4.3.9 El acceso múltiple, asignación y las arquitecturas de la red

El acceso múltiple es la habilidad para que varias estaciones terrenas puedan transmitir sus portadoras respectivas, simultáneamente a través del mismo transponder del satélite. Este rasgo permite a cualquier estación terrena localizada en el área de cobertura correspondiente recibir las portadoras que se originan de varias estaciones terrenas. Recíprocamente, un portador transmitido por una estación terrena a través de un transponder, dado a que puede ser recibido por cualquier estación terrena localizada en el área de cobertura correspondiente. Esto habilita una estación terrena transmisora para agrupar varios signos en un solo portador del multi-destino. Un satélite de comunicación actúa como una estación de parada y como un punto nodal en los circuitos que conectan las estaciones de tierra involucradas. Contiene uno o más transponder en cadena, cada uno de los cuales tiene la capacidad de traducir frecuencia, amplificando y retransmitiendo en que los signos recibieron del sistema las estaciones de tierra. La capacidad de cambio de algún telemando puede existir entre alguno del transponder las cadenas. Es más, en algunos sistemas avanzados del proceso es

posible realizar uno o más cambios de las siguientes funciones: en la frecuencia, en tiempo o espacio, la regeneración señal y procesada (notablemente el banda base procesada). De hecho la capacidad de transmisión de información disponible (la capacidad de tráfico) de una cadena de transponder es generalmente mayor al que se necesita por una estación de tierra transmitiendo. Por consiguiente para perfeccionar la utilización de la capacidad del transponder, la estación permite acceder una cadena del transponder con cualquier destino ya sea individual o un multi-destino de transmisiones que precisamente son la función de acceso múltiple (Roddy, 2006).

4.3.9.1 Múltiple acceso por división de frecuencia

FDMA fue la primera técnica de acceso múltiple empleada en las comunicaciones del satélite. Debido a la simplicidad y flexibilidad, aun permanece siendo usada. En FDMA, una frecuencia diferente está asignada en un transponder a cada portador (posiblemente el multi-destino) para ser transmitido por una estación terrena entonces el ancho de banda dado proporciona la capacidad del portador, también se asigna por consiguiente, el recurso del satélite es usado en común. Un efecto perjudicial de este tipo de acceso múltiple es que, debido al no lineamiento en el transponder, la cadena en el amplificador de poder, transmitiendo a varios portadores simultáneamente en el mismo transponder causa la intermodulación entre estos portadores, mientras está produciendo las emisiones no deseadas (los productos de la intermodulación). Para reducir el nivel de tal interferencia, es necesario disminuir la potencia de transmisión significativamente. Además, la potencia transmitida por cada estación de tierra necesita ser controlada (Roddy, 2006).

4.3.9.2 Múltiple acceso por división de tiempo

Es una técnica de acceso múltiple digital que permite individualizar las transmisiones de una estación terrena para ser recibido por el satélite en separado, no solapado las hendeduras de tiempo, los estallidos llamados en que la información (por ejemplo la telefonía digital) es el buffered. Cada estación de tierra debe determinar el tiempo de sistema de satélite y rango para que las señales transmitidas, típicamente, en este caso el PSK (QPSK) modulara, se cronometren para llegar al satélite en las hendeduras de tiempo apropiadas. El signo que cronometra y detalla los formatos señalados donde se discute si la proporción del pedazo de las señales transmitidas generalmente, es superior muchas veces que la proporción del pedazo del los portadores a la entrada del término de estación de tierra (Wangness, 2009).

El transponder del satélite lleva a sólo un portador de radio-frecuencia (comprensión del tráfico de varias estaciones terrenas). En consecuencia no hay

ningún inter-modulador causado por el no lineamiento y los transponder del satélite pueden manejarse casi al nivel de saturación, mientras se da un uso más eficaz del al poder del satélite.

En TDMA la capacidad no disminuye empinadamente con un aumento en el número de accesos a las estaciones terrenas puede llevarse a cabo con cualquier portador de TDM. La introducción de nuevos requisitos de tráfico y cambios se acomoda fácilmente alterando la longitud y posición del estallido. TDMA puede combinarse con FDMA compartiendo un transponder entre un portador de TDMA y otros (Gomez, 2005).

4.3.9.3 Múltiple acceso por división de código

Hay una tercera categoría llamada múltiple acceso por división de código (CDMA). En CDMA se diseñaron los sistemas originalmente para los propósitos del ejército, pero ellos se usan ahora también para el anuncio los sistemas. Con FDMA, los signos de varios usuarios son amplificadas por el transponder del satélite en un dado ancho de banda asignado al mismo tiempo, pero a las frecuencias diferentes. En TDMA, ellos se amplifican a los tiempos diferentes pero a la misma frecuencia nominal (extendiéndose por la modulación en un dado del ancho de banda). En la tercera categoría de acceso múltiple (CDMA), los signos operan simultáneamente a la misma frecuencia nominal, pero se extiende en los el ancho de banda asignado por un proceso de la codificación específico. Los anchos de banda pueden extenderse por completo al ancho de banda del transponder, pero se restringe a menudo a una parte del transponder de hecho, CDMA puede posiblemente se combine, si es necesario, con FDMA y/o TDMA (ITU, 2007).

En el proceso de la codificación específico, cada usuario se asigna un propio código característico, escogido en un juego de códigos asignado individualmente a los varios usuarios del sistema. Este código es mixto, como una modulación suplementaria, con la información útil del signo. En la recepción, todos los signos que se reciben, en una estación terrena de usuario dada, estos se pueden seleccionar y reconocer por su propio código, se requiere de un signo entonces para extraer la información útil. La nota que los otros signos recibidos pueden ser aquéllos que otros usuarios permitan, pero ellos pueden también originar emisiones no deseadas que le dan cierta capacidad anti bloqueado a CDMA. Para este funcionamiento dónde es necesario identificar un signo entre otros varios usuarios compartiendo el mismo ate al mismo tiempo, las técnicas de la correlación son generalmente empleadas (Tomasi, 2008). (ver figura 3)

4.3.9.4 Múltiple acceso por asignación de demanda

Las redes satelitales que tienen varias estaciones terrenas tienen que compartir un transponder donde este se convierte en un recurso de transmisión de acceso múltiple. Aparte de los sistemas de acceso de tiempo, los métodos usados por compartir este recurso consisten en asignar a cada estación un canal: una frecuencia y potencia disponible (para la división de frecuencia el acceso múltiple), una hendedura de tiempo en un marco (para el tiempo-división el acceso múltiple), un código del propagador (para el acceso múltiple codificado). La asignación de una frecuencia que opera, tiempo o código para la transmisión y recepción de un signo por una estación de tierra dada, obviamente establece las características de cada eslabón en la red, como las memorias, la capacidad y destino. Esta asignación puede definirse sólo una a la vez, y permanece fijo a lo largo del período operacional de la red: esto es conocido como un pre-asignación, sistema de múltiple-acceso (PAMA). Recíprocamente, esta asignación puede establecerse instantáneamente para la duración de cada sesión de transmisión: esto está conocido como un múltiple-acceso de la demanda-asignación (DAMA) (ITU, 2007) (ver figura 3).

4.3.10 Perdidas

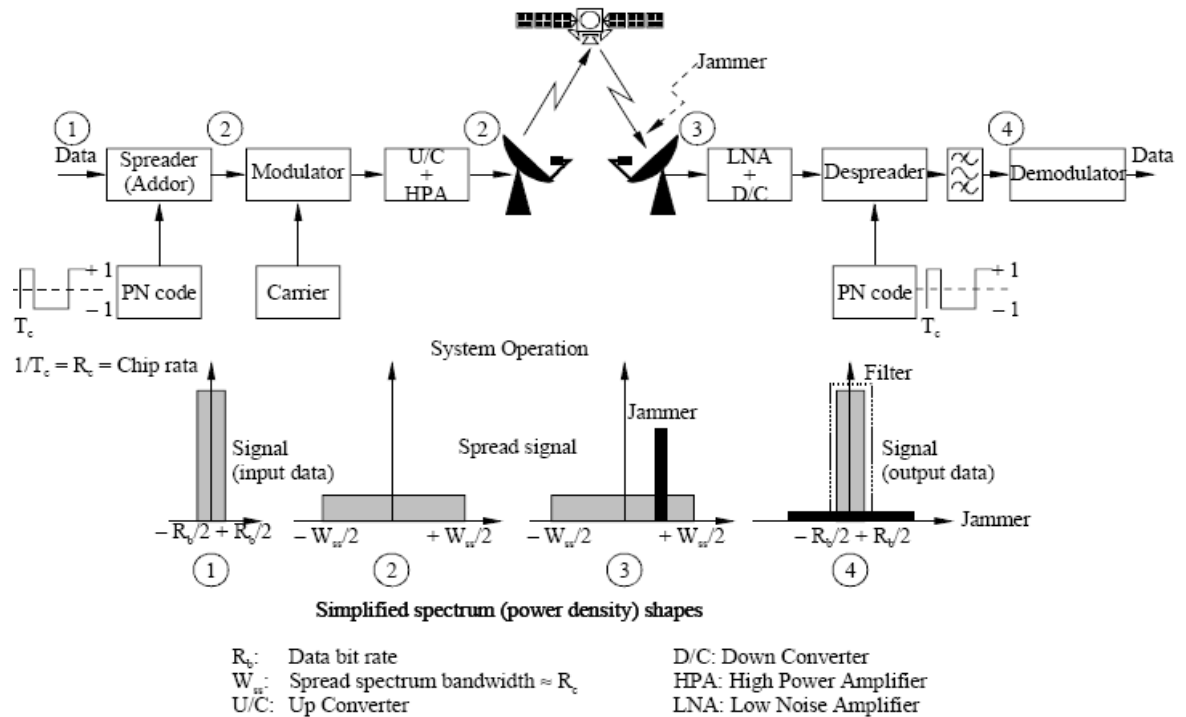
En el caso de los radioenlaces satelitales, la señal que viaja de la estación terrena al satélite y viceversa, es atenuada por diferentes factores que provocan pérdidas de energía. Así tendremos, pérdidas en los circuitos de alimentación de las antenas tanto de la estación terrena como a bordo del satélite, pérdidas por espacio libre tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente, las ya consideradas pérdidas de apuntamiento, que no obstante, serán vueltas a tratar aquí, y por supuesto, las pérdidas atmosféricas producto de la absorción de energía de los gases mayoritarios presentes en la troposfera (oxígeno y vapor de agua) y las pérdidas por efecto de la lluvia. En este Capítulo intentaremos establecer criterios prácticos que nos ayuden a determinar las pérdidas de apuntamiento, por absorción de los gases y las pérdidas producto de la lluvia (Gomez, 2005).

4.3.10.1 Pérdidas de apuntamiento

Al establecer un enlace satelital, lo ideal es que la antena de la estación terrena esté alineada con la antena del satélite, de manera que la ganancia sea máxima. No obstante, en condiciones normales, existirá un pequeño nivel de no-alineación debido al cual el valor de la ganancia disminuirá algunas décimas de dB. Esta pérdida de ganancia se puede estimar con base en el tamaño de la antena y el tipo, y por lo tanto, exactitud del apuntamiento. Dicha pérdida debe estimarse tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente. En la tabla 3 se

muestran valores típicos de pérdidas de apuntamiento en banda C en función del diámetro de la antena y del tipo de seguimiento. Para diámetros de antena mayores siempre será necesario recurrir al rastreo, y en estos casos, el valor de las pérdidas por no alineación se puede considerar igual a 0.5 dB, tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente (Roddy, 2006).

Figura 3. Esquema CDMA



Direct sequence (PN: pseudo-noise) CDMA

(Gomez, 2005).

Tabla 3. Peridas por apuntamiento

DIÁMETRO DE LA ANTENA (m)	PÉRDIDAS EN EL ENLACE ASCENDENTE (dB)	PÉRDIDAS EN EL ENLACE DESCENDENTE (dB)	SEGUIMIENTO
1.2	0	0	FIJO
1.8	0	0	FIJO
2.4	0.4	0.2	FIJO
3.6	0.7	0.4	FIJO
7	0.9	0.9	MANUAL
11	0.5	0.5	ESCALONADO

(Roddy, 2006).

4.3.10.2 Pérdidas atmosféricas

Los gases presentes en la atmósfera, fundamentalmente el oxígeno y el vapor de agua, absorben energía de las ondas que se propagan a través de la misma. La cantidad de energía que se pierde al paso de una señal por la atmósfera depende de la frecuencia, de la altura de las estaciones sobre el nivel del mar, de la temperatura y de la humedad absoluta, y en el caso de las comunicaciones satelitales, como se trata de trayectorias inclinadas, del ángulo de elevación. Generalmente estas pérdidas, a frecuencias por debajo de los 10 GHz, pueden ser ignoradas. No obstante, su importancia aumenta para frecuencias por encima de los 10 GHz, especialmente para ángulos de elevación pequeños. En la tabla 4 se ilustra un ejemplo del valor medio de las pérdidas atmosféricas para un ángulo de elevación de 10 ° (pequeño). En la tabla se puede observar cómo, efectivamente, estas pérdidas crecen con la frecuencia, acercándose a 1dB a frecuencias por encima de los 13 GHz (Gomez, 2005).

Tabla 4. Perdidas atmosfericas con un angulo de 10°

PÉRDIDAS ATMOSFÉRICAS (dB)	FRECUENCIA f (GHz)
0.25	2<f<5
0.33	5<f<10
0.53	10<f<13
0.73	13<f

(Roddy, 2006)

4.3.10.3 Pérdidas producto de la lluvia

Tabla 5. Valores tipicos de desvanecimiento por lluvia

BANDA	TIPO DE ENLACE	DISPONIBILIDAD DEL ENLACE (%)	BER DEGRADADO	BER A CIELO DESPEJADO	MARGEN DE DESVANECIMIENTO POR LLUVIA (dB)	
					Ascendente	Descendente
C	IBS BÁSICO	99.96	10 ⁻³	10 ⁻⁸	3	3
C	IDR	99.96	10 ⁻³	10 ⁻⁷	3	3
Ku	IBS BÁSICO	99.00	10 ⁻³	10 ⁻⁸	2.5	3.5
Ku	SÚPER IBS	99.96	10 ⁻³	10 ⁻⁸	7	1.2
Ku	IDR	99.96	10 ⁻³	10 ⁻⁷	7	1.2

(Roddy, 2006).

El efecto atmosférico más grave al que está expuesto un enlace satelital es el efecto de atenuación producto de la lluvia. La lluvia atenúa las ondas radioeléctricas mediante dos mecanismos: dispersión y absorción de energía. La atenuación producto de la lluvia aumenta con la frecuencia, siendo especialmente perjudicial en banda Ku y superiores. Para lograr una disponibilidad adecuada del enlace se debe transmitir suficiente potencia adicional (margen de desvanecimiento) para contrarrestar la máxima atenuación causada por la lluvia. Como la predicción de dicha atenuación es un proceso estadístico, se han diseñado numerosos modelos cuyos resultados concuerdan bien con las observaciones experimentales (estas observaciones experimentales son tomadas de normas de la UIT). Dichos modelos, como es conocido, son función de la frecuencia de operación, las estadísticas pluviales según la ubicación geográfica, la polarización, la temperatura ambiente y la disponibilidad propuesta para el enlace.

4.3.11 Interferencia

Una portadora de radio puede ser dañada, además, por el ruido, por señales interferentes no deseadas. Suponiendo que todas las señales interferentes, incluyendo el ruido blanco gaussiano, son estadísticamente independientes, y teniendo en cuenta la relación portadora a ruido total $(C/N)_T$ de un enlace satelital.

4.3.11.1 Interferencia hacia o desde sistemas satelitales adyacentes

La interferencia generada por una estación terrena hacia un satélite adyacente proviene de los lóbulos laterales de la antena. Por esta razón la amplitud y la envolvente de dichos lóbulos no deben sobrepasar determinado nivel. Además, para encontrar la interferencia generada por o recibida desde los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena hacia o desde un satélite adyacente es necesario conocer la separación angular entre los dos satélites geoestacionarios adyacentes tal y como es vista por la estación terrena (ITU, 2007).

4.3.11.2 Interferencia terrestre

La banda C (6/4 GHz) utilizada por los satélites de comunicaciones es también usada por enlaces de microondas terrestres. Los enlaces de microondas terrestres en esta banda se han desarrollado durante años y hoy constituyen un extenso y complejo sistema de redes interconectadas a todo lo ancho y largo de un gran número de países. En áreas densamente pobladas la congestión de enlaces terrestres puede ser tan grande que resulte imposible encontrar un emplazamiento adecuado (libre de interferencia) para estaciones terrenas. Como las estaciones terrenas reciben a 4GHz son susceptibles de ser interferidas por microondas terrestres que transmitan a esta frecuencia y como las estaciones terrenas

transmiten a 6 GHz pueden generar interferencia en microondas terrestres que reciban a 6 GHz.

La interferencia mutua entre una estación terrena y un sistema de microondas terrestre depende de: potencia de la portadora, densidad espectral de la portadora y la separación de frecuencia entre las dos portadoras. La relación portadora-interferencia C/I para prevenir interferencias desde sistemas de microondas terrestres se ha establecido que sea de 25 dB como mínimo: la potencia de la portadora satelital 25 dB como mínimo por encima de la potencia de la portadora (portadoras) de sistemas de microondas terrestres ($C/I \geq 25$ dB). (Gomez, 2005).

4.3.11.3 Interferencia por polarización cruzada

Los sistemas de comunicaciones satelitales reúsan frecuencia empleando polarizaciones lineales ortogonales (polarización lineal horizontal y vertical) o polarizaciones circulares ortogonales (polarización circular a la derecha y polarización circular a la izquierda), siendo esto otra fuente de interferencia, como resultado del acoplamiento de energía desde un estado de polarización al otro estado de polarización ortogonal. Esto es consecuencia de que el factor de discriminación de polarización cruzada de las antenas de la estación terrena y del satélite es finito y de la despolarización causada por la lluvia (atenúa y desfasa más una polarización que otra). En banda C, el efecto de la lluvia es despreciable, por lo tanto la interferencia por polarización cruzada se debe fundamentalmente a la discriminación que proveen las antenas de la estación terrena y del satélite. El factor de discriminación de polarización cruzada se define como la relación entre la potencia recibida en la polarización principal (copolar) con respecto a la potencia recibida en la polarización ortogonal (cruzada) desde la misma señal incidente, y por lo tanto, representa la relación portadora a interferencia por polarización cruzada cuando las dos señales polarizadas tienen la misma potencia. Las antenas de alto-desempeño pueden proveer un factor de discriminación de polarización cruzada de entre 30 a 40 dB a lo largo del eje de la antena. La discriminación de polarización cruzada neta de un enlace satelital resulta del efecto combinado de las antenas de la estación terrena y del satélite para ambos el enlace ascendente y el enlace descendente (Gomez, 2005).

4.3.11.4 Interferencia canal adyacente

Otra fuente de interferencia en un enlace satelital es la interferencia canal adyacente (o interferencia transponder adyacente). Esta tiene su origen en las imperfecciones de la respuesta de amplitud de los filtros encargados de limitar en banda los canales satelitales. La interferencia se origina cuando una parte de la energía de las señales limitadas en banda cae dentro del canal adyacente producto del solapamiento de la característica de amplitud de los filtros de canal.

La situación empeora cuando el amplificador de alta potencia de la estación terrena y/o del satélite opera cerca o en saturación ya que el comportamiento no lineal de estos amplificadores contribuye a un aumento de la interferencia canal adyacente (Coraza, 2007).

4.3.11.5 Interferencia de intermodulación

Esta interferencia es causada por los productos de intermodulación generados dentro de un transponder satelital, como resultado de la amplificación de múltiples portadoras por el amplificador de alta potencia del transponder, debido a su comportamiento no lineal. Para prevenir una excesiva interferencia de intermodulación, el amplificador de alta potencia debe ser operado con grandes pérdidas de respaldo de salida, lo cual limita el enlace descendente, y por lo tanto, obliga a reducir la capacidad del transponder. Esta interferencia perjudica especialmente a los sistemas satelitales que utilizan como técnica de acceso el acceso múltiple por división de frecuencia, en el cual varias portadoras hacen presencia en el transponder simultáneamente. (Roddy, 2006).

4.3.11.6 Interferencia intersímbolo

Este tipo de interferencia no es producto de fuentes externas como las otras que se han venido analizando hasta ahora, sino que es generada dentro del mismo canal, como resultado del filtraje y las características no lineales del amplificador de potencia del transponder satelital operando cerca de saturación, especialmente, en los sistemas satelitales de solamente una portadora por transponder (Gomez, 2005).

4.4 ESTADO DEL ARTE

4.4.1 Tecnología AGI

Actualmente se utiliza un software de simulación el cual es una tecnología de AGI (analytical graphics inc.) proporciona una capa dinámica al sistema de información geográfico normal. Esta tecnología usa el producto de búsqueda insignia el STK (Satellite Tool Kit), el análisis geo-espacial puede calcular las situaciones precisas de plataformas dinámicas o satélites, los recursos y movimiento de sensor; de modelos y campos de vista para la adquisición y planificación de la recolección de datos. STK también puede importar mapas geo-espaciales que trazan los archivos de ESRI (Environmental Systems Research Institute) para el análisis; maneja terreno y datos de ingeniería; que ingiere la telemetría y rastreo de los datos para reforzar el tiempo real del conocimiento circunstancial. Pudiendo fusionar datos geo-espaciales y interrelacionar el recurso dentro de un despliegue realista en 3D

(tres dimensiones) que proporciona una única habilidad de manejar, visualizar, y analizar información geo-espacial para evaluar una situación y tomar decisiones (AGI, 2009).

Actualmente los enlaces satelitales se utilizan para una gran variedad de aplicaciones como las siguientes:

4.4.2 Satélites de comunicaciones.

Se ubican en la intersección de la tecnología del espacio y la de las comunicaciones. Constituyen la aplicación espacial más rentable y, a la vez, más difundida en la actualidad. Las transmisiones en directo vía satélite ya son parte de la cotidianidad, por lo que no tienen ningún carácter especial. Para la difusión directa de servicios de televisión y radio, telefonía y comunicaciones móviles sólo son necesarios sencillos receptores y antenas parabólicas cada día más pequeñas.

Figura 4. Satélite utilizado para telecomunicaciones.



(NASA, 2007)

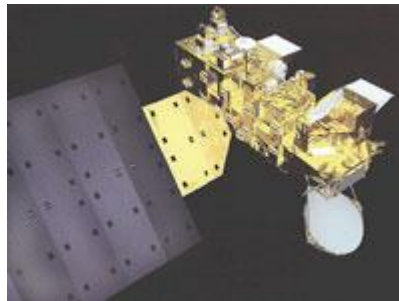
Estos satélites, aunque se puede afirmar que son científicos, son aparatos especializados que se dedican exclusivamente a la observación de la atmósfera en su conjunto. La comprensión de la física dinámica atmosférica, el comportamiento de las masas nubosas o el movimiento del aire frío o caliente resultan indispensables para realizar predicciones del clima, pues sus efectos impactan de manera irremediable las actividades de los seres humanos aquí en la Tierra.

A estos artefactos se debe el descubrimiento del agujero en la capa de ozono. Algunos de éstos se colocan en órbitas no geoestacionarias, como los que pasan sobre los polos de la Tierra y posibilitan una cobertura de toda la superficie de ella. Otros satélites meteorológicos de órbita geoestacionaria como el SMS, GOES y Meteosat pueden cubrir todo un hemisferio y permiten seguir el comportamiento de fenómenos como la temporada de huracanes, el avance de las grandes borrascas, los frentes fríos, el conocimiento de la temperatura de la atmósfera en

cada nivel altimétrico, la presión, la distribución del vapor de agua y, con ello, el porqué de las sequías o los efectos de la contaminación, entre muchos otros fenómenos más.

Hoy en día, la Organización Meteorológica Mundial coordina la recolección, procesamiento y difusión de información y datos meteorológicos y oceanográficos provenientes de una constelación de satélites meteorológicos tanto geoestacionarios como de órbita polar, enlazados a 10 mil estaciones terrenas y mil estaciones de observación en altitud, además de otras fuentes de información meteorológica, provenientes de barcos, aeronaves, boyas y otros artefactos que trabajan de manera coordinada para transmitir diariamente a todo el mundo, en tiempo real, más de 15 millones de caracteres de datos y 2 mil mapas meteorológicos (NASA, 2007).

Figura 5. Satélite de comunicaciones.



(NASA, 2007)

4.4.3 Satélites de navegación.

Desarrollados originalmente con fines militares al marcar el rumbo de misiles, submarinos, bombarderos y tropas, ahora se usan como sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) para identificar locaciones terrestres mediante la triangulación de tres satélites y una unidad receptora manual que puede señalar el lugar donde ésta se encuentra y obtener así con exactitud las coordenadas de su localización geográfica.

Los satélites actuales dedicados a esta tarea (Transit, Navstar GPS, Tsikada, Parus, Uragan, etc.) utilizan frecuencias bajas y medias que están abiertas al público, lo cual ha posibilitado la aparición de múltiples receptores comerciales. Una de las aplicaciones de estos satélites la realiza con éxito la navegación aérea, que está empezando a aprovecharla en los aterrizajes de las aeronaves, ello le supone una guía económica y muy segura para esas actividades.

En los sistemas GPS, tanto el satélite como el equipo receptor en Tierra emiten una señal con una determinada frecuencia, ambas sincronizadas gracias a los relojes atómicos que dichas unidades poseen, el receptor recibe la señal del

satélite que se halla a gran altitud, la distancia entre ambos equipos hace que la señal proveniente del satélite llegue con una diferencia de fase con respecto a la señal emitida por el receptor. La medición de esta diferencia en las fases permite calcular la distancia que separa al equipo en Tierra del satélite. Utilizando tres satélites a la vez, podemos obtener las coordenadas de latitud, longitud y altitud del equipo receptor en Tierra. Usando un cuarto satélite es, incluso, posible conseguir datos sobre la velocidad con la que nos desplazamos y el nivel de precisión aumenta mucho.

Otra faceta de los satélites de navegación se encuentra en la búsqueda y el rescate (COSPAS/SARSAT). En estos casos los receptores son vehículos dedicados a otras tareas, que además están equipados con receptores especiales. Cuando una embarcación se pierde en alta mar, puede enviar señales que el satélite recibirá y reenviará al puesto de rescate más próximo, incluyendo sus coordenadas aproximadas (NASA, 2007).

Figura 6. Satélite para sistemas GPS.



(NASA, 2007)

4.4.4 Satélites De Teledetección

Éstos observan el planeta mediante sensores multi-espectrales, esto es que pueden censar diferentes frecuencias o "colores", lo que les permite localizar recursos naturales, vigilar las condiciones de salud de los cultivos, el grado de deforestación, el avance de la contaminación en los mares y un sinfín de características más.

El aumento de la resolución (que permite ver con mayor claridad detalles más pequeños de la superficie) está llegando a extremos insospechados, a tal punto que las fotografías que obtienen pueden tener una clara aplicación militar. Para un mejor aprovechamiento de sus capacidades, los satélites de teledetección se suelen colocar en órbitas bajas y polares, a menudo sincronizadas con el Sol. Desde ellas, enfocan sus sensores, que son capaces de tomar imágenes en varias

longitudes de onda o bandas espectrales. El satélite toma constantemente imágenes a su paso, engrosando los archivos que se pondrán a disposición del público y servirán como un acervo histórico de la evolución de la superficie terrestre.

4.4.5 Satélites militares

Son aquellos que apoyan las operaciones militares de ciertos países, bajo la premisa de su seguridad nacional. La magnitud de sus programas espaciales militares es tan grande y secreta que hasta hace poco sólo se podía valorar por el número de lanzamientos que suponía.

Uno de los aspectos fundamentales del equilibrio armamentista durante la Guerra Fría fue la posibilidad de una respuesta adecuada ante cualquier ataque enemigo. Para ello, era necesario conocer con la suficiente antelación el despegue de un misil desde cualquier punto del globo terráqueo. Entonces, se fabricaron los satélites de alerta inmediata, que detectan cualquier lanzamiento, tanto de cohetes comerciales como militares.

En un principio, E.U. inició esta actividad utilizando grandes antenas terrenas, después lanzaron satélites del tipo Midas o DSP, los cuales poseen sensores infrarrojos que detectan el calor producido por los gases del escape de los motores de un misil. Dado que el tiempo de funcionamiento de los motores de uno de estos vehículos suele ser inferior a los 10 ó 15 minutos, la detección debe hacerse lo antes posible, dando tiempo a responder al ataque. Rusia, por su parte, usa los satélites Oko y Prognoz.

Los océanos son un escenario en el que se han desarrollado espectaculares batallas navales y un lugar en el que patrullan barcos y submarinos de todas clases. Estos últimos pueden estar equipados con misiles nucleares y su movilidad y ocultación bajo el agua los hace muy peligrosos. Por eso, se han desarrollado satélites que tratan de localizarlos. Es el caso de los White Cloud americanos o los RORSAT/EORSAT soviéticos.

Algunos satélites especiales cuya identidad es protegida con mayor recelo, pueden realizar escuchas electrónicas (elint o inteligencia electrónica) que permiten captar conversaciones telefónicas o radiofónicas desde enormes distancias. Algunas de ellas podrían consistir en órdenes de ataque, las cuales hay que interceptar. Es tal el éxito de estos satélites que muchas de las transmisiones deben ser codificadas. Destacan aquí los programas Jumpseat, Chalet/Vortex, Orion, Magnum/Aquacade, Tselina, etcétera.

Con estos tipos de satélites se realizan los enlaces comunicaciones satelitales en la actualidad (NASA, 2007).

4.5 LIMITACIONES Y ALCANCES

Los enlaces de comunicaciones satelitales han sufrido cambios desde que se realizó el primer enlace satelital, de esta forma se ha convertido en un tema de importancia tanto para los futuros ingenieros electrónicos y telecomunicaciones como para los que ya lo son. Lo que se busca con la ejecución del proyecto es abordar el tema de una manera académica, para dejar bases sólidas en el tema de enlaces satelitales, por medio de una guía de trabajo.

Al realizar la simulación del enlace surge un acotamiento del proyecto y este es no realizar el enlace físico, debido a que no se cuenta con los recursos económicos suficientes para realizarlo.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

Debido a que la investigación que se realizará es una investigación descriptiva se interpretarán y analizarán las variables que se tienen en un enlace satelital, permitiendo así evaluar los atributos, propiedades y características del sistema (Hernandez, 2002).

5.1 UNIDAD DE ANÁLISIS

Se buscarán los elementos vitales para la investigación, pues estos serán los indicadores que señalarán el objeto de estudio del problema planteado.

5.2 TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio es descriptivo, este consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades. En el proyecto consistirá en buscar y conocer las diferentes variables que alteran el enlace satelital en los diferentes escenarios. La meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables.

5.3 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS

Se determinarán los elementos y cuál es la interacción entre ellos, que se utilizan para realizar un enlace de comunicación geo-espacial, considerando las características de los modelos de los enlaces; esto se logra a través de la investigación realizada. Los instrumentos a utilizar son: libros, páginas web reconocidas o manuales de funcionamiento.

El simulador es el instrumento más importante de esta investigación, se aprenderá del manejo y uso del mismo.

6. DESARROLLO

6.1 ELEMENTOS QUE INTERACTÚAN EN UN ENLACE SATELITAL.

6.1.1 El satélite

6.1.1.1 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 (Brown, 1980).

6.1.1.2 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 (Brown, 1980).

6.1.1.3 Subsistema de alineación

Establece la inclinación entre la estación terrena de control y el satélite para la determinación de la órbita geoestacionaria (Coraza, 2007).

6.1.1.4 Subsistema de control de altitud

Tiene como función principal mantener la exactitud en la posición del satélite (Brown, 1980).

6.1.1.5 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 (Brown, 1980).

6.1.1.6 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. 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 (Coraza, 2007).

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

6.1.1.7 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, 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 (Gomez, 2005).

6.1.1.8 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. Esta afirmación merece una explicación más detallada. El recurso que el satélite de comunicaciones pone a disposición de las estaciones terrenas (Brown, 1980).

El repetidor de comunicaciones, generalmente, se divide en los siguientes módulos (Ver figura 7):

- Un receptor/convertidor hacia abajo de comunicaciones de banda ancha.
- Un multiplexor de entrada.
- Amplificadores tipo tubo de onda progresiva canalizados.
- Un multiplexor de salida.

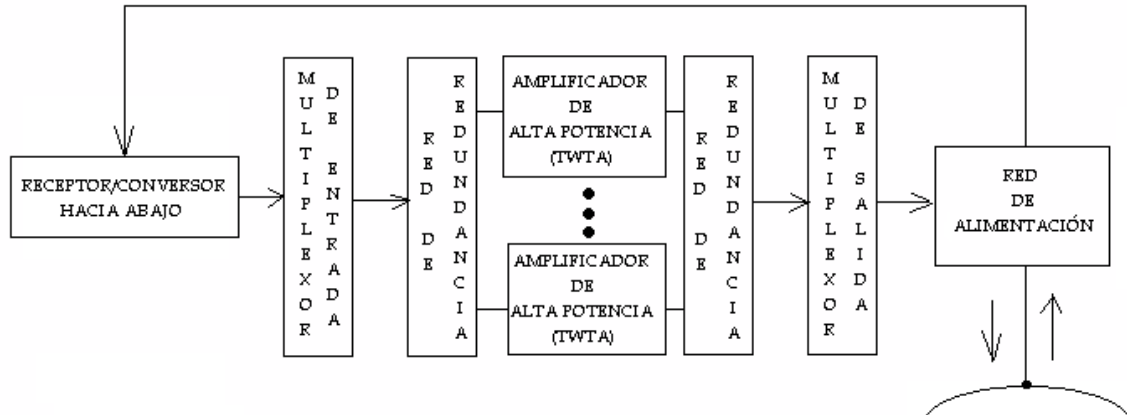
6.1.2 Estación Terrena

6.1.2.1 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 garantiza 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 (Gomez, 2005).

Figura 7. Partes del repetidor de comunicaciones



(Coraza, 2007)

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 (Brown, 1980).

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.

6.1.2.2 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 (INTELSAT, 2010).

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 (Hernandez, 2002).

6.1.2.3 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 (ITU, 2007).

6.1.2.4 Up-converter

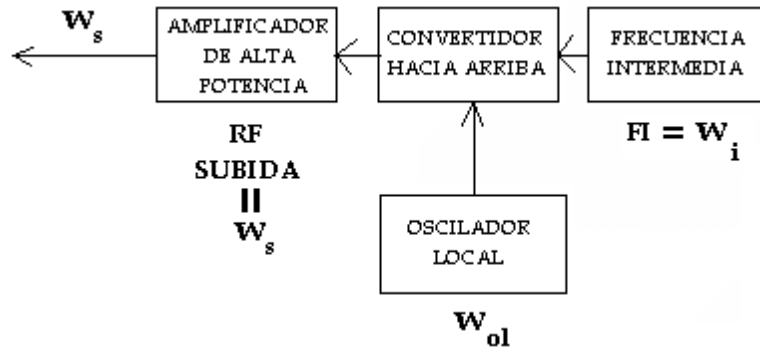
El convertidor hacia arriba (en inglés up-converter *UC*) como se muestra en la figura acepta la portadora de FI (frecuencia intermedia) modulada desde el modulador de portadora de *FI* y traslada esta frecuencia w_i a la frecuencia w_s de *RF* del enlace ascendente en el espectro de frecuencia del satélite, mezclando w_i con la frecuencia w_o generada por el oscilador local. Como en los casos anteriores, también se emplean, configuraciones de redundancia para el convertidor hacia arriba (ver figura 8) (Roddy, 2006).

6.1.2.5 Down-converter

El convertidor hacia abajo (en inglés down-converter *DC*) como se muestra en la figura recibe la portadora modulada w_b (frecuencia de bajada) de *RF* (radio frecuencia) 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

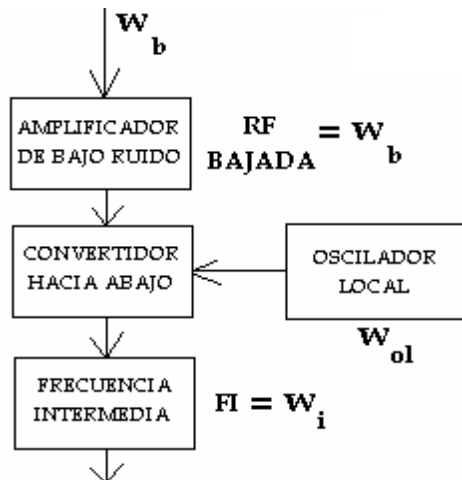
implementan también, configuraciones de redundancia para el convertidor hacia abajo (Tomasi, 2008).

Figura 8. Up-converter



(Hernandez, 2002)

Figura 9. Down-converter



(Hernandez, 2002)

6.2 MODELOS DE ENLACE DEL SISTEMA SATELITAL

Esencialmente, un sistema satelital consiste de tres secciones básicas: una subida, un transponder satelital y una bajada (Gomez, 2005).

6.2.1 Modelo de subida

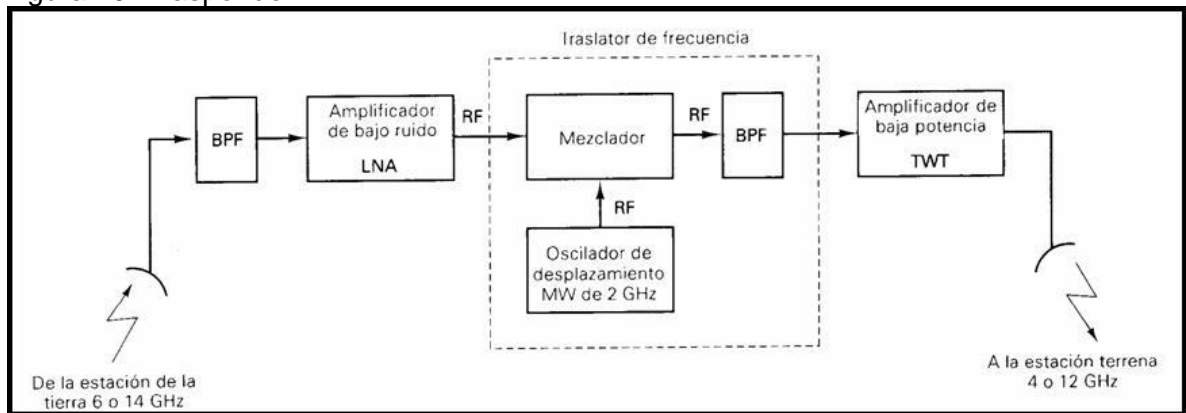
El principal elemento dentro de esta sección es el transmisor de la estación terrena. Un típico transmisor de la estación terrena consiste de un modulador de IF, un convertidor de microondas de IF a RF, un amplificador de alta potencia

(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. 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 (Gomez, 2005).

6.2.2 Transponder

Consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada (BFP), 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 de la figura 10. 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 BFP de entrada limita el ruido total aplicado a la entrada del LNA (diodo tunel). La salida del LNA alimenta a un traslator de frecuencia (un oscilador de desplazamiento y un BFP), 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 (Gomez, 2005).

Figura 10. Trasponder.



(Gomez, 2005)

6.2.3 Modelo de bajada

Un receptor de estación terrena incluye un BFP de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. Nuevamente, el BFP limita la potencia del ruido de entrada al LNA. El LNA es un dispositivo altamente sensible con poco ruido. El convertidor

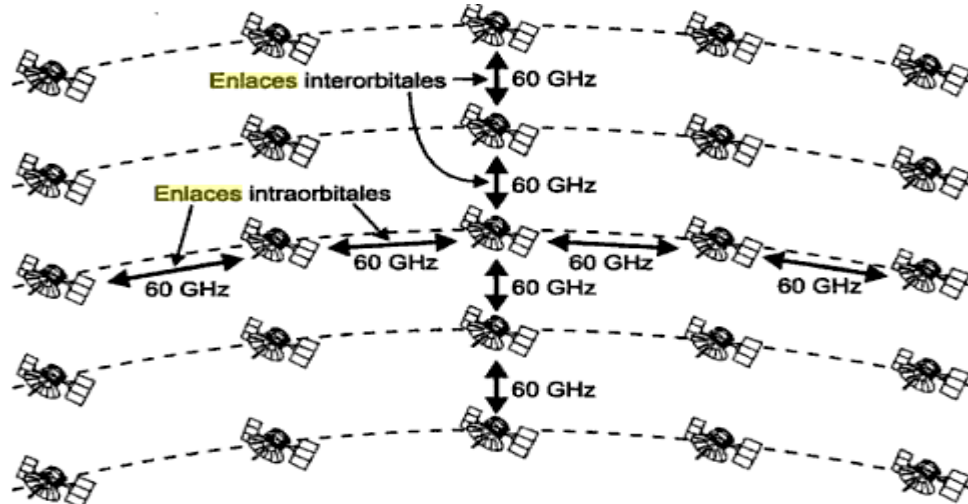
de RF a IF es una combinación de filtro mezclador/pasa-bandas que convierte la señal de RF recibida a una frecuencia de IF (Gomez, 2005).

6.2.4 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 (Gomez, 2005).

Existen dos tipos de enlaces cruzados los interorbitales que enlazan satélites que se encuentren en diferentes orbitas y los intraorbitales que enlazan satélites que se encuentran en la misma orbita, estos permiten realizar enlaces entre estaciones terrenas que no se encuentran en un solo rango de cobertura de un satélite.

Figura 11. Enlaces interorbitales e intraorbitales



(Brown, 1980)

6.2.5 Ángulos de vista

Para orientar una antena desde una estación terrena hacia un satélite, es necesario conocer el ángulo de elevación y azimut. Estos se llaman ángulos de vista (Hernandez, 2002).

6.2.5.1 Angulo de elevación

El ángulo de elevación es el ángulo formado entre la dirección de viaje de una onda radiada desde una antena de estación terrena y la horizontal, o el ángulo de la antena de la estación terrena entre el satélite y la horizontal. Entre más pequeño

sea el ángulo de elevación, mayor será la distancia que una onda propagada debe pasar por la atmósfera de la Tierra. Como cualquier onda propagada a través de la atmósfera de la Tierra, sufre absorción y, también, puede contaminarse severamente por el ruido. De esta forma, si el ángulo de elevación es demasiado pequeño y la distancia de la onda que está dentro de la atmósfera de la Tierra es demasiado larga, la onda puede deteriorarse hasta el grado que proporcione una transmisión inadecuada. Generalmente, 5° es considerado como el mínimo ángulo de elevación aceptable (Hernandez, 2002).

6.2.5.2 Azimut

Azimut se define como el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena. Se toma como referencia el Norte como cero grados, y si se continúa girando en el sentido de las agujas del reloj, hacia el Este, llegaremos a los 90 de Azimut. Hacia el Sur tendremos los 180 de Azimut, hacia el Oeste los 270 y por último llegaremos al punto inicial donde los 360 coinciden con los 00 del Norte. El ángulo de elevación y el azimut, dependen ambos, de la latitud de la estación terrena, así como el satélite en órbita (Hernandez, 2002).

6.3 SIMULADOR

Tabla 6. Características de los simuladores

CARACTERÍSTICAS	STK	MATLAB	OPNET
Aplicabilidad en enlaces satelitales	X	X	
Cálculos en posición y orientación de elementos relacionados en enlaces satelitales	X	X	X
Versiones de software libres	X	X	X
Calidad de relaciones espaciales dinámicas	X	X	
Respaldo de las organizaciones que proveen el software	X		X
Disponibilidad de elementos predefinidos en el software (antenas, satélites, estaciones terrenas, sensores, etc.)	X		X
Visualización en 3D y 2D	X	X	
Análisis y visualización de datos relevantes en comunicaciones	X	X	X
Visualización en tiempo real	X	X	X

CARACTERÍSTICAS	STK	MATLAB	OPNET
análisis del terreno y visualización	X		X
Bajos requerimientos para el software	X		X
Análisis de la Navegación	X	X	
Estudio numérico de vida de la órbita	X		

Según las características mencionada en la tabla 6. En donde se realiza una comparación con otros dos software (MATLAB y OPNET), 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 más destacados entre los productos de AGI, 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, 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.

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 entre otras características.), 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 (AGI, 2009).

6.4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS ESCENARIOS.

6.4.1 Escenario I para el satélite de prueba con tres estaciones terrenas.

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

Tabla 7. Parametros del segmento espacial

PARÁMETRO	VALOR
PIRE de saturacion del trasponder	5dBW
Ancho de banda	32MHz
Desidad de flujo de saturacion (SFD)	-150dBW/m ²
G/T del sistema de recepcion	-7dBK ⁻¹
Relacion portadora a interferencia cocanal $(C/I)_{cc}$	17 dB
Intermodulación del trasponder	-37 dBW 4KHz
Relacion de ganacia de potencia de compresion	3dB

(INTELSAT, 2010)

Tabla 8. Parametros de las estaciones terrenas

PARÁMETRO	BOGOTÁ	MADRID	SUDAFRICA
Latitud	4.6302°N	40.4422°N	-26.3°N
Longitud	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%
β	2dB	4dB	4dB
Rastreo	Automatico	Automatico	Automatico

(INTELSAT, 2010)

Escenario en 2D (ver figura 11)

Escenario en 3D (ver figura 12)

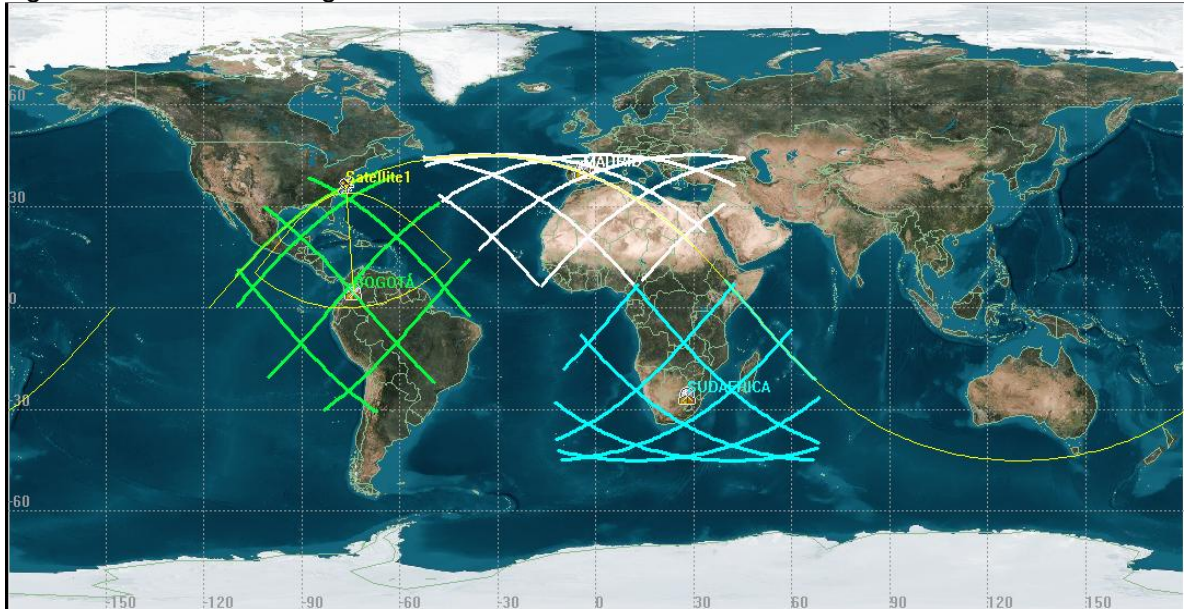
6.4.2 Escenario II con restricción en RIP.

Este escenario se basa en el escenario general, se diferencia en una restricción en el RIP (Potencia Isotrópica Recibida), este procedimiento se llevara a cabo en el simulador.

6.4.3 Escenario III con restricción doppler shift.

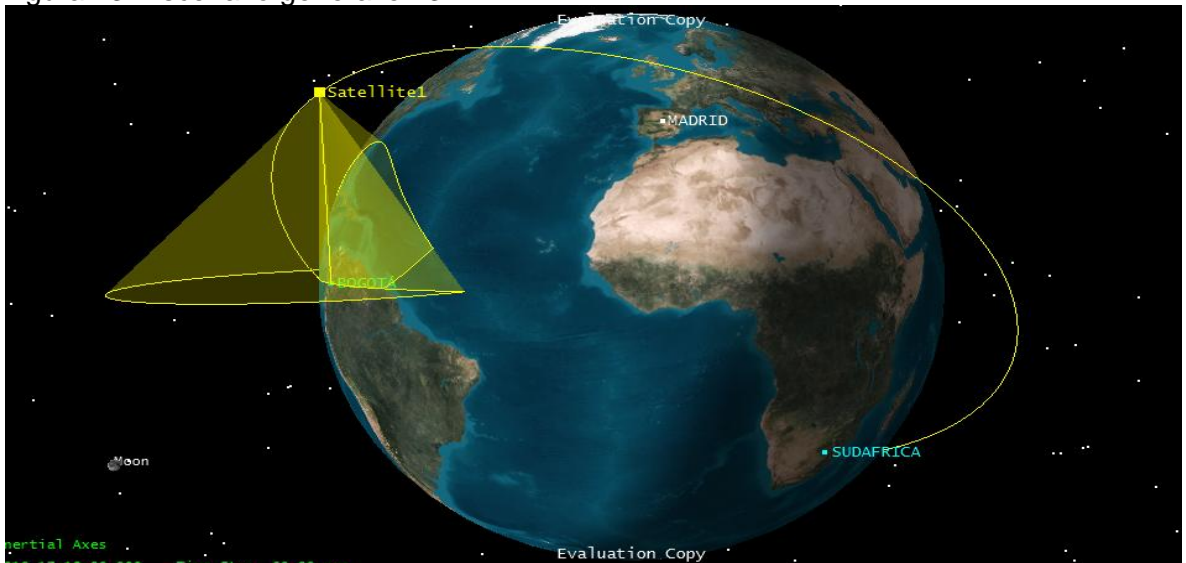
Este escenario se basa en el escenario general, se diferencia en una restricción en el doppler shift (el doppler shift es el corrimiento que hay en la frecuencia debido a que el satélite se acerca y aleja de la estación terrena), este procedimiento se llevara a cabo en el simulador

Figura 12. Escenario en general 2D



(AGI, 2009)

Figura 13. Escenario general en 3D



(AGI, 2009)

6.4.4 Escenario IV con restricción en Flux Density.

Este escenario se basa en el escenario general, se diferencia en una restricción en flux density (es la potencia radiada transmisor (reducido por las pérdidas atmosféricas aplicables) dividido por la superficie de una esfera cuyo radio es igual a la distancia entre el transmisor y el receptor), este procedimiento se llevara a cabo en el simulador

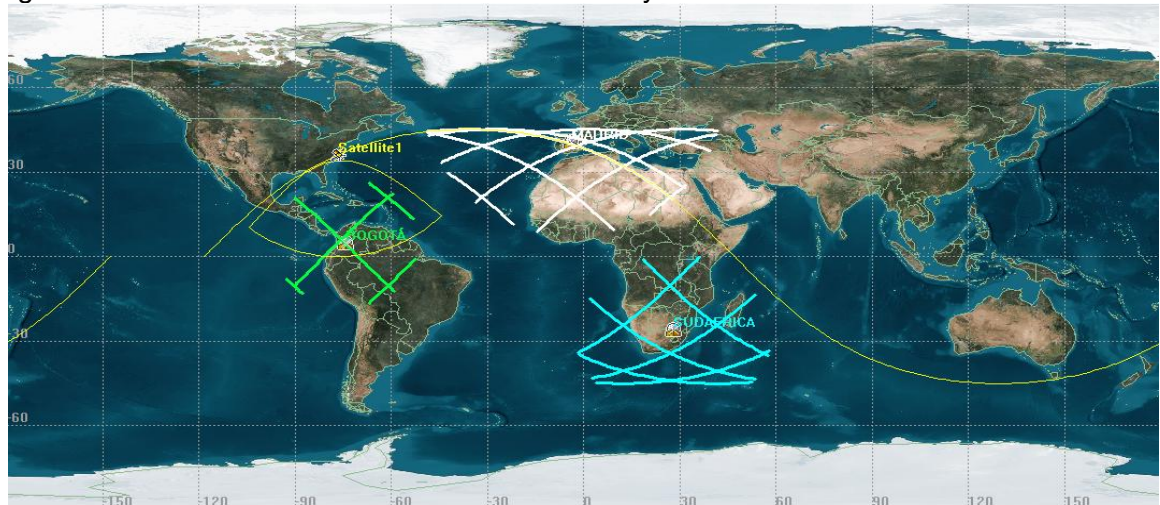
6.4.5 Escenario V con restricción en Carrier to Noise Ratio.

Este escenario se basa en el escenario general, se diferencia en una restricción en Carrier to Noise Ratio (rendimiento del enlace portador de ruido), este procedimiento se llevara a cabo en el simulador

6.4.6 Escenario VI para sistemas digitales (BER).

Este escenario se basa en el escenario general, se diferencia en una restricción en sistemas digitales (BER Bit Rata Error), este procedimiento se llevara a cabo en el simulador

Figura 14. Escenario con restricción en flux density.



(AGI, 2009)

6.5 MANUAL STK

Ver anexo digital.

6.6 GUIA DE TRABAJO PARA LOS ESCENARIOS.

Guia de trabajo.



FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN

Facultad de Ingeniería

Programa de Electrónica y de Telecomunicaciones

Guía de Laboratorio No. 1

Simulación de un enlace satelital

Objetivo General

- Realizar la simulación de un enlace satelital para observar el comportamiento de los factores que intervienen en el enlace.

Objetivos Específicos

- Implementar escenario de trabajo.
- Realizar restricciones en el escenario para crear nuevos escenarios.
- Analizar los resultados en los diferentes escenarios para ver las diferencias entre cada uno.

Requerimientos

- Manejo de STK (Satellite Tool Kit)
- Manejo de temática de enlaces satelitales
- Conocimiento en normas y estándares.

INTRODUCCIÓN

Una de las aplicaciones de la STK en las comunicaciones es el análisis de los enlaces de comunicaciones. Acceso entre un emisor y un receptor puede ser

obligado a satisfacer una variedad de criterios de un enlace de Radio frecuencia. Con una o más limitaciones en su lugar, a continuación, puede ajustar las propiedades de los dispositivos de comunicaciones y ver cómo el ajustes afectan el rendimiento del enlace. En el siguiente ejercicio se creará un enlace entre tres receptores en el mismo número de facilidades y un transmisor en un satélite de comunicaciones y luego imponen diversas restricciones de Comunicación y observar sus efectos antes y después ajuste del transmisor y / o los parámetros de los receptores.

Desarrollo de la Práctica

Ejercicios:

-Para el primer escenario que este conformado por:

- tres estaciones terrenas ubicadas (Bogotá, Madrid y Sudáfrica).
- un satélite de órbita circular, inclinación de 45° y una altitud de 1500Km.
- un sensor para el satélite donde los target sean las estaciones terrenas, utilice las normas ITU-R P.618-8 y ITU-R P.676-5. Para modelos de lluvia y absorción atmosférica respectivamente.
- un receptor para cada estación terrena con Medium Receiver Model ganancia de 20 dB y 0.01 el porcentaje de lluvia en System Noise Temperature LNA utilice 1.2dB en antenna coloque en uso Sun, Atmosphere, and Rain, utilice el modelo de refracción ITU-R P.834-4.
- un trasmisor para el sensor del satélite con frecuencia de 4.5GHz, Complex Transmitter Model, con un power de 5 dBW, una antena con diámetro de 1m eficiencia del 55% y un Pointing Loss de -1dB; en el trasmisor dele acceso a las estaciones terrenas.
-Para el segundo escenario realice una restricción en RIP en un valor promedio al RIP del primer escenario y cambie el diámetro de la antena a 1.5m.

-Para el tercer escenario:

- Modifique el escenario 1 de tal forma que el doppler shift min -50KHz y max 50KHz para cada estación terrena.

-Para el cuarto escenario:

- Modifique el escenario 1 de tal forma que el Flux Density en promedio del escenario 1 para el trasmisor.

-Para el quinto escenario:

- Modifique el escenario 1 de tal forma que el Carrier to Noise Ratio 10 dB Min C/N, para cada estación terrena.

-Para el sexto escenario:

- Modifique el escenario 1 de tal forma que el Data Rate to 12 Mbps y el Min Eb/N0 to 15 dB. Del trasmisor.

Análisis de Resultados Obtenidos

- Realice una grafica de la PIRE con respecto al tiempo, del escenario 1 para todas las estaciones terrenas en el Link Budget report, compare y concluya.
- Observe las ventanas 2D de todos los escenarios compare y concluya.
- Realice una grafica de la PIRE con respecto al tiempo, entre el escenario 1 y 2, compare y concluya.
- Realice una grafica de la PIRE con respecto al tiempo, entre el escenario 1 y 3, compare y concluya.
- Realice una grafica de la PIRE con respecto al tiempo, entre el escenario 1 y 4, compare y concluya.
- Realice una grafica de la PIRE con respecto al tiempo, entre el escenario 1 y 5, compare y concluya.
- Realice una grafica de la BER con respecto al tiempo, entre el escenario 1 y 6, compare y concluya.

Propuesta de profundización.

Realizar un enlace de comunicaciones donde aplique modelo de subida y bajada, que comunique a Bogotá con el satélite intelsat 603 y del satélite a una estación ubicada en Madrid, para observar las diferencias entre los modelos de enlace satelital.

Referencias

AGI. (20 de 01 de 2009). *stk*. Recuperado el 2009 de 08 de 10, de STK: www.stk.com

INTELSAT. (1 de ENERO de 2010). <http://www.intelsat.com/>. Recuperado el 15 de MARZO de 2010, de <http://www.intelsat.com/>

ITU. (2007). *HANDBOOK ON SATELLITE*. EE.UU: WILEY.

7. RUEBAS Y RESULTADOS

7.1 SATELITE CIRCULAR

7.1.1 Objetivos de la prueba

- 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.
- Obtener los cálculos de todos los parámetros del enlace satelital proporcionados por el software (STK).

7.1.2 Recursos

- Simulador STK
- Estándares para segmentos satelitales y estaciones terrenas de intelsat
- Escenario implementado para el enlace de órbita circular.

7.1.3 Proceso

Luego de ser implementado el escenario (introducir los datos correspondientes de las tablas 7 y 8 en el software STK), el paso a seguir es observar los parámetros (BER, PIRE, PIR, FLUX DENSITY) que rieguen el enlace de comunicaciones satelital con un muestreo que se lleva a cabo cada 300 segundos, para posterior sacar las conclusiones de la prueba.

7.1.4 Resultados esperados

Que se cumplan los requerimientos mínimos, dicho de otra manera que halla enlace entre el satélite y las estaciones terrenas (de Bogotá, Madrid y Sudáfrica), observando los cambios que ocurren en cada una de las estaciones.

7.1.5 Resultados obtenidos

Se muestra con que periodo hay enlace cuando el satélite pasa por las estaciones terrenas (Ver anexos 2), en las tablas se muestra el PIRE, PIR, FRECUENCIA, FLUX DENSITY, GANACIA RESPECTO AL LA TEMPERATURA G/T, ANCHO DE BANDA, BER, para cada una de las estaciones terrenas (Ver anexos 3-5)

7.1.6 Conclusiones.

- Las estaciones terrenas están recibiendo el PIRE se observa que el lóbulo de radiación cuando para por el espacio aéreo de las mismas.
- La forma cíclica que lleva el satélite muestra mostrado en los anexos, de forma clara cuando se produce un enlace para cada estación terrena.
- Según rango de tiempo en el escaneo se obtendrán un determinado número de datos.
- Debido a la posición geográfica de las estaciones terrenas se observan cambios en los resultados de las muestras que toma el software entre cada una de ellas.

7.2 SATELITE CIRCULAR CON RESTRICCIÓN EN RIP

7.2.1 Objetivos de la prueba

- 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).

7.2.2 Recursos

- Simulador STK
- Estándares para segmentos satelitales y estaciones terrenas de intelsat.
- Escenario implementado para el enlace de órbita circular

7.2.3 Proceso

Luego de ser implementado el escenario que implica hacer una restricción en el RIP, el paso a seguir es observar cómo se vieron afectados los parámetros que rigen el enlace de comunicaciones satelital con un muestreo que se lleva a cabo cada 300 segundos, para posterior sacar las conclusiones de la prueba.

7.2.4 Resultados esperados

Que se cumpla el enlace para que se pueda realizar entre el satélite y las estaciones terrenas (de Bogotá, Madrid y Sudáfrica), observando los cambios que ocurren en cada una de las estaciones.

7.2.5 Resultados obtenidos

Se muestra con que periodo hay enlace cuando el satélite pasa por las estaciones terrenas con una restricción en el RIP, (Ver anexos 6), en las tablas se muestra el PIRE, PIR, FRECUENCIA, FLUX DENSITY, GANACIA RESPECTO AL LA TEMPERATURA G/T, ANCHO DE BANDA, BER, para cada una de las estaciones terrenas (Ver anexos 7-9)

7.2.6 Conclusiones.

- Cuando se limita el RIP, el enlace pierde su rendimiento, la forma de mejorarlo es hacer aumentar el PIRE haciendo que el diámetro de la antena sea mayor.
- Los periodos en donde el enlace se lleva a cabo con cada una de las estaciones se limita de una manera drástica.
- La ubicación de las diferentes estaciones hace que varíen los periodos para el enlace en cada una de ellas.
- La posición geográfica permite que las condiciones atmosféricas como por ejemplo la intensidad de la lluvia hace que se halla cambios en la forma de percepción en los receptores

7.3 SATELITE CIRCULAR CON RESTRICCIÓN EN DOPPLER SHIFT

7.3.1 Objetivos de la prueba

- 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 treves 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).

7.3.2 Recursos

- Simulador STK
- Estándares para segmentos satelitales y estaciones terrenas de Intelsat.
- Escenario implementado para el enlace de órbita circular

7.3.3 Resultados esperados

Que se cumplan los requerimientos para que se pueda realizar un enlace entre el satélite y las estaciones terrenas (de Bogotá, Madrid y Sudáfrica), observando los cambios que ocurren en cada una de las estaciones.

7.3.4 Resultados obtenidos

Se muestra con que periodo hay enlace cuando el satélite pasa por las estaciones terrenas con una restricción en el DOPPLER SHIFT, (Ver anexos 10), en las tablas se muestra el PIRE, PIR, FRECUENCIA, FLUX DENSITY, GANACIA RESPECTO AL LA TEMPERATURA G/T, ANCHO DE BANDA, BER, para cada una de las estaciones terrenas (Ver anexos 11-13)

7.3.5 Conclusiones.

- Se debe configurar al receptor para que se adapte al aumento y disminución (50KHz) de la frecuencia debido al comportamiento orbital del satélite
- Los periodos en donde el enlace se lleva a cabo con cada una de las estaciones se limita de una manera drástica (ver anexo 10).
- La variación en las condiciones atmosféricas que sufre cada estación terrena al estar ubicada en diferentes zonas del globo terráqueo afecta el desempeño del enlace para cada una cambiando las condiciones de cada estación terrena.
- Los periodos de recepción de la potencia varían debido a la ubicación de cada una de las estaciones terrenas (ver anexo 11).

7.4 SATELITE CIRCULAR CON RESTRICCIÓN EN FLUX DENSITY

7.4.1 Objetivos de la prueba

- 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).

7.4.2 Recursos

- Simulador STK
- Estándares para segmentos satelitales y estaciones terrenas de intelsat.

- Escenario implementado para el enlace de órbita circular

7.4.3 Proceso

Luego de ser implementado (insertando los datos y constreñimientos en el software STK) el escenario que implica hacer una restricción en el flux density, el paso a seguir es observar cómo se vieron afectados los parámetros que riegan el enlace de comunicaciones satelital con un muestreo que se lleva a cabo cada 300 segundos, para posterior sacar las conclusiones de la prueba.

7.4.4 Resultados esperados

Que se cumplan los requerimientos para que se pueda realizar un enlace entre el satélite y las estaciones terrenas (de Bogotá, Madrid y Sudáfrica), observando los cambios que ocurren en cada una de las estaciones.

7.4.5 Resultados obtenidos

Se muestra con que periodo hay enlace cuando el satélite pasa por las estaciones terrenas con una restricción en el FLUX DENSITY, (Ver anexos 14), en las tablas se muestra el PIRE, PIR, FRECUENCIA, FLUX DENSITY, GANACIA RESPECTO AL LA TEMPERATURA G/T, ANCHO DE BANDA, BER, para cada una de las estaciones terrenas (Ver anexos 15-17)

7.4.6 Conclusiones.

- El flujo de densidad es la potencia radiada por el transmisor, que es reducida por las pérdidas atmosféricas aplicables.
- Se demuestra una reducción en el periodo del enlace en cada una de las estaciones terrenas.
- Los periodos varían según la ubicación geográfica y la restricción puestas en las estaciones terrenas.
- La variación en las condiciones atmosféricas que sufre cada estación terrena al estar ubicada en diferentes zonas del globo terráqueo afecta el desempeño del enlace para cada una.

7.5 SATELITE CIRCULAR CON RESTRICCIÓN EN CARRIER NOISE RATIO

7.5.1 Objetivos de la prueba

- 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).

7.5.2 Recursos

- Simulador STK
- Estándares para segmentos satelitales y estaciones terrenas de intelsat.
- Escenario implementado para el enlace de órbita circular

7.5.3 Proceso

Luego de ser implementado (insertando los datos y constreñimientos en el software STK) el escenario que implica hacer una restricción en el Carrier to Noise Ratio, el paso a seguir es observar cómo se afectan los parámetros que riegan el enlace de comunicaciones satelital con un muestreo que se lleva a cabo cada 300 segundos, para posterior sacar las conclusiones de la prueba.

7.5.4 Resultados esperados

Que se cumplan los requerimientos mínimos para que se pueda realizar entre el satélite y las estaciones terrenas (de Bogotá, Madrid y Sudáfrica), observando los cambios que ocurren en cada una de las estaciones.

7.5.5 Resultados obtenidos

Ver anexos 18-21 Se muestra con que periodo hay enlace cuando el satélite pasa por las estaciones terrenas con una restricción en el CARRIER TO NOISE RATIO, (Ver anexos 18), en las tablas se muestra el PIRE, PIR, FRECUENCIA, FLUX DENSITY, GANANCIA RESPECTO AL LA TEMPERATURA G/T, ANCHO DE BANDA, BER, para cada una de las estaciones terrenas (Ver anexos 19-21)

7.5.6 Conclusiones.

- La variación en las condiciones atmosféricas que sufre cada estación terrena al estar ubicada en diferentes zonas del globo terráqueo afecta el desempeño del enlace para cada una.
- Los periodos varían según la ubicación geográfica y la restricción puestas en las estaciones terrenas
- Debido a la inclinación del satélite muestra un mayor constreñimiento en la estación terrena ubicada en Bogotá.
- Se ve afectado en el PIRE en la estación terrena de Bogotá.

7.6 SATELITE CIRCULAR CON RESTRICCIÓN PARA SISTEMAS DIGITALES

7.6.1 Objetivos de la prueba

- 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).

7.6.2 Recursos

- Simulador STK
- Estándares para segmentos satelitales y estaciones terrenas de intelsat.
- Escenario implementado para el enlace de órbita circular

7.6.3 Proceso

Luego de ser implementado el escenario (insertando los datos y constreñimientos en el software STK) que implica hacer una restricción para sistemas digitales, el paso a seguir es observar cómo se vieron afectados los parámetros que rigen el enlace de comunicaciones satelital con un muestreo que se lleva a cabo cada 300 segundos, para posterior sacar las conclusiones de la prueba.

7.6.4 Resultados esperados

Que se cumplan los requerimientos mínimos para que se pueda realizar entre el satélite y las estaciones terrenas (de Bogotá, Madrid y Sudáfrica), observando los cambios que ocurren en cada una de las estaciones.

7.6.5 Resultados obtenidos

Ver anexos 22-25

7.6.6 Conclusiones.

- Debido a los cambios y las restricciones aumenta el BER
- Las condiciones atmosféricas hacen que los resultados varíen
- La forma cíclica que lleva el satélite muestra de forma clara cuando se produce un enlace para cada estación terrena.

8. CONCLUSIONES

- 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.

9. RECOMENDACIONES

Antes de realizar la guía es necesario saber pautas básicas en el manejo de software a través del manual, para facilitar el entendimiento de la guía.

Al momento de realizar una simulación en el software es necesario tener en cuenta normas, estándares y recomendaciones, que pueden proveer organizaciones como INTELSAT, NASA, ITU, AGI, entre otras, que pueden ayudar a mejorar el desempeño en la simulación haciendo más aproximados los escenarios a la realidad.

El modelamiento de los enlaces satelitales está ligado a los avances tecnológicos y a mejoras en software que en el día a día surgen debido a esto se debe tener una percepción clara de los instrumentos a utilizar y versiones del programa.

Si se desea profundizar en el manejo del software puede ver en el catálogo del mismo para que más es utilizado y así poder aprovecharlo de manera que quiera.

Para obtener la licencia es necesario estar registrado en la página web www.agi.com donde, además puede recibir información de temas de interés a su correo electrónico.

GLOSARIO

ANCHO DE BANDA: Cantidad de datos que se pueden enviar de un punto a otro en un periodo dado, es la tasa de transferencia de datos (Simon Haikyn, Michel Moher, 2005).

ANTENA: Dispositivo que sirve para enviar y recibir ondas de radio (Brown, 1980).

CDMA: (Code-division multiple Access), El Acceso múltiple por división de código mejor conocido como Espectro esparcido (Spread Spectrum) es una técnica de modulación que convierten la señal en banda base en una señal modulada con un espectro de ancho de banda que cubre o se esparce sobre una banda de magnitud más grande que la que normalmente se necesita para transmitir la señal en banda base por sí misma (Gomez, 2005).

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO: Es el conjunto completo de todos los tipos de radiación electromagnética, cada tipo de radiación tiene una frecuencia y longitud de onda que la caracteriza (Wangness, 2009).

ESTRATOSFERA: Es la capa de la atmósfera terrestre situada encima de la troposfera y por debajo de la mesosfera. Empieza a una altitud entre los 12,9 y 19,3 km y que se extiende 50 km hacia arriba (RAE, 2009).

FDMA: (Frequency-division multiple Access), Acceso múltiple por división de frecuencias, Este tipo de sistemas canalizan el transponedor usando múltiples portadoras, donde a cada portadora le asigna un par de frecuencias (Coraza, 2007).

G/T:(Factor de mérito). Sensibilidad global de la estación, es el cociente entre la ganancia de la antena y la temperatura de ruido equivalente del receptor (INTELSAT, 2010).

GPS: Sistema de posicionamiento global (NASA, 2007).

IEEE: (Institute of electrical and electronics engineers), organización de los estados unidos de ingenieros eléctricos y electrónicos.

IONOSFERA: Es el nombre con que se designa una o varias capas de aire ionizado en la atmósfera que se extienden desde una altura de casi 80 km sobre la superficie terrestre hasta 640 km o más (RAE, 2009).

INTELSAT: Organización internacional de telecomunicaciones satelitales (INTELSAT, 2010).

MESOSFERA: Esta capa se extiende desde, aproximadamente, 50 km. hasta los 80 km., y está caracterizada por un decremento de las temperaturas, alcanzado los 190-180 K a una altitud de 80 km. (RAE, 2009).

P.I.R: Potencia Isotrópica Radiada (Hernandez, 2002).

P.I.R.E:(Potencia Isotrópica Radiada Efectiva). Relaciona a la potencia del transmisor y la ganancia de la antena en la frecuencia de transmisión (INTELSAT, 2010).

SATÉLITE: Es un objeto que orbita alrededor de otro, estos pueden ser naturales o artificiales, los cuales cumplen funciones según su misión o su órbita. (NASA, 2007)

SIMULADOR: Aparato que reproduce el comportamiento de un sistema en determinadas condiciones, aplicado generalmente para el entrenamiento de quienes deben manejar dicho sistema (RAE, 2009).

TDMA: (Time-division multiple Access), El Acceso múltiple por división de tiempo está caracterizado por el uso de ranuras de tiempo asignadas a cada portadora. (Brown, 1980)

TOPOLOGÍA DE RED: Es la forma como está constituida la red, puede ser en un solo sentido, punto a punto, punto a multipunto, estrella, malla y mixta. (ITU, 2007)

TRANSPONDEDOR: Dispositivo que emite una señal en una frecuencia determinada cuando lo estimula otra señal externa apropiada. (RAE, 2009)

TROPOSFERA: Es la capa más baja de la atmósfera terrestre, sede de los fenómenos meteorológicos. Se extiende desde el nivel del suelo hasta 11 km. de altura y está caracterizada por temperaturas decrecientes del orden de 6º C por km. (RAE, 2009)

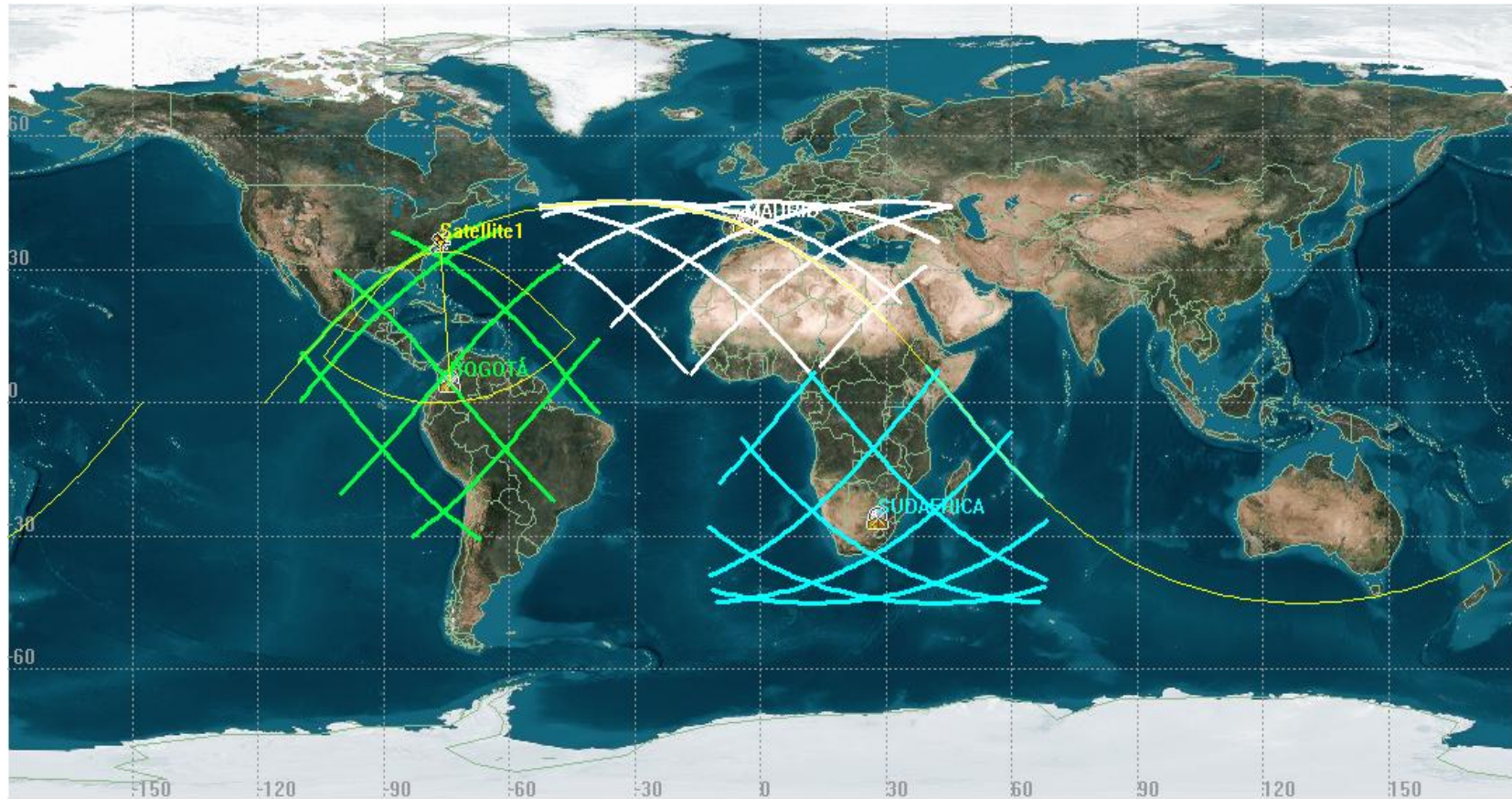
BIBLIOGRAFÍA

- AGI. (20 de 01 de 2009). *stk*. Recuperado el 2009 de 08 de 10, de STK: www.stk.com
- Brown, M. (1980). *Compendium of Communication and Broadcast Satellites*. new york: IEEE.
- Bruce, E. (2008). *Introduction To Satellite Communication*. Boston: Aatech Huose.
- Coraza, G. (2007). *Digital Satelite Communnications*. Bologna: Springer.
- Gomez, J. C. (2005). *Sistemas De telecomunicaciones*. Bogotá.
- Hernandez, I. (2002). *La Investigacion Un Camino a la Imaginacion Cientifica*. Bogotá: Universidad Piloto De Colombia.
- INTELSAT. (1 de ENERO de 2010). <http://www.intelsat.com/>. Recuperado el 15 de MARZO de 2010, de <http://www.intelsat.com/>
- ITU. (2007). *HANDBOOK ON SATELLITE*. EE.UU: WILEY.
- NASA. (29 de 11 de 2007). *Administracion del Espacio y de la Aeronautica Nacional USA*. Recuperado el 27 de 08 de 2009, de Administracion del Espacio y de la Aeronautica Nacional USA: www.NASA.gov
- RAE. (13 de 01 de 2009). *RAE*. Recuperado el 01 de 08 de 2009, de RAE: www.rae.es
- Roddy, D. (2006). *Satellite Communication*. United States Of America: McGraw-Hill.
- Simon Haikyn, Michel Moher. (2005). *Moder Wireless Communications*. United States Of America: Pearson linternacional.
- Tomasi, W. (2008). *Comunicaciones electronicas*. Mexico: Prentice hall.
- Wangsness, R. (2009). *campos electromagneticos*. Mexico: limusa.

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1. Manual de STK (Ver anexo digital)

ANEXO 2. Escenario I con las condiciones iniciales



(AGI, 2009)

ANEXO 3. Datos Sudafrica escenario I

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 17:54:18.632	70.034	14.500130	-231.107	-186.423827	-6.512668	-9.020401	32000.000	-84.0719	-81.0616	4.999501e-001
5 May 2010 17:59:18.000	70.038	14.500039	-154.452	-109.768994	-5.886282	68.260818	32000.000	-6.7907	-3.7804	1.800544e-001
5 May 2010 18:04:18.000	70.037	14.499927	-159.475	-114.792148	-5.937284	63.186663	32000.000	-11.8648	-8.8545	3.049361e-001
5 May 2010 18:07:47.271	70.033	14.499866	-231.284	-186.601454	-6.571891	-9.257251	32000.000	-84.3088	-81.2985	4.999514e-001

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 19:50:57.033	70.034	14.500252	-231.128	-186.444596	-6.515847	-9.044349	32000.000	-84.0958	-81.0855	4.999502e-001
5 May 2010 19:55:57.000	70.038	14.500225	-132.083	-87.400397	-5.648197	90.867500	32000.000	15.8160	18.8263	1.000000e-030
5 May 2010 20:00:57.000	70.038	14.500092	-121.802	-77.119214	-5.330673	101.466207	32000.000	26.4147	29.4250	1.000000e-030
5 May 2010 20:05:57.000	70.038	14.499850	-123.566	-78.883069	-5.401177	99.631848	32000.000	24.5803	27.5906	1.000000e-030
5 May 2010 20:10:57.000	70.038	14.499761	-138.300	-93.616741	-5.740869	84.558484	32000.000	9.5070	12.5173	1.146448e-009
5 May 2010 20:14:32.516	70.033	14.499746	-231.353	-186.670290	-6.600509	-9.354705	32000.000	-84.4062	-81.3959	4.999520e-001

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 21:53:17.980	70.033	14.500256	-231.209	-186.526029	-6.545251	-9.155185	32000.000	-84.2067	-81.1964	4.999508e-001
5 May 2010 21:58:17.000	70.038	14.500234	-131.721	-87.037702	-5.641272	91.237120	32000.000	16.1856	19.1959	1.000000e-030
5 May 2010 22:03:17.000	70.038	14.500113	-120.855	-76.171840	-5.291310	102.452944	32000.000	27.4014	30.4117	1.000000e-030
5 May 2010 22:08:17.000	70.038	14.499853	-121.867	-77.184373	-5.332215	101.399506	32000.000	26.3480	29.3583	1.000000e-030
5 May 2010 22:13:17.000	70.038	14.499761	-134.755	-90.072194	-5.694251	88.149649	32000.000	13.0981	16.1084	8.185649e-020
5 May 2010 22:17:33.313	70.033	14.499746	-231.427	-186.743676	-6.607541	-9.435123	32000.000	-84.4866	-81.4763	4.999524e-001

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 23:58:50.974	70.033	14.500221	-231.317	-186.634115	-6.582841	-9.300861	32000.000	-84.3524	-81.3421	4.999517e-001
6 May 2010 00:03:50.000	70.038	14.500172	-135.798	-91.114805	-5.709188	87.092101	32000.000	12.0406	15.0509	6.248898e-016
6 May 2010 00:08:50.000	70.038	14.500040	-127.250	-82.567375	-5.529791	95.818927	32000.000	20.7674	23.7777	1.000000e-030
6 May 2010 00:13:50.000	70.038	14.499874	-130.288	-85.604654	-5.610697	92.700743	32000.000	17.6492	20.6595	1.000000e-030
6 May 2010 00:18:50.000	70.038	14.499795	-152.574	-107.891352	-5.877859	70.146884	32000.000	-4.9046	-1.8943	1.277480e-001
6 May 2010 00:21:04.677	70.033	14.499780	-231.362	-186.678890	-6.603031	-9.365826	32000.000	-84.4173	-81.4070	4.999520e-001

(AGI, 2009)

ANEXO 4. Datos Madrid escenario I.

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 17:24:48.070	70.031	14.500262	-176.155	-131.472442	-6.723059	45.720593	32000.000	-29.3309	-26.3206	4.727694e-001
5 May 2010 17:29:48.000	70.038	14.500249	-121.900	-77.216987	-4.947771	101.751337	32000.000	26.6998	29.7101	1.000000e-030
5 May 2010 17:34:48.000	70.038	14.500142	-114.122	-69.439348	-4.003919	110.472827	32000.000	35.4213	38.4316	1.000000e-030
5 May 2010 17:39:48.000	70.038	14.499843	-114.537	-69.854106	-4.050710	110.011278	32000.000	34.9598	37.9701	1.000000e-030
5 May 2010 17:44:48.000	70.038	14.499749	-122.646	-77.962527	-5.039095	100.914472	32000.000	25.8630	28.8733	1.000000e-030
5 May 2010 17:49:23.407	70.032	14.499737	-175.938	-131.254487	-6.667592	45.994016	32000.000	-29.0575	-26.0472	4.719000e-001

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 19:27:47.318	70.031	14.500245	-176.166	-131.482570	-6.723841	45.709683	32000.000	-29.3418	-26.3315	4.728035e-001
5 May 2010 19:32:47.000	70.038	14.500207	-123.051	-78.367478	-5.083338	100.465278	32000.000	25.4138	28.4241	1.000000e-030
5 May 2010 19:37:47.000	70.038	14.500066	-117.469	-72.786010	-4.391924	106.738160	32000.000	31.6867	34.6970	1.000000e-030
5 May 2010 19:42:47.000	70.038	14.499855	-119.112	-74.429160	-4.601236	104.885698	32000.000	29.8342	32.8445	1.000000e-030
5 May 2010 19:47:47.000	70.038	14.499771	-128.260	-83.576920	-5.572137	94.767037	32000.000	19.7155	22.7258	1.000000e-030
5 May 2010 19:50:36.003	70.032	14.499757	-175.858	-131.174558	-6.639378	46.102158	32000.000	-28.9493	-25.9390	4.715486e-001

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 21:33:24.679	70.031	14.500134	-176.066	-131.382889	-6.700724	45.832481	32000.000	-29.2190	-26.2087	4.724169e-001
5 May 2010 21:38:24.000	70.038	14.500038	-132.847	-88.164024	-5.837584	89.914487	32000.000	14.8630	17.8733	8.691255e-029
5 May 2010 21:43:24.000	70.037	14.499926	-135.796	-91.113068	-5.956078	86.846948	32000.000	11.7954	14.8057	3.718319e-015
5 May 2010 21:46:37.451	70.032	14.499870	-175.816	-131.133357	-6.638559	46.144179	32000.000	-28.9073	-25.8970	4.714108e-001

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 08:30:36.476	70.032	14.500107	-175.843	-131.160339	-6.642846	46.112909	32000.000	-28.9386	-25.9283	4.715134e-001
6 May 2010 08:35:36.000	70.037	14.500010	-136.858	-92.175087	-5.995373	85.745635	32000.000	10.6941	13.7044	3.673746e-012
6 May 2010 08:40:36.000	70.036	14.499907	-153.680	-108.996908	-6.370648	68.548537	32000.000	-6.5030	-3.4927	1.720794e-001
6 May 2010 08:41:37.401	70.031	14.499889	-176.041	-131.358140	-6.695616	45.862338	32000.000	-29.1892	-26.1789	4.723221e-001

(AGI, 2009)

ANEXO 5. Datos Bogotá escenario I.

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 17:04:19.699	70.034	14.500159	-268.446	-223.762664	-6.451878	-46.298448	32000.000	-121.3499	-118.3396	4.999993e-001
5 May 2010 17:09:19.000	70.038	14.500077	-157.954	-113.271434	-5.804391	64.840269	32000.000	-10.2112	-7.2009	2.685315e-001
5 May 2010 17:14:19.000	70.038	14.499959	-153.845	-109.162211	-5.780402	68.973481	32000.000	-6.0780	-3.0677	1.602548e-001
5 May 2010 17:19:19.000	70.037	14.499865	-187.312	-142.628459	-5.997875	35.289760	32000.000	-39.7617	-36.7514	4.917998e-001
5 May 2010 17:20:59.862	70.034	14.499844	-268.497	-223.814336	-6.459410	-46.357652	32000.000	-121.4092	-118.3989	4.999993e-001

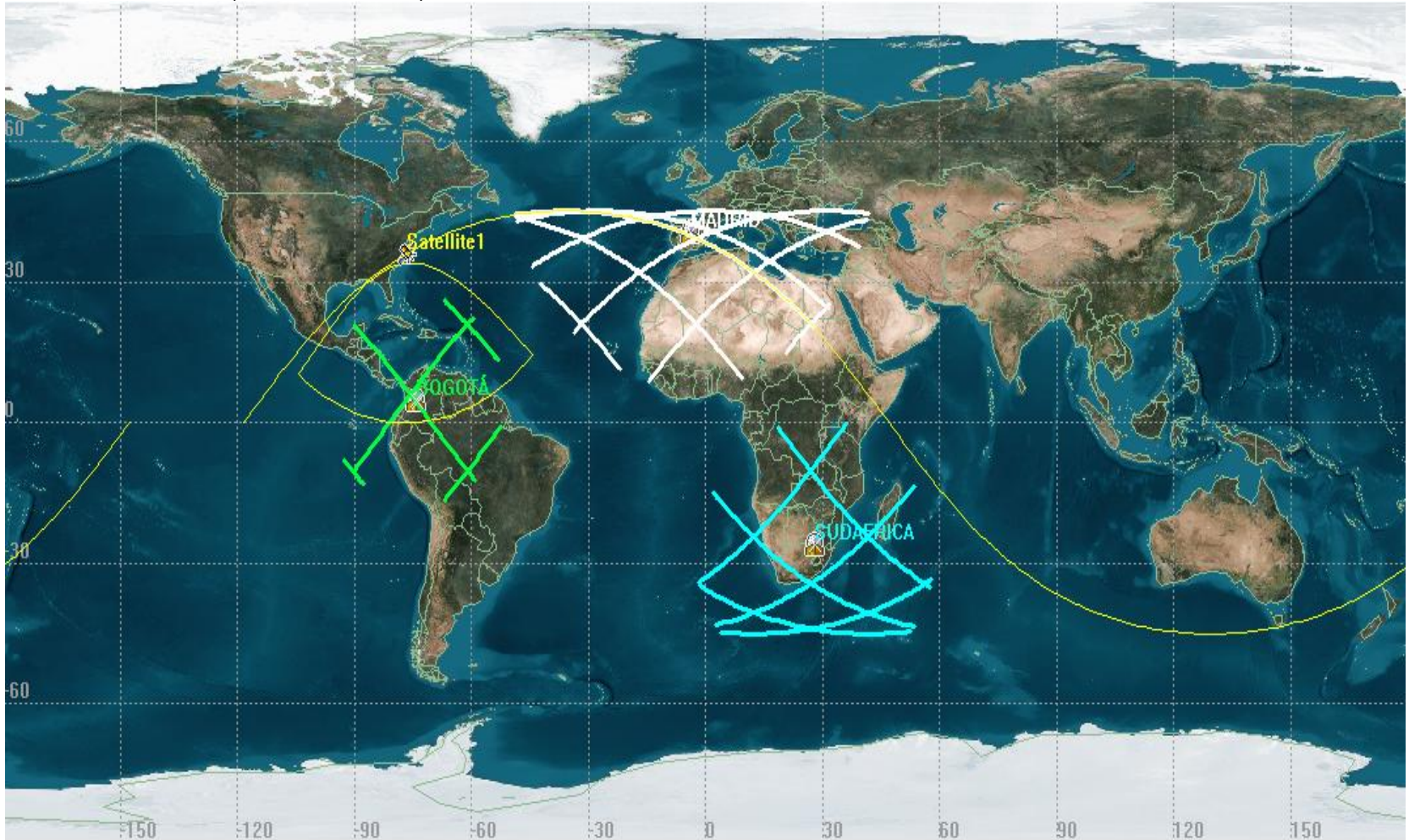
Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 23:25:51.986	70.034	14.500206	-268.498	-223.814657	-6.458436	-46.356999	32000.000	-121.4085	-118.3982	4.999993e-001
5 May 2010 23:30:51.000	70.038	14.500149	-147.078	-102.394479	-5.741517	75.780098	32000.000	0.7286	3.7389	1.481493e-002
5 May 2010 23:35:51.000	70.038	14.500015	-137.144	-92.460819	-5.680385	85.774891	32000.000	10.7234	13.7337	3.124775e-012
5 May 2010 23:40:51.000	70.038	14.499868	-143.788	-99.105047	-5.722854	79.088193	32000.000	4.0367	7.0470	7.282717e-004
5 May 2010 23:45:51.000	70.037	14.499796	-202.402	-157.719248	-6.088118	20.108728	32000.000	-54.9428	-51.9325	4.985718e-001
5 May 2010 23:46:38.714	70.034	14.499790	-268.483	-223.799944	-6.448028	-46.331878	32000.000	-121.3834	-118.3731	4.999993e-001

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 01:27:06.434	70.034	14.500263	-268.506	-223.822946	-6.456439	-46.363290	32000.000	-121.4148	-118.4045	4.999993e-001
6 May 2010 01:32:06.000	70.038	14.500249	-138.218	-93.534458	-5.688189	84.693448	32000.000	9.6419	12.6522	6.429709e-010
6 May 2010 01:37:06.000	70.038	14.500140	-122.624	-77.940955	-5.462949	100.512190	32000.000	25.4607	28.4710	1.000000e-030
6 May 2010 01:42:06.000	70.038	14.499839	-123.531	-78.847513	-5.484911	99.583669	32000.000	24.5322	27.5425	1.000000e-030
6 May 2010 01:47:06.000	70.038	14.499747	-140.699	-96.015696	-5.704391	82.196008	32000.000	7.1445	10.1548	2.649887e-006
6 May 2010 01:51:35.710	70.034	14.499737	-268.473	-223.790177	-6.442914	-46.316997	32000.000	-121.3685	-118.3582	4.999993e-001

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 03:32:07.318	70.034	14.500203	-268.463	-223.780340	-6.451727	-46.315973	32000.000	-121.3675	-118.3572	4.999993e-001
6 May 2010 03:37:07.000	70.038	14.500135	-148.249	-103.565745	-5.747737	74.602612	32000.000	-0.4489	2.5614	2.876480e-002
6 May 2010 03:42:07.000	70.038	14.499998	-139.534	-94.850519	-5.696979	83.368596	32000.000	8.3171	11.3274	9.413320e-008
6 May 2010 03:47:07.000	70.038	14.499865	-148.651	-103.967606	-5.749738	74.198750	32000.000	-0.8528	2.1575	3.491761e-002
6 May 2010 03:52:04.810	70.034	14.499801	-268.370	-223.686997	-6.440859	-46.211761	32000.000	-121.2633	-118.2530	4.999993e-001

(AGI, 2009)

ANEXO 6. Escenario II (RIP A -140dBW.)



(AGI, 2009)

ANEXO 7. Datos Sudafrica escenario II.

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 19:53:44.456	73.559	14.500243	-139.999	-95.316421	-5.791904	82.807769	32000.000	7.7563	10.7666	5.177680e-007
5 May 2010 19:58:44.000	73.559	14.500173	-121.381	-76.698318	-5.452305	101.765471	32000.000	26.7140	29.7243	1.000000e-030
5 May 2010 20:03:44.000	73.559	14.499946	-117.724	-73.041075	-5.307581	105.567439	32000.000	30.5159	33.5262	1.000000e-030
5 May 2010 20:08:44.000	73.559	14.499785	-126.042	-81.359017	-5.593531	96.963547	32000.000	21.9120	24.9223	1.000000e-030
5 May 2010 20:11:44.748	73.559	14.499756	-140.000	-95.316466	-5.795168	82.804460	32000.000	7.7530	10.7633	5.226786e-007

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 21:56:02.463	73.559	14.500249	-140.000	-95.316956	-5.793243	82.805895	32000.000	7.7544	10.7647	5.205438e-007
5 May 2010 22:01:02.000	73.559	14.500190	-120.845	-76.162286	-5.431967	102.321841	32000.000	27.2703	30.2806	1.000000e-030
5 May 2010 22:06:02.000	73.559	14.499962	-116.292	-71.608716	-5.250485	107.056893	32000.000	32.0054	35.0157	1.000000e-030
5 May 2010 22:11:02.000	73.559	14.499785	-123.775	-79.091978	-5.531241	99.292875	32000.000	24.2414	27.2517	1.000000e-030
5 May 2010 22:14:46.769	73.559	14.499752	-139.999	-95.316409	-5.795772	82.803913	32000.000	7.7524	10.7627	5.234952e-007

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 00:02:09.593	73.559	14.500195	-140.000	-95.316566	-5.795000	82.804528	32000.000	7.7530	10.7633	5.225777e-007
6 May 2010 00:07:09.000	73.559	14.500096	-125.145	-80.462401	-5.570404	97.883289	32000.000	22.8318	25.8421	1.000000e-030
6 May 2010 00:12:09.000	73.559	14.499923	-124.511	-79.828297	-5.552828	98.534969	32000.000	23.4835	26.4938	1.000000e-030
6 May 2010 00:17:09.000	73.559	14.499812	-136.695	-92.012090	-5.762668	86.141336	32000.000	11.0898	14.1001	3.748683e-013
6 May 2010 00:17:44.778	73.559	14.499805	-140.000	-95.316467	-5.795796	82.803831	32000.000	7.7523	10.7626	5.236182e-007

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 02:07:41.160	73.559	14.500198	-140.000	-95.316604	-5.795818	82.803672	32000.000	7.7522	10.7625	5.238551e-007
6 May 2010 02:12:41.000	73.559	14.500101	-124.885	-80.201655	-5.563277	98.151162	32000.000	23.0997	26.1100	1.000000e-030
6 May 2010 02:17:41.000	73.559	14.499925	-123.980	-79.296900	-5.537401	99.081793	32000.000	24.0303	27.0406	1.000000e-030
6 May 2010 02:22:41.000	73.559	14.499811	-135.595	-90.912215	-5.750146	87.253734	32000.000	12.2022	15.2125	1.824122e-016
6 May 2010 02:23:29.595	73.559	14.499801	-140.000	-95.316554	-5.794886	82.804654	32000.000	7.7532	10.7635	5.223900e-007

(AGI, 2009)

ANEXO 8. Datos Madrid escenario II

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 17:25:32.958	73.558	14.500262	-139.999	-95.316236	-6.193237	82.406621	32000.000	7.3551	10.3654	1.548380e-006
5 May 2010 17:30:32.000	73.559	14.500243	-117.003	-72.319833	-4.777245	106.819016	32000.000	31.7675	34.7778	1.000000e-030
5 May 2010 17:35:32.000	73.559	14.500104	-109.829	-65.146059	-3.911540	114.858496	32000.000	39.8070	42.8173	1.000000e-030
5 May 2010 17:40:32.000	73.559	14.499816	-111.975	-67.292134	-4.157491	112.466470	32000.000	37.4150	40.4253	1.000000e-030
5 May 2010 17:45:32.000	73.559	14.499745	-120.786	-76.103082	-5.223698	102.589314	32000.000	27.5378	30.5481	1.000000e-030
5 May 2010 17:48:38.988	73.558	14.499738	-139.999	-95.316254	-6.173912	82.425928	32000.000	7.3744	10.3847	1.472097e-006

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 19:28:35.707	73.558	14.500242	-140.000	-95.316687	-6.192473	82.406935	32000.000	7.3554	10.3657	1.547113e-006
5 May 2010 19:33:35.000	73.559	14.500194	-118.215	-73.531508	-4.927930	105.456656	32000.000	30.4052	33.4155	1.000000e-030
5 May 2010 19:38:35.000	73.559	14.500030	-113.673	-68.989726	-4.358386	110.567981	32000.000	35.5165	38.5268	1.000000e-030
5 May 2010 19:43:35.000	73.559	14.499833	-116.495	-71.811848	-4.716645	107.387601	32000.000	32.3361	35.3464	1.000000e-030
5 May 2010 19:48:35.000	73.559	14.499765	-128.200	-83.516945	-5.780843	94.618306	32000.000	19.5668	22.5771	1.000000e-030
5 May 2010 19:49:47.972	73.558	14.499760	-140.000	-95.316592	-6.163324	82.436178	32000.000	7.3847	10.3950	1.433013e-006

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 21:35:02.455	73.558	14.500108	-140.000	-95.316470	-6.182031	82.417593	32000.000	7.3661	10.3764	1.504596e-006
5 May 2010 21:40:02.000	73.559	14.500001	-128.557	-83.874446	-5.800657	94.240992	32000.000	19.1895	22.1998	1.000000e-030
5 May 2010 21:44:59.386	73.558	14.499896	-140.000	-95.316480	-6.164616	82.434999	32000.000	7.3835	10.3938	1.437462e-006

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 08:32:46.124	73.558	14.500069	-140.000	-95.316726	-6.167627	82.431742	32000.000	7.3802	10.3905	1.449812e-006
6 May 2010 08:37:46.000	73.559	14.499963	-134.507	-89.823787	-6.034675	88.057632	32000.000	13.0061	16.0164	1.946180e-019
6 May 2010 08:39:28.129	73.558	14.499928	-140.000	-95.316647	-6.179566	82.419881	32000.000	7.3684	10.3787	1.495611e-006

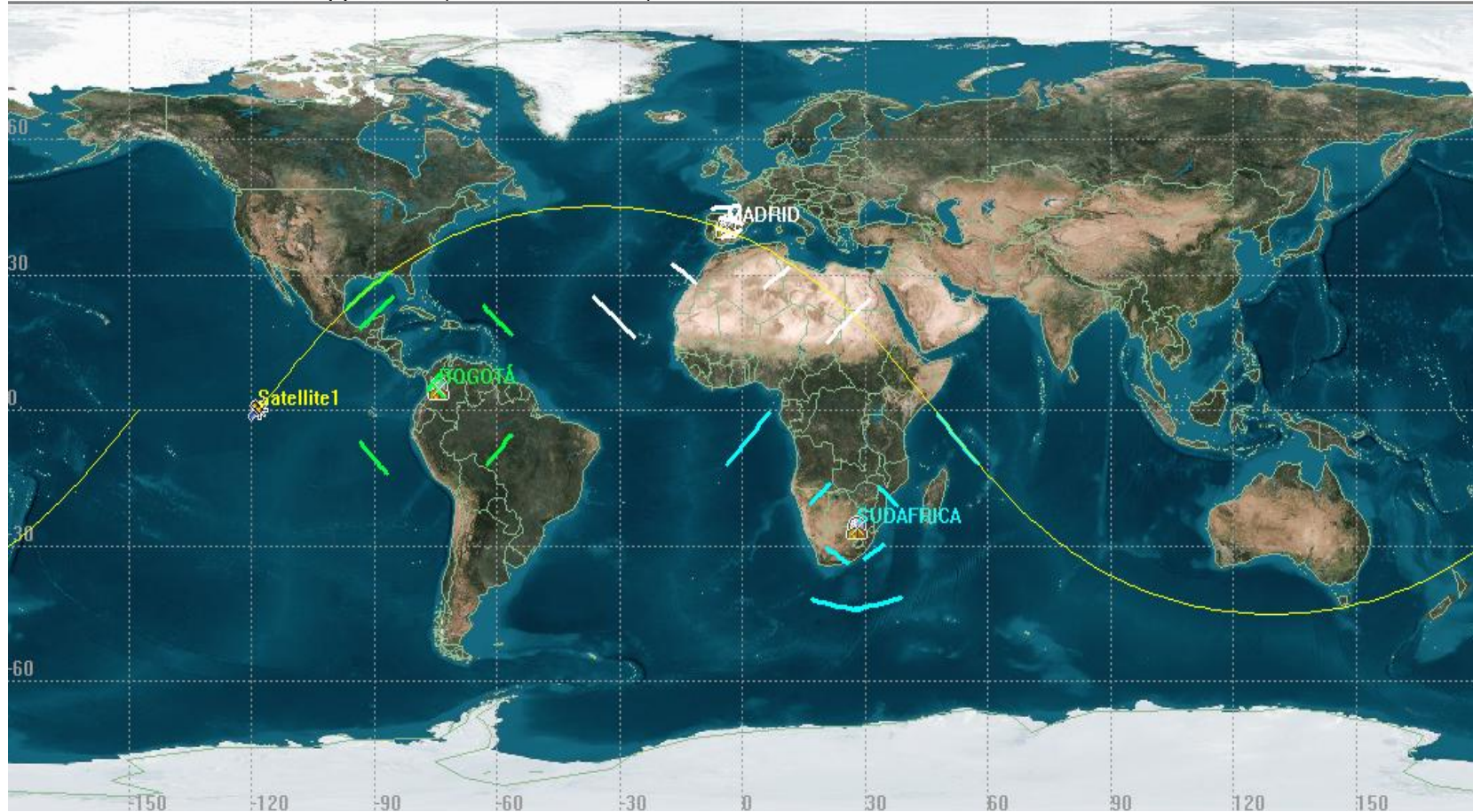
(AGI, 2009)

ANEXO 9. Datos Bogotá escenario II

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBm/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 23:31:49.676	73.559	14.500129	-140.000	-95.316746	-5.721448	82.877901	32000.000	7.8264	10.8367	4.231785e-007
5 May 2010 23:36:49.000	73.559	14.499983	-133.638	-88.954743	-5.680498	89.280853	32000.000	14.2294	17.2397	3.830440e-025
5 May 2010 23:40:45.970	73.559	14.499870	-140.000	-95.316760	-5.721327	82.878008	32000.000	7.8265	10.8368	4.230474e-007
6 May 2010 01:31:07.183	73.559	14.500255	-140.000	-95.316482	-5.721403	82.878209	32000.000	7.8267	10.8370	4.228009e-007
6 May 2010 01:36:07.000	73.559	14.500180	-121.094	-76.410747	-5.509806	101.995542	32000.000	26.9440	29.9543	1.000000e-030
6 May 2010 01:41:07.000	73.559	14.499886	-118.316	-73.633363	-5.443481	104.839250	32000.000	29.7878	32.7981	1.000000e-030
6 May 2010 01:46:07.000	73.559	14.499755	-132.446	-87.762927	-5.671083	90.482084	32000.000	15.4306	18.4409	1.000000e-030
6 May 2010 01:47:35.397	73.559	14.499745	-140.000	-95.316457	-5.721157	82.878481	32000.000	7.8270	10.8373	4.224669e-007
6 May 2010 03:38:36.077	73.559	14.500101	-140.000	-95.316804	-5.721232	82.878059	32000.000	7.8266	10.8369	4.229848e-007
6 May 2010 03:43:36.000	73.559	14.499953	-136.772	-92.089323	-5.701850	86.124922	32000.000	11.0734	14.0837	4.137939e-013
6 May 2010 03:45:31.377	73.559	14.499900	-140.000	-95.316804	-5.721128	82.878162	32000.000	7.8267	10.8370	4.228580e-007
6 May 2010 12:09:42.189	73.559	14.500142	-140.000	-95.316904	-5.721820	82.877370	32000.000	7.8259	10.8362	4.238298e-007
6 May 2010 12:14:42.000	73.559	14.499995	-132.374	-87.690672	-5.671203	90.554219	32000.000	15.5027	18.5130	1.000000e-030
6 May 2010 12:19:24.007	73.559	14.499856	-140.000	-95.316809	-5.721966	82.877319	32000.000	7.8258	10.8361	4.238922e-007

(AGI, 2009)

ANEXO 10. Escenario III doppler shift(-50KHz A 50KHz)



(AGI, 2009)

ANEXO 11. Datos Sudafrica escenario III

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 17:58:22.383	70.038	14.500059	-156.938	-112.255266	-5.907206	65.753623	32000.000	-9.2979	-6.2876	2.464502e-001
5 May 2010 18:03:13.829	70.038	14.499950	-155.544	-110.861373	-5.897753	67.156968	32000.000	-7.8945	-4.8842	2.101383e-001
5 May 2010 20:01:37.321	70.038	14.500059	-121.305	-76.621818	-5.310235	101.984041	32000.000	26.9325	29.9428	1.000000e-030
5 May 2010 20:03:39.205	70.038	14.499950	-121.206	-76.523071	-5.305965	102.087058	32000.000	27.0356	30.0459	1.000000e-030
5 May 2010 22:04:21.228	70.038	14.500059	-119.980	-75.296768	-5.256846	103.362480	32000.000	28.3110	31.3213	1.000000e-030
5 May 2010 22:06:14.410	70.038	14.499950	-119.897	-75.214208	-5.253582	103.448305	32000.000	28.3968	31.4071	1.000000e-030
6 May 2010 00:08:17.183	70.038	14.500059	-127.575	-82.891471	-5.539543	95.485080	32000.000	20.4336	23.4439	1.000000e-030
6 May 2010 00:11:19.847	70.038	14.499950	-127.400	-82.717432	-5.534306	95.664356	32000.000	20.6129	23.6232	1.000000e-030

(AGI, 2009)

ANEXO 12. Datos Madrid escenario III

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 17:36:24.190	70.038	14.500050	-112.615	-67.932377	-3.767875	112.215842	32000.000	37.1643	40.1746	1.000000e-030
5 May 2010 17:37:51.136	70.038	14.499950	-112.620	-67.936615	-3.770187	112.209292	32000.000	37.1578	40.1681	1.000000e-030
5 May 2010 19:38:08.894	70.038	14.500050	-117.318	-72.635310	-4.373440	106.907345	32000.000	31.8558	34.8661	1.000000e-030
5 May 2010 19:40:17.906	70.038	14.499950	-117.324	-72.640785	-4.375031	106.900278	32000.000	31.8488	34.8591	1.000000e-030
5 May 2010 21:37:53.271	70.037	14.500050	-133.285	-88.602019	-5.860799	89.453276	32000.000	14.4018	17.4121	4.397664e-026
5 May 2010 21:42:15.083	70.037	14.499950	-133.446	-88.762716	-5.865109	89.288268	32000.000	14.2368	17.2471	3.496066e-025
6 May 2010 08:33:43.591	70.037	14.500050	-139.686	-95.003302	-6.076941	82.835851	32000.000	7.7844	10.7947	4.777689e-007
6 May 2010 08:38:22.890	70.037	14.499950	-139.327	-94.644198	-6.073304	83.198592	32000.000	8.1471	11.1574	1.614439e-007

(AGI, 2009)

ANEXO 13. Datos Bogotá escenario III

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 17:10:31.939	70.038	14.500050	-154.569	-109.886358	-5.784489	68.245248	32000.000	-6.8063	-3.7960	1.804849e-001
5 May 2010 17:14:43.702	70.038	14.499950	-154.586	-109.902967	-5.784707	68.228420	32000.000	-6.8231	-3.8128	1.809500e-001

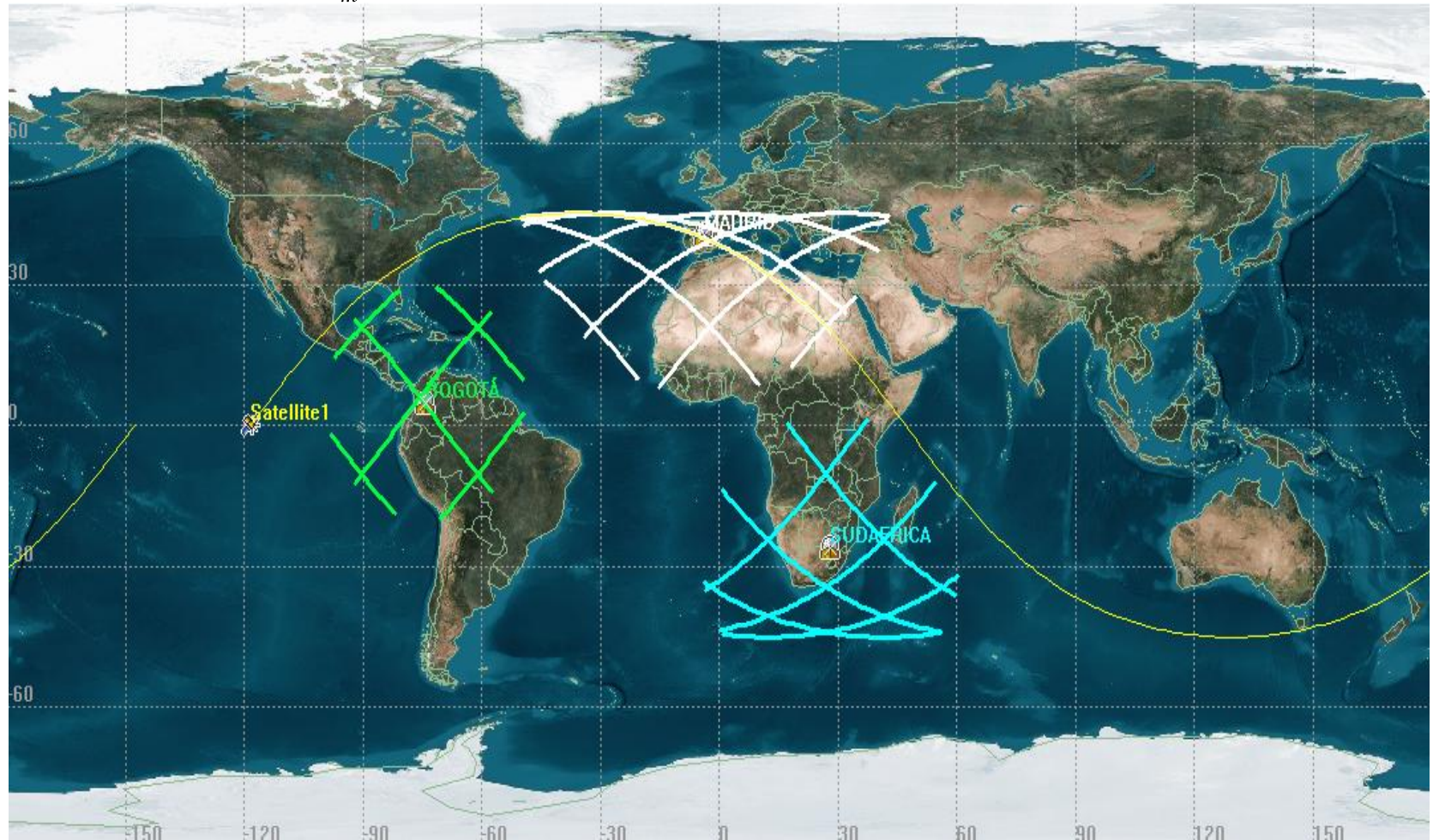
Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 23:34:45.679	70.038	14.500050	-137.806	-93.123019	-5.685269	85.107806	32000.000	10.0563	13.0666	9.720838e-011
5 May 2010 23:37:50.720	70.038	14.499950	-137.802	-93.119094	-5.685220	85.111780	32000.000	10.0603	13.0706	9.538049e-011

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 01:38:38.625	70.038	14.500050	-120.701	-76.017671	-5.412217	102.486207	32000.000	27.4347	30.4450	1.000000e-030
6 May 2010 01:40:04.551	70.038	14.499950	-120.702	-76.019076	-5.412296	102.484722	32000.000	27.4332	30.4435	1.000000e-030

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 03:40:26.741	70.038	14.500050	-140.366	-95.683073	-5.702337	82.530685	32000.000	7.4792	10.4895	1.114908e-006
6 May 2010 03:43:41.585	70.038	14.499950	-140.390	-95.706665	-5.702451	82.506979	32000.000	7.4555	10.4658	1.187950e-006

(AGI, 2009)

ANEXO 14. Escenario IV a $-100 \frac{dBW}{m^2}$



(AGI, 2009)

ANEXO 15. Datos Sudafrica escenario IV

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m^2)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 19:53:35.919	70.038	14.500243	-144.683	-99.999646	-5.801935	78.114513	32000.000	3.0630	6.0733	2.216082e-003
5 May 2010 19:58:35.000	70.038	14.500177	-125.189	-80.505750	-5.462570	97.947774	32000.000	22.8963	25.9066	1.000000e-030
5 May 2010 20:03:35.000	70.038	14.499954	-121.174	-76.490823	-5.304659	102.120612	32000.000	27.0691	30.0794	1.000000e-030
5 May 2010 20:08:35.000	70.038	14.499787	-129.140	-84.466806	-5.582893	93.876395	32000.000	18.8249	21.8352	1.000000e-030
5 May 2010 20:11:53.310	70.038	14.499755	-144.682	-99.999347	-5.806089	78.110658	32000.000	3.0592	6.0695	2.224883e-003

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m^2)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 21:55:54.122	70.038	14.500249	-144.682	-99.999447	-5.803905	78.112743	32000.000	3.0612	6.0715	2.220121e-003
5 May 2010 22:00:54.000	70.038	14.500194	-124.639	-79.955731	-5.442092	98.518272	32000.000	23.4668	26.4771	1.000000e-030
5 May 2010 22:05:54.000	70.038	14.499969	-119.772	-75.088610	-5.248949	103.578536	32000.000	28.5270	31.5373	1.000000e-030
5 May 2010 22:10:54.000	70.038	14.499787	-126.961	-82.278058	-5.520905	96.117131	32000.000	21.0656	24.0759	1.000000e-030
5 May 2010 22:14:55.214	70.038	14.499752	-144.682	-99.999455	-5.806748	78.109891	32000.000	3.0584	6.0687	2.226638e-003

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m^2)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 00:01:58.975	70.038	14.500197	-144.683	-99.999573	-5.805859	78.110662	32000.000	3.0592	6.0695	2.224875e-003
6 May 2010 00:06:58.000	70.038	14.500101	-128.898	-84.215214	-5.576538	94.124342	32000.000	19.0728	22.0831	1.000000e-030
6 May 2010 00:11:58.000	70.038	14.499929	-127.866	-83.183118	-5.548039	95.184937	32000.000	20.1334	23.1437	1.000000e-030
6 May 2010 00:16:58.000	70.038	14.499815	-139.348	-94.664760	-5.753239	83.498096	32000.000	8.4466	11.4569	6.154983e-008
6 May 2010 00:17:55.458	70.038	14.499803	-144.683	-99.999662	-5.806762	78.109671	32000.000	3.0582	6.0685	2.227142e-003

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m^2)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 02:07:30.658	70.038	14.500200	-144.683	-99.999551	-5.806785	78.109758	32000.000	3.0583	6.0686	2.226942e-003
6 May 2010 02:12:30.000	70.038	14.500107	-128.647	-83.963632	-5.569811	94.382652	32000.000	19.3312	22.3415	1.000000e-030
6 May 2010 02:17:30.000	70.038	14.499932	-127.345	-82.661758	-5.532685	95.721652	32000.000	20.6702	23.6805	1.000000e-030
6 May 2010 02:22:30.000	70.038	14.499813	-138.298	-93.614630	-5.740818	84.560647	32000.000	9.5091	12.5194	1.136028e-009
6 May 2010 02:23:40.028	70.038	14.499799	-144.683	-99.999480	-5.805731	78.110883	32000.000	3.0594	6.0697	2.224370e-003

(AGI, 2009)

ANEXO 16. Datos Madrid escenario IV

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 19:53:35.919	70.038	14.500243	-144.683	-99.999646	-5.801935	78.114513	32000.000	3.0630	6.0733	2.216082e-003
5 May 2010 19:58:35.000	70.038	14.500177	-125.189	-80.505750	-5.462570	97.947774	32000.000	22.8963	25.9066	1.000000e-030
5 May 2010 20:03:35.000	70.038	14.499954	-121.174	-76.490823	-5.304659	102.120612	32000.000	27.0691	30.0794	1.000000e-030
5 May 2010 20:08:35.000	70.038	14.499787	-129.140	-84.466806	-5.582893	93.876395	32000.000	18.8249	21.8352	1.000000e-030
5 May 2010 20:11:53.310	70.038	14.499755	-144.682	-99.999347	-5.806089	78.110658	32000.000	3.0592	6.0695	2.224883e-003

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 21:55:54.122	70.038	14.500249	-144.682	-99.999447	-5.803905	78.112743	32000.000	3.0612	6.0715	2.220121e-003
5 May 2010 22:00:54.000	70.038	14.500194	-124.639	-79.955731	-5.442092	98.518272	32000.000	23.4668	26.4771	1.000000e-030
5 May 2010 22:05:54.000	70.038	14.499969	-119.772	-75.088610	-5.248949	103.578536	32000.000	28.5270	31.5373	1.000000e-030
5 May 2010 22:10:54.000	70.038	14.499787	-126.961	-82.278058	-5.520905	96.117131	32000.000	21.0656	24.0759	1.000000e-030
5 May 2010 22:14:55.214	70.038	14.499752	-144.682	-99.999455	-5.806748	78.109891	32000.000	3.0584	6.0687	2.226638e-003

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 00:01:58.975	70.038	14.500197	-144.683	-99.999573	-5.805859	78.110662	32000.000	3.0592	6.0695	2.224875e-003
6 May 2010 00:06:58.000	70.038	14.500101	-128.898	-84.215214	-5.576538	94.124342	32000.000	19.0728	22.0831	1.000000e-030
6 May 2010 00:11:58.000	70.038	14.499929	-127.866	-83.183118	-5.548039	95.184937	32000.000	20.1334	23.1437	1.000000e-030
6 May 2010 00:16:58.000	70.038	14.499815	-139.348	-94.664760	-5.753239	83.498096	32000.000	8.4466	11.4569	6.154983e-008
6 May 2010 00:17:55.458	70.038	14.499803	-144.683	-99.999662	-5.806762	78.109671	32000.000	3.0582	6.0685	2.227142e-003

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 02:07:30.658	70.038	14.500200	-144.683	-99.999551	-5.806785	78.109758	32000.000	3.0583	6.0686	2.226942e-003
6 May 2010 02:12:30.000	70.038	14.500107	-128.647	-83.963632	-5.569811	94.382652	32000.000	19.3312	22.3415	1.000000e-030
6 May 2010 02:17:30.000	70.038	14.499932	-127.345	-82.661758	-5.532685	95.721652	32000.000	20.6702	23.6805	1.000000e-030
6 May 2010 02:22:30.000	70.038	14.499813	-138.298	-93.614630	-5.740818	84.560647	32000.000	9.5091	12.5194	1.136028e-009
6 May 2010 02:23:40.028	70.038	14.499799	-144.683	-99.999480	-5.805731	78.110883	32000.000	3.0594	6.0697	2.224370e-003

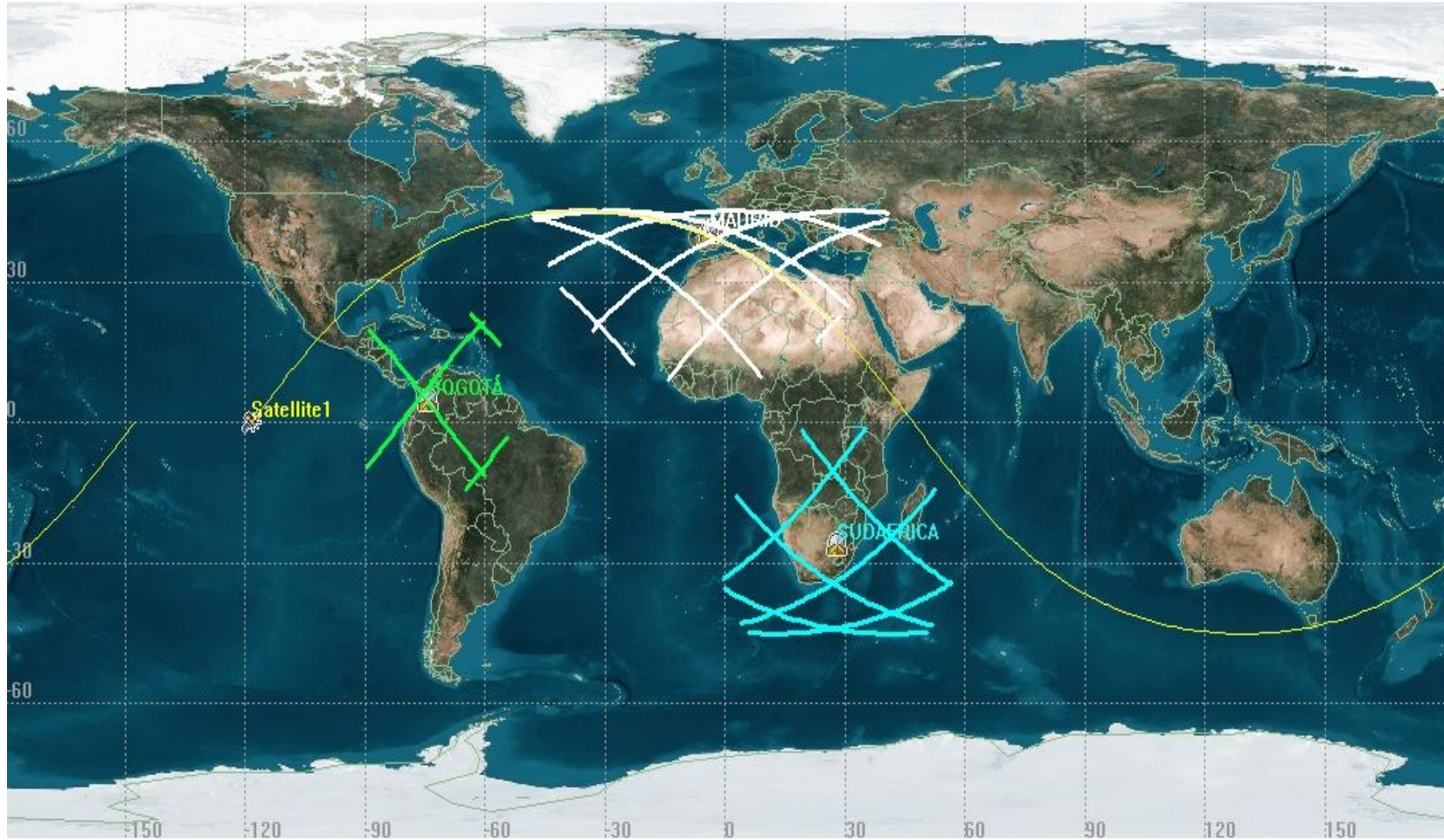
(AGI, 2009)

ANEXO 17. Datos Bogotá escenario IV

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 17:10:31.939	70.038	14.500050	-154.569	-109.886358	-5.784489	68.245248	32000.000	-6.8063	-3.7960	1.804849e-001
5 May 2010 17:14:43.702	70.038	14.499950	-154.586	-109.902967	-5.784707	68.228420	32000.000	-6.8231	-3.8128	1.809500e-001
5 May 2010 23:34:45.679	70.038	14.500050	-137.806	-93.123019	-5.685269	85.107806	32000.000	10.0563	13.0666	9.720838e-011
5 May 2010 23:37:50.720	70.038	14.499950	-137.802	-93.119094	-5.685220	85.111780	32000.000	10.0603	13.0706	9.538049e-011
6 May 2010 01:38:38.625	70.038	14.500050	-120.701	-76.017671	-5.412217	102.486207	32000.000	27.4347	30.4450	1.000000e-030
6 May 2010 01:40:04.551	70.038	14.499950	-120.702	-76.019076	-5.412296	102.484722	32000.000	27.4332	30.4435	1.000000e-030
6 May 2010 03:40:26.741	70.038	14.500050	-140.366	-95.683073	-5.702337	82.530685	32000.000	7.4792	10.4895	1.114908e-006
6 May 2010 03:43:41.585	70.038	14.499950	-140.390	-95.706665	-5.702451	82.506979	32000.000	7.4555	10.4658	1.187950e-006

(AGI, 2009)

ANEXO 18. Escenario V CIN 10 dB



(AGI, 2009)

ANEXO 19. Datos Sudafrica escenario V

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 19:54:37.382	70.038	14.500237	-137.814	-93.130991	-5.733528	85.051575	32000.000	10.0001	13.0104	1.269362e-010
5 May 2010 19:59:37.000	70.038	14.500146	-123.413	-78.730362	-5.395819	99.789913	32000.000	24.7384	27.7487	1.000000e-030
5 May 2010 20:04:37.000	70.038	14.499903	-121.897	-77.214438	-5.334151	101.367506	32000.000	26.3160	29.3263	1.000000e-030
5 May 2010 20:09:37.000	70.038	14.499773	-132.397	-87.714165	-5.654435	90.547494	32000.000	15.4960	18.5063	1.000000e-030
5 May 2010 20:10:51.611	70.038	14.499761	-137.812	-93.129452	-5.735091	85.051551	32000.000	10.0001	13.0104	1.269505e-010

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 21:56:54.066	70.038	14.500245	-137.813	-93.130369	-5.734225	85.051500	32000.000	10.0000	13.0103	1.269814e-010
5 May 2010 22:01:54.000	70.038	14.500167	-122.771	-78.087820	-5.369553	100.458721	32000.000	25.4072	28.4175	1.000000e-030
5 May 2010 22:06:54.000	70.038	14.499915	-120.313	-75.629666	-5.269432	103.016996	32000.000	27.9655	30.9758	1.000000e-030
5 May 2010 22:11:54.000	70.038	14.499773	-129.713	-85.030081	-5.597122	93.288891	32000.000	18.2374	21.2477	1.000000e-030
5 May 2010 22:13:54.547	70.038	14.499757	-137.812	-93.129140	-5.735445	85.051510	32000.000	10.0000	13.0103	1.269753e-010

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 00:03:17.434	70.038	14.500181	-137.812	-93.129169	-5.735134	85.051791	32000.000	10.0003	13.0106	1.268071e-010
6 May 2010 00:08:17.000	70.038	14.500059	-127.577	-82.893643	-5.539608	95.482844	32000.000	20.4313	23.4416	1.000000e-030
6 May 2010 00:13:17.000	70.038	14.499889	-129.402	-84.719040	-5.589429	93.607625	32000.000	18.5561	21.5664	1.000000e-030
6 May 2010 00:16:36.572	70.038	14.499820	-137.812	-93.128890	-5.735496	85.051708	32000.000	10.0002	13.0105	1.268566e-010

Time (UTCG)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 02:08:48.042	70.038	14.500184	-137.812	-93.128863	-5.735502	85.051729	32000.000	10.0002	13.0105	1.268443e-010
6 May 2010 02:13:48.000	70.038	14.500065	-127.269	-82.586306	-5.530340	95.799449	32000.000	20.7479	23.7582	1.000000e-030
6 May 2010 02:18:48.000	70.038	14.499891	-128.781	-84.098439	-5.573466	94.244189	32000.000	19.1927	22.2030	1.000000e-030
6 May 2010 02:22:23.133	70.038	14.499815	-137.813	-93.129512	-5.735081	85.051501	32000.000	10.0000	13.0103	1.269807e-010

(AGI, 2009)

ANEXO 20. Datos Madrid escenario V

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 17:25:56.469	70.037	14.500262	-137.519	-92.835456	-6.029123	85.051515	32000.000	10.0000	13.0103	1.269721e-010
5 May 2010 17:30:56.000	70.038	14.500239	-119.821	-75.137739	-4.687953	104.090402	32000.000	29.0389	32.0492	1.000000e-030
5 May 2010 17:35:56.000	70.038	14.500080	-112.990	-68.307451	-3.854657	111.753987	32000.000	36.7025	39.7128	1.000000e-030
5 May 2010 17:40:56.000	70.038	14.499804	-116.060	-71.377445	-4.222549	108.316100	32000.000	33.2646	36.2749	1.000000e-030
5 May 2010 17:45:56.000	70.038	14.499743	-125.348	-80.665009	-5.328331	97.922755	32000.000	22.8713	25.8816	1.000000e-030
5 May 2010 17:48:15.739	70.037	14.499738	-137.530	-92.846631	-6.017925	85.051538	32000.000	10.0000	13.0103	1.269587e-010

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 19:29:01.268	70.037	14.500240	-137.519	-92.836384	-6.028201	85.051510	32000.000	10.0000	13.0103	1.269755e-010
5 May 2010 19:34:01.000	70.038	14.500186	-121.102	-76.418599	-4.849809	102.647686	32000.000	27.5962	30.6065	1.000000e-030
5 May 2010 19:39:01.000	70.038	14.500010	-117.134	-72.450727	-4.351106	107.114262	32000.000	32.0628	35.0731	1.000000e-030
5 May 2010 19:44:01.000	70.038	14.499823	-120.567	-75.884111	-4.786359	103.245624	32000.000	28.1941	31.2044	1.000000e-030
5 May 2010 19:49:01.000	70.037	14.499763	-134.327	-89.643521	-5.899733	88.372840	32000.000	13.3213	16.3316	9.275153e-021
5 May 2010 19:49:22.639	70.037	14.499761	-137.536	-92.853207	-6.011386	85.051501	32000.000	10.0000	13.0103	1.269808e-010

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 21:36:05.931	70.037	14.500088	-137.526	-92.843428	-6.021155	85.051511	32000.000	10.0000	13.0103	1.269748e-010
5 May 2010 21:41:05.000	70.038	14.499976	-132.411	-87.727983	-5.816010	90.372101	32000.000	15.3206	18.3309	1.000000e-030
5 May 2010 21:43:55.836	70.037	14.499915	-137.535	-92.851641	-6.012897	85.051556	32000.000	10.0001	13.0104	1.269475e-010

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 08:34:48.828	70.037	14.500027	-137.532	-92.848532	-6.016044	85.051519	32000.000	10.0000	13.0103	1.269702e-010
6 May 2010 08:37:25.540	70.037	14.499970	-137.529	-92.845715	-6.018848	85.051532	32000.000	10.0000	13.0103	1.269624e-010

(AGI, 2009)

ANEXO 21. Datos Bogotá escenario V

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 23:34:42.192	70.038	14.500052	-137.862	-93.178910	-5.685672	85.051512	32000.000	10.0000	13.0103	1.269741e-010
5 May 2010 23:37:54.448	70.038	14.499948	-137.862	-93.178940	-5.685650	85.051504	32000.000	10.0000	13.0103	1.269792e-010

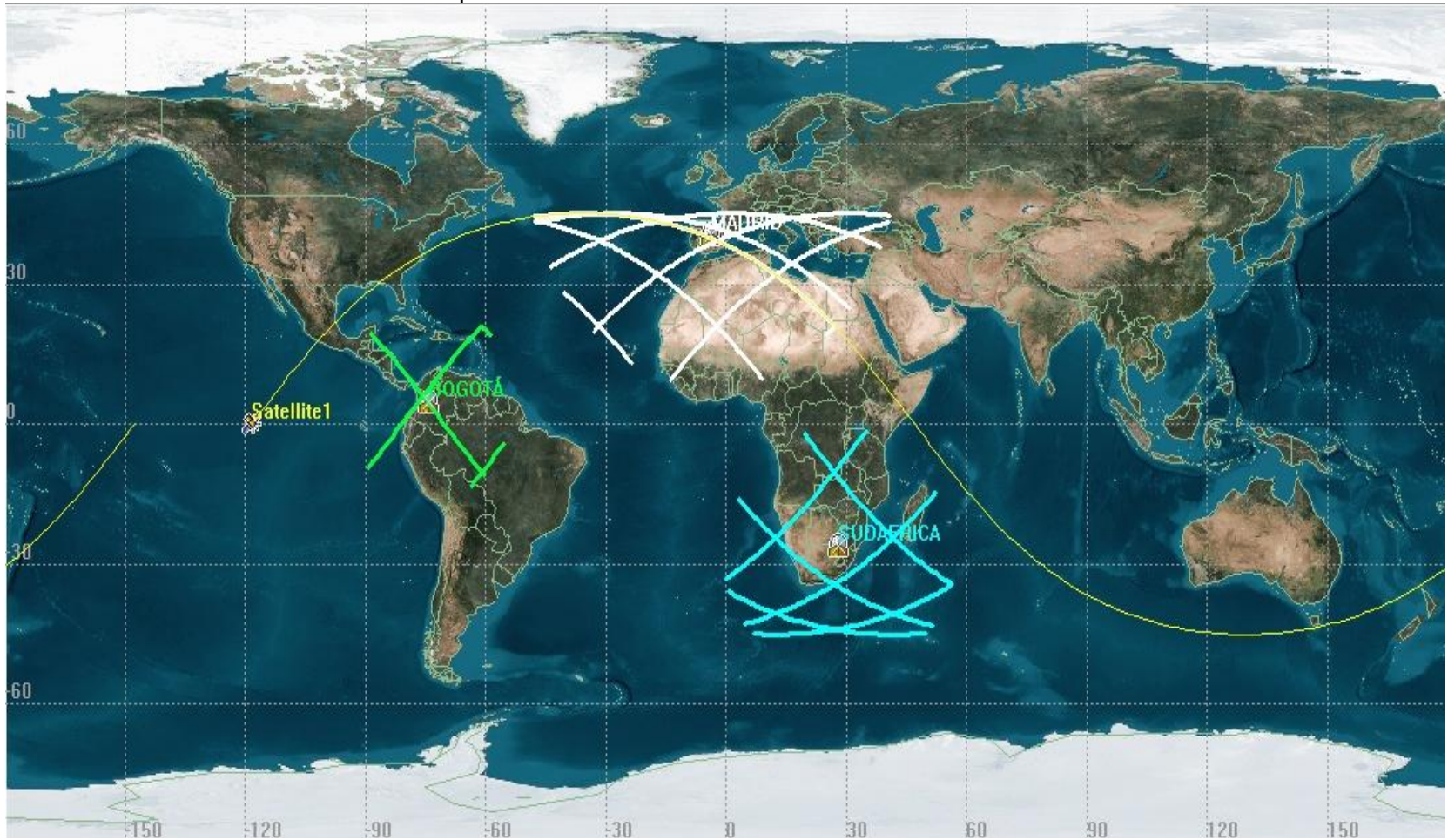
Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 01:32:10.495	70.038	14.500249	-137.862	-93.178928	-5.685661	85.051505	32000.000	10.0000	13.0103	1.269784e-010
6 May 2010 01:37:10.000	70.038	14.500137	-122.510	-77.827137	-5.460150	100.628807	32000.000	25.5773	28.5876	1.000000e-030
6 May 2010 01:42:10.000	70.038	14.499836	-123.667	-78.983872	-5.488132	99.444090	32000.000	24.3926	27.4029	1.000000e-030
6 May 2010 01:46:32.199	70.038	14.499751	-137.862	-93.179004	-5.685553	85.051537	32000.000	10.0000	13.0103	1.269594e-010

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 12:12:01.502	70.038	14.500083	-137.861	-93.178345	-5.686243	85.051506	32000.000	10.0000	13.0103	1.269780e-010
6 May 2010 12:17:01.000	70.038	14.499918	-137.746	-93.062520	-5.685448	85.168126	32000.000	10.1166	13.1269	7.273662e-011
6 May 2010 12:17:05.458	70.038	14.499916	-137.861	-93.178311	-5.686282	85.051502	32000.000	10.0000	13.0103	1.269804e-010

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 14:10:02.083	70.038	14.500248	-137.861	-93.178057	-5.686257	85.051780	32000.000	10.0003	13.0106	1.268135e-010
6 May 2010 14:15:02.000	70.038	14.500133	-122.617	-77.934409	-5.463585	100.518100	32000.000	25.4666	28.4769	1.000000e-030
6 May 2010 14:20:02.000	70.038	14.499836	-123.928	-79.245310	-5.494896	99.175889	32000.000	24.1244	27.1347	1.000000e-030
6 May 2010 14:24:20.307	70.038	14.499753	-137.861	-93.178227	-5.686366	85.051501	32000.000	10.0000	13.0103	1.269807e-010

(AGI, 2009)

ANEXO 22. Escenario VI data rate a 12 Mbps min Eb/N0 to 15 dB



(AGI, 2009)

ANEXO 23. Datos Sudafrica escenario VI

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 19:54:45.793	70.038	14.500236	-137.083	-92.399581	-5.724700	85.791812	360000.000	0.2288	15.0000	9.123960e-016
5 May 2010 19:59:45.000	70.038	14.500141	-123.217	-78.534019	-5.388054	99.994021	360000.000	14.4310	29.2022	1.000000e-030
5 May 2010 20:04:45.000	70.038	14.499897	-122.028	-77.345424	-5.339499	101.231171	360000.000	15.6681	30.4394	1.000000e-030
5 May 2010 20:09:45.000	70.038	14.499772	-132.884	-88.201096	-5.663328	90.051671	360000.000	4.4886	19.2599	1.000000e-030
5 May 2010 20:10:43.167	70.038	14.499763	-137.081	-92.398098	-5.726078	85.791919	360000.000	0.2289	15.0001	9.116799e-016
5 May 2010 21:57:02.238	70.038	14.500244	-137.082	-92.398900	-5.725323	85.791872	360000.000	0.2288	15.0001	9.119957e-016
5 May 2010 22:02:02.000	70.038	14.500162	-122.551	-77.868325	-5.360665	100.687104	360000.000	15.1241	29.8953	1.000000e-030
5 May 2010 22:07:02.000	70.038	14.499908	-120.423	-75.740412	-5.273764	102.901919	360000.000	17.3389	32.1101	1.000000e-030
5 May 2010 22:12:02.000	70.038	14.499772	-130.126	-85.443221	-5.606962	92.865910	360000.000	7.3029	22.0741	1.000000e-030
5 May 2010 22:13:46.282	70.038	14.499757	-137.081	-92.397880	-5.726401	85.791813	360000.000	0.2288	15.0000	9.123942e-016
6 May 2010 00:03:28.589	70.038	14.500178	-137.081	-92.398085	-5.726139	85.791870	360000.000	0.2288	15.0001	9.120060e-016
6 May 2010 00:08:28.000	70.038	14.500053	-127.453	-82.770356	-5.535932	95.609807	360000.000	10.0468	24.8180	1.000000e-030
6 May 2010 00:13:28.000	70.038	14.499884	-129.680	-84.997302	-5.596308	93.322484	360000.000	7.7595	22.5307	1.000000e-030
6 May 2010 00:16:25.362	70.038	14.499822	-137.081	-92.397824	-5.726455	85.791815	360000.000	0.2288	15.0000	9.123754e-016
6 May 2010 02:08:58.995	70.038	14.500182	-137.081	-92.397800	-5.726460	85.791835	360000.000	0.2288	15.0000	9.122447e-016
6 May 2010 02:13:58.000	70.038	14.500060	-127.146	-82.463376	-5.526579	95.926139	360000.000	10.3631	25.1343	1.000000e-030
6 May 2010 02:18:58.000	70.038	14.499886	-129.022	-84.338786	-5.579775	93.997533	360000.000	8.4345	23.2057	1.000000e-030
6 May 2010 02:22:12.237	70.038	14.499818	-137.081	-92.397985	-5.726087	85.792022	360000.000	0.2290	15.0002	9.109828e-016

(AGI, 2009)

ANEXO 24. Datos Madrid escenario VI

Time (UTC/G)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 17:26:00.328	70.037	14.500262	-136.802	-92.119027	-6.005191	85.791876	360000.000	0.2289	15.0001	9.119671e-016
5 May 2010 17:31:00.000	70.038	14.500238	-119.706	-75.022968	-4.673334	104.219792	360000.000	18.6568	33.4280	1.000000e-030
5 May 2010 17:36:00.000	70.038	14.500076	-112.934	-68.251242	-3.843986	111.820866	360000.000	26.2578	41.0291	1.000000e-030
5 May 2010 17:41:00.000	70.038	14.499802	-116.157	-71.473663	-4.233849	108.208582	360000.000	22.6456	37.4168	1.000000e-030
5 May 2010 17:46:00.000	70.038	14.499743	-125.534	-80.850581	-5.346054	97.719460	360000.000	12.1564	26.9276	1.000000e-030
5 May 2010 17:48:11.915	70.037	14.499738	-136.812	-92.129375	-5.994906	85.791813	360000.000	0.2288	15.0000	9.123943e-016

Time (UTC/G)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 19:29:05.480	70.037	14.500240	-136.803	-92.119791	-6.004253	85.792050	360000.000	0.2290	15.0002	9.107951e-016
5 May 2010 19:34:05.000	70.038	14.500185	-121.008	-76.325173	-4.838183	102.752738	360000.000	17.1897	31.9609	1.000000e-030
5 May 2010 19:39:05.000	70.038	14.500007	-117.130	-72.446984	-4.350675	107.118435	360000.000	21.5554	36.3266	1.000000e-030
5 May 2010 19:44:05.000	70.038	14.499822	-120.656	-75.972644	-4.797507	103.145944	360000.000	17.5829	32.3541	1.000000e-030
5 May 2010 19:49:05.000	70.037	14.499763	-134.838	-90.154887	-5.919560	87.841647	360000.000	2.2786	17.0498	3.769063e-024
5 May 2010 19:49:18.449	70.037	14.499762	-136.818	-92.135318	-5.988821	85.791955	360000.000	0.2289	15.0001	9.114377e-016

Time (UTC/G)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 21:36:17.839	70.037	14.500084	-136.810	-92.126664	-5.997605	85.791825	360000.000	0.2288	15.0000	9.123113e-016
5 May 2010 21:41:17.000	70.038	14.499972	-132.550	-87.866887	-5.822389	90.226818	360000.000	4.6638	19.4350	1.000000e-030
5 May 2010 21:43:43.898	70.037	14.499919	-136.817	-92.133910	-5.990359	85.791825	360000.000	0.2288	15.0000	9.123092e-016

Time (UTC/G)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 08:35:42.349	70.037	14.500008	-136.813	-92.130255	-5.994009	85.791830	360000.000	0.2288	15.0000	9.122755e-016
6 May 2010 08:36:32.061	70.037	14.499990	-136.812	-92.129450	-5.994832	85.791812	360000.000	0.2288	15.0000	9.123967e-016

(AGI, 2009)

ANEXO 25. Datos Bogotá escenario VI

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
5 May 2010 23:35:54.933	70.038	14.500013	-137.127	-92.444011	-5.680258	85.791826	360000.000	0.2288	15.0000	9.123065e-016
5 May 2010 23:36:41.848	70.038	14.499987	-137.127	-92.444029	-5.680253	85.791812	360000.000	0.2288	15.0000	9.123969e-016

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 01:32:20.026	70.038	14.500248	-137.127	-92.444025	-5.680254	85.791815	360000.000	0.2288	15.0000	9.123820e-016
6 May 2010 01:37:20.000	70.038	14.500129	-122.238	-77.555030	-5.453421	100.907644	360000.000	15.3446	30.1158	1.000000e-030
6 May 2010 01:42:20.000	70.038	14.499830	-124.019	-79.336047	-5.496345	99.083702	360000.000	13.5207	28.2919	1.000000e-030
6 May 2010 01:46:22.685	70.038	14.499752	-137.127	-92.444118	-5.680162	85.791814	360000.000	0.2288	15.0000	9.123829e-016

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 12:12:32.845	70.038	14.500067	-137.126	-92.443426	-5.680856	85.791813	360000.000	0.2288	15.0000	9.123951e-016
6 May 2010 12:16:34.220	70.038	14.499932	-137.126	-92.443397	-5.680883	85.791814	360000.000	0.2288	15.0000	9.123843e-016

Time (UTC)	EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/m ²)	g/T (dB/K)	C/No (dB*Hz)	Bandwidth (kHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
6 May 2010 14:10:11.639	70.038	14.500247	-137.126	-92.443410	-5.680867	85.791817	360000.000	0.2288	15.0000	9.123629e-016
6 May 2010 14:15:11.000	70.038	14.500126	-122.378	-77.695238	-5.457690	100.763166	360000.000	15.2001	29.9714	1.000000e-030
6 May 2010 14:20:11.000	70.038	14.499830	-124.246	-79.562676	-5.502196	98.851221	360000.000	13.2882	28.0594	1.000000e-030
6 May 2010 14:24:10.717	70.038	14.499754	-137.126	-92.443321	-5.680959	85.791813	360000.000	0.2288	15.0000	9.123897e-016

(AGI, 2009)

