

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MULTI-RECEPCIÓN PARA TELEVISIÓN SATELITAL APLICANDO VARIOS RECEPTORES (LNB) SOBRE UN REFLECTOR ÚNICO.

**Ramiro Xavier Terán Subía, Luis Javier Andrade Pazmiño,**

*Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica*

*Escuela Politécnica Nacional*

*Quito, Ecuador*

**Resumen.**-El plato actúa como un espejo y forma una imagen invertida de los satélites en una línea curva en la región central de la parábola cortándola verticalmente.

Los LNBs deben ser separados para satisfacer el azimut y la elevación de cada satélite señalando las diferencias de ángulo, con respecto al que se coloca como base, el principio es el mismo tanto para una antena offset como para una de foco central, en el siguiente grafico podemos apreciar que la señal recibida en los distintos lnb (1 y 2) son diferentes debido a que la señal del segundo satélite no es normal a la antena y la señal se ve disminuida en proporción al ángulo de diferencia entre los dos satélites, por esto es importante que, cuando realicemos un multifeed el satélite primario sea el de señal más débil y que el ángulo de separación de los satélites sea no muy grande.

**Palabras clave.**-LNB, Multi-recepción, Antena Parabólica, Comunicaciones Satelitales, Antena Offset.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la utilización de las comunicaciones satelitales en diferentes ámbitos del desarrollo del ser humano en sus actividades diarias ha ido en un vertiginoso aumento, en los últimos años el campo de mayor crecimiento y desarrollo ha sido el del entretenimiento teniendo a la televisión satelital digital como su máximo exponente.

A través de los años se ha considerado a la plataforma satelital como una solución en extremo costosa, sin embargo en la actualidad con su masificación, este costo tiende a disminuir, principalmente basados en la gran ventaja que tiene la transmisión de contenidos vía satélite, llegando a lugares donde otras tecnologías tales como la televisión por cable y terrestre no tienen acceso.

En el afán de aportar una alternativa que permita optimizar recursos de orden logístico y operación en la recepción de señales satelitales, presentamos este proyecto de multi-recepción satelital que al ser implementado brinda la oportunidad de captar las señales de varios satélites utilizando un solo plato reflector; dichas señales son captadas de manera conjunta, con un nivel de calidad óptimo, para posteriormente ser procesadas de manera independiente según sea la intención del usuario que requiera del servicio.

## II. COMUNICACIONES SATELITALES

En la actualidad el uso de los satélites artificiales provee una alternativa para la comunicación de cobertura global, ya que con el pasar del tiempo no solo ha mejorado la tecnología con la que son construidos, sino también la versatilidad de servicios y la capacidad de tráfico que involucran las demandas actuales.

La mayor parte de satélites utilizados en las telecomunicaciones se encuentran en la órbita geostacionaria o sincrónica, de aquí se deriva su nombre de satélites síncronos. Esta órbita también llamada Cinturón de Clarke se encuentra a una altura aproximada

de 35780 km y el periodo de rotación de un satélite es el mismo que el de la Tierra (23 Hs 56' 4").

### A. Satélite de Comunicación.

Un satélite es un reflector activo ubicado en el espacio, que se mueve alrededor de un cuerpo celeste, cuyo primer objetivo es iniciar o asistir la transmisión de la información o el mensaje de un punto (fuente) a otro (usuario), a través del espacio. La señal no solo es reflejada sino que es regenerada y adaptada para luego ser reenviada a diferentes partes del planeta, esta información puede ser voz, datos o video.

### B. Arquitectura del Sistema Satelital.

El sistema de satélite se compone de segmento espacial, segmento de control y segmento terreno.

1) *Segmento Espacial:* El segmento espacial consta de uno o más satélites que realizan las funciones de recepción, conversión, conmutación y transmisión de la señal enviada por las diferentes estaciones terrenas o satélites.

2) *Segmento Terreno:* Está constituido por las estaciones terrenas y/o receptoras, encargadas de establecer los enlaces de conexión con el segmento espacial y de proveer los medios de interconexión con redes terrenas o terminales de usuario. La estructura de dichas estaciones varía según el tipo de tráfico que manejen.

3) *Segmento Control:* El segmento de control se compone de todas las instalaciones en tierra para el control y seguimiento de los satélites.

3) *Enlaces de Comunicación:* Un sistema satelital consiste de tres secciones básicas:

- Enlace de subida.
- Transpondedores o Transponders.
- Enlace de bajada.

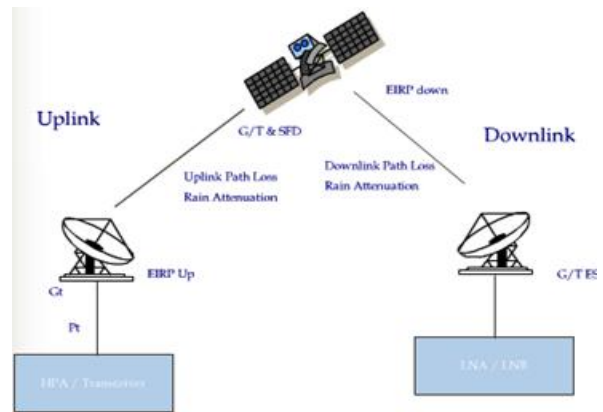


Fig. 1 Arquitectura de un sistema satelital.

## III. Bandas de Frecuencia

Los satélites comerciales utilizan principalmente 3 bandas de frecuencia:

- Banda C.
- Banda Ku.
- Banda Ka.

### A. Banda C.

Se encuentra en el rango de 5.9 a 6.4 GHz de canal ascendente y un margen de 3.7 a 4.2 GHz para el canal descendente; su principal limitante es el hecho que proporciona transmisiones de una potencia relativamente baja con relación a otras bandas sin embargo a favor de la banda C se tiene la mejor recepción en comparación que la banda Ku por su inmunidad a interferencias ambientales, y además de poseer un desarrollo tecnológico que tiene un bajo costo.

Como desventajas tenemos que el costo que implica la fabricación de una antena de características similares en comparación a otra banda como la Ku se encarece, ya que el diámetro de la antena debe ser proporcional a la longitud de onda que recibe, esto implica que los diámetros sean mayores en comparación a los de la banda Ku aumentando su costo. Otra desventaja es su susceptibilidad de recibir y causar interferencias desde satélites adyacentes y sistemas terrestres que comparten la misma banda como por ejemplo las radio bases de telefonía móvil. Entre las aplicaciones de la banda C se encuentran el servicio para radio aficionado, Difusión de señales de televisión, Internet, Sistemas de aviación.

### B. Banda Ku.

Se encuentra en el rango de 14 a 14.5 GHz de canal ascendente y un margen de 11.7 a 12.2 GHz para el canal descendente; se usa principalmente en las comunicaciones satelitales, siendo la televisión uno de sus principales usos, ya que usa longitudes de onda medianas que traspasan la mayoría de los obstáculos y transportan una gran cantidad de datos, hacen mejor uso de la capacidad del satélite.

La banda Ku permite el uso de antenas de dimensiones reducidas, desde este punto de vista son más estéticas, más versátiles en sus formas de instalación y mucho más económicas que las antenas de banda C, aunque esta banda es susceptible a la degradación de señal por incidencias del clima.

Entre las aplicaciones en esta banda podemos encontrar E-learning, E-commerce, internet, Tv Satelital, etc.

### C. Banda Ka.

Concebida en un principio para el uso militar, esta banda opera en el límite de 19.7 a 20.2 GHz para el canal ascendente y de 18.3 a 18.8 GHz para el canal descendente. Esta banda es muy sensible a interferencias ambientales.

Entre las principales aplicaciones en esta banda se encuentra el sistema de radar, aplicaciones de usos militares e investigación, servicios de control de tráfico y principalmente, debido a su inmunidad a condiciones atmosféricas extremas, la comunicación entre satélites. Se pretende usar la banda Ka para aplicaciones comerciales ya que las bandas C y Ku están saturadas.

## IV. TIPOS DE SATÉLITES.

En general podemos clasificar cuatro tipos de satélites:

### A. Satélite de Órbita Baja (LEO).

Con una altitud aproximadamente entre 640 y 1600 km. Su límite superior evita la proximidad con el cinturón de radiación de Van Allen<sup>1</sup> y el inferior es debido a razones de cobertura. El periodo del satélite oscila entre 2 a 4 horas, son satélites pequeños y su lanzamiento es relativamente fácil. Este tipo de orbitas se usan para comunicaciones personales, ya que el retardo es mucho menor en comparación a los satélites ubicados en la

---

<sup>1</sup>Los cinturones de radiación Van Allen: Son área en forma de anillo y de superficie toroidal, donde las partículas energéticas, tales como protones y electrones se limitan por el campo magnético de la Tierra. Pueden causar daños a la electrónica y los componentes eléctricos del satélite.

órbitas GEO o MEO ya que el tiempo de propagación de la señal es bajo.

En esta órbita existen aplicaciones en tiempo real como la telefonía móvil, observaciones militares satelitales, etc.

### B. Satélites de Órbita Media (MEO).

Las orbitas medias tienen una altitud comprendida entre 6000 y 11000 km, describiendo una trayectoria circular. Los límites están predispuestos entre el primero y el segundo cinturón de Van Allen, evitando su radiación perjudicial. En este tipo de órbitas se realizan aplicaciones de posicionamiento Global. El periodo del satélite oscila en el rango de 4 a 12 horas.

Entre las aplicaciones más comunes en la órbita MEO se tienen la Telefonía Móvil y la Meteorología.

### C. Satélites de Órbita Geoestacionarios (GEO).

Los satélites GEO se ubican en el plano ecuatorial<sup>2</sup>, a una altura aproximada de 35780 km y gira en sincronía con la Tierra, con un patrón circular lo que lo hace parecer estacionario con respecto al planeta. Por su área de cobertura es considerado ideal para las comunicaciones, ya que pueden cubrir un tercio de la superficie terrestre por lo que se podría decir que siempre están disponibles dentro de un área de cobertura, pero con el inconveniente que el número de satélites es limitado. Un sistema de cobertura global trabajando en órbita síncrona requiere como mínimo tres satélites para recubrir todo el planeta con excepción de las zonas polares.

Los satélites geoestacionarios se utilizan en los campos de las telecomunicaciones, la meteorología, la detección de recursos naturales y observación del medio ambiente así como la investigación científica, entre otras aplicaciones.

Cuando la trayectoria del satélite coincide con el plano ecuatorial se denomina órbita ecuatorial, cuando el satélite describe una trayectoria por encima de los polos norte y sur se lo denomina órbita polar, para otro tipo de trayecto se lo denomina órbita inclinada.

### D. Satélitede Órbita elíptica alta (HEO).

Se trata de una órbita elíptica alrededor de 8.000 a 20.000 kilómetros por encima de la superficie de la tierra,

---

<sup>2</sup>Plano Ecuatorial:El plano perpendicular al eje Norte-Sur se denomina Plano Ecuatorial separándole en dos hemisferios llamados Hemisferio Norte, y Hemisferio Sur.

no necesariamente por encima del Ecuador. Los satélites HEO están diseñados para dar una mejor cobertura a los países con latitudes más altas del norte o del sur.

Debido a su capacidad de detectar un gran ángulo de la superficie terrestre su principal aplicación es cartografiar la superficie de la Tierra.

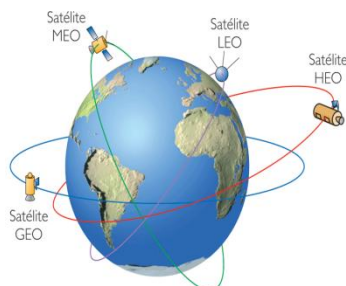


Fig. 2 Trayectorias de los diferentes tipos de Satélite.

## V. CARACTERÍSTICAS DE UNA ANTENA PARABÓLICA

Una antena parabólica se usa para comunicaciones satelitales por su directividad y una ganancia elevada, por lo que es muy común encontrar este tipo de antenas instaladas en ciudades, pueblos y lugares aislados, ya que una de las razones del uso de este tipo de antenas, no solo es el entretenimiento, sino que la recepción de señales terrestres puede ser baja o prácticamente nula, ya sea por no encontrarse dentro de un área de cobertura o porque la situación geográfica impida la correcta recepción, mientras que la satelital puede ser óptima .

Las antenas parabólicas proporcionan una ganancia y una directividad alta por lo que son muy usadas para enlaces satelitales. Las antenas parabólicas son en esencia una superficie metálica que sirve de reflector y un elemento radiante (receptor), situado en su foco.

La orientación de la antena se basa en el cálculo de los ángulos de elevación, azimut y polarización también llamados ángulos de vista derivados de parámetros de la posición del satélite y de la estación terrena.

### A. Ángulo 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.

### B. Ángulo de Azimut.

Se define como el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena, se mide desde el norte geográfico en dirección de las manecillas del reloj. Los ángulos de elevación y azimut, dependen ambos, de la latitud y la longitud de la estación terrena, así como la posición orbital del satélite.

### C. Ángulo de Azimut.

El ángulo del plano de polarización se ajusta girando el convertidor (LNB), respecto a la vertical en el sentido de las agujas del reloj. Este ángulo, dependerá de la ubicación geográfica de la antena.

## VI. GEOMETRÍA DE UNA ANTENA OFFSET.

Las señales emitidas por los satélites que llegan al plato son muy tenues, esto hace que se deba captar la mayor energía posible y concentrarla en un solo punto, donde se encuentra el foco de la antena, esto se consigue mediante un reflector parabólico, ya que en ella, cualquier punto P que está a igual distancia de un punto f (foco) situado en el eje x, a partir de un punto D situado en la perpendicular de una línea recta paralela al eje y (que se denomina directriz), como se puede ver en la Figura 3.

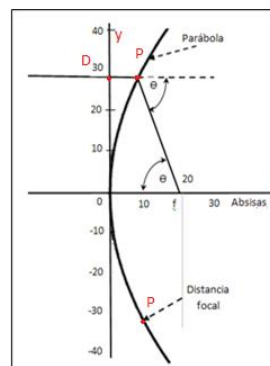


Figura 3. Diagrama geométrico de una antena Offset.

En una parábola, toda línea paralela al eje x, que incide sobre un punto de ésta, se desvía hacia el foco f con un ángulo  $\theta$ , que geoméricamente se demuestra que es igual a  $\theta'$ . De este modo se deduce que si el eje x de la parábola se apunta hacia un punto del espacio, todas las radiaciones que procedan de este punto sean paralelas al eje x, se desviarán hacia el foco f.

Las antenas parabólicas tipo offset son un sector de un paraboloid<sup>3</sup> de forma oval y asimétrica. El punto focal no está montado en el centro del plato, por esta razón son llamadas antenas de foco desplazado, de esta manera la trayectoria de la onda que incide en el plato no es obstruida ni por el alimentador o por los soportes que lo fijan en el punto focal, como efecto teniendo una mayor ganancia que una antena de foco primario, de igual diámetro, donde la ganancia aumenta del 50% inicial de una antena de foco primario y llegando a alcanzar ganancias que varían entre un rango de 55% a 75%.

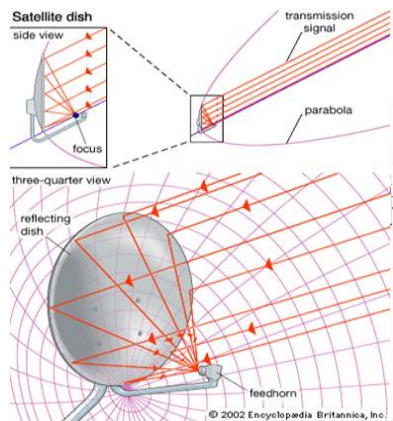


Figura 4. Punto focal en una antena Offset.

## VII. TELEVISIÓN SATELITAL

La televisión análoga en un principio y posteriormente la digital encontraron en las comunicaciones por satélite la plataforma ideal para transmitir dicho servicio, teniendo como principal ventaja la gran cobertura geográfica que tiene un satélite de comunicaciones, sin embargo debido a los altos costos requeridos para la puesta del repetidor en órbita como también a los gastos de operación y mantenimiento, esto conlleva a que el modelo de negocios no solo se base en la publicidad como lo hace la televisión terrestre, sino que además usa la suscripción como medio adicional para su financiamiento.

Los satélites utilizados para este servicio se encuentran en la órbita geoestacionaria, este hecho es fundamental, ya que al estar el repetidor en esta órbita hace posible que tanto el emisor como el receptor estén en una posición fija sin tener que variarla con el transcurso del tiempo. La Televisión Digital vía Satélite es el resultado de la aplicación de la tecnología digital a la señal de televisión, para luego transmitirla a una amplia

zona geográfica por medio de satélites de comunicaciones, en contraste con la televisión terrestre, cuyas ondas no salen de la atmósfera, o la televisión por cable, basada en la transmisión a través de redes de fibra óptica y cable coaxial.

El estándar utilizado en la región donde se encuentra el Ecuador, para la transmisión de Televisión Digital vía Satélite, es el DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite) y DVB-S2 (Digital Video Broadcasting - Satellite 2 Version).

Una condicionante en el uso de la órbita geoestacionaria es su capacidad limitada debido a que se debe evitar las interferencias que se pueden suscitar entre los satélites.

## VIII. DESCRIPCIÓN DE LA ANTENA UTILIZADA.

La antena utilizada en el presente proyecto es una antena parabólica marca Prodelin con ciertas adaptaciones realizadas previas a la adquisición de la misma, especialmente en su base; con la excepción de “rompe vientos”, implementados posteriormente a la compra. La selección de esta antena como parte del presente proyecto toma base en los siguientes criterios:

- Capacidad de adaptación del modelo de la antena para un sistema multi-recepción.
- Alta ganancia provista por el plato reflector.
- Estabilidad a condiciones climáticas propias del ambiente (lluvia, viento, etc.).
- Escalabilidad y funcionalidad.
- Oportunidad de mercado.

Cada fabricante facilita instrucciones de montaje detalladas que se ajustan a los requerimientos de calidad y funcionamiento de cada modelo en particular, sin embargo la instalación de la antena utilizada en el presente proyecto se la puede dividir en tres fases complementarias una a la otra.

- Ensamblaje del plato reflector.
- Instalación del sistema base-mástil y las piezas de fijación.
- Montaje del plato parabólico con el sistema base-mástil y las piezas de fijación.

<sup>3</sup>Paraboloide: Superficie tridimensional curva, o sólido formado por una parábola alrededor de su eje.

## IX. CÁLCULOS PREVIOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA MULTI-RECEPCIÓN.

Para el cálculo del azimut se consideró la posición geográfica del Ecuador, ya que el valor de esta puede ser positivo o negativo dependiendo de la referencia, que es el Norte para el hemisferio Sur y viceversa. Para el cálculo tanto del azimut como la elevación se deberá conocer previamente la Latitud y Longitud del sitio de emplazamiento de la antena y la longitud (posición orbital) del satélite.

$$Azimut = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \angle LONG_{estación} - LONG_{satélite}}{\sin \angle AT_{estación}} \right) \quad (Ec.1)$$

$$\Theta_{elevación} = \tan^{-1} \left( \frac{\cos \angle LON_{estación} - LON_{satélite} \cos \angle LAT_{estación} - 0,15126}{\sqrt{(-\cos^2 \angle LON_{estación} - LON_{satélite} \cos^2 \angle AT_{estación})}} \right) \quad (Ec.2)$$

$$Skew = \tan^{-1} \left( \frac{\sin \angle ON_{diferenciá}}{\tan \angle AT_{estación}} \right) \quad (Ec.3)$$

$$LON_{diferenciá} = ABS(LON_{SATÉLITE} - LON_{ESTACIÓN}) \quad (Ec.4)$$

Para el cálculo de la distancia focal, que se entenderá como la distancia desde el centro del reflector hacia el punto focal, se considerará parámetros de dimensionamiento del plato tales como: ancho, alto y profundidad; como parte complementaria a dicho cálculo se encontrará también las distancias del borde superior e inferior hacia el punto focal.

$$Df = \left( \frac{a^3}{16 * p * h} \right) \quad (Ec.5)$$

Donde:

Df: Distancia focal del centro de la antena al punto focal.

a: Ancho del plato reflector.

p: Profundidad del plato reflector.

h: Altura o largo del plato reflector.

Para el cálculo de las distancias complementarias de borde D1 y D2 que son definidas como las longitudes del borde tanto superior (D2) como inferior (D1) del

reflector al punto focal, se establece la variable auxiliar (*aux*), con el objetivo de simplificar los cálculos.

$$aux = \left( 2 * Df * \sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 - 1} \right) \quad (Ec.6)$$

$$D1 = \left( \frac{\left( aux + \frac{a}{2} \right)^2}{4Df} \right) + Df \quad (Ec.7)$$

$$D2 = \left( \frac{\left( aux - \frac{a}{2} \right)^2}{4Df} \right) + Df \quad (Ec.8)$$

Como corolario de este proceso de búsqueda de la distancia focal, a partir de los valores obtenidos anteriormente, se puede encontrar el ángulo de intersección  $\theta$  que se define como el ángulo formado por las distancias de borde D1 y D2:

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\angle O1^2 + \angle O2^2 - \angle C^2}{2 * \angle O1 * D2} \right) \quad (Ec.9)$$

Resumiendo, en la figura 2.15 se distingue los parámetros descritos anteriormente.

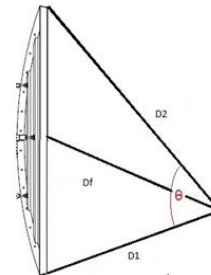


Figura 5. Distancia Focal y parámetros complementarios.

A partir de (ángulo de intersección entre D1 y D2), se puede establecer la relación F/D mediante:

$$F/D = \left( \frac{1}{4 * \tan\left(\frac{0,5 * \theta}{2}\right)} \right) \quad (Ec.10)$$

El ángulo de corrección se define como la diferencia entre el ángulo aparente de apuntamiento y el ángulo real al cual se debe orientar una antena tipo offset debido a que su foco no está centrado.

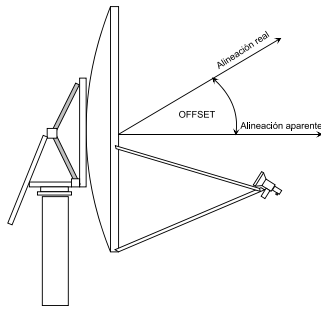


Figura 6. Ángulo de corrección (offset).

En la figura se muestra la relación entre el ángulo de corrección (offset) y los ángulos aparente y real de apuntamiento y matemáticamente se define como:

$$\varphi_{Offset} = 90 - \sin^{-1} \left( \frac{a}{h} \right) \quad (\text{Ec.11})$$

Donde:

$\varphi_{Offset}$ : Ángulo de corrección offset.

$a$ : Ancho del plato reflector.

$h$ : Altura del plato reflector.

## X. CÁLCULO DE LA DISTANCIA FOCAL Y UBICACIÓN DEL LNB CENTRAL.

Se tomará en cuenta la antena parabólica tipo offset ubicada en la terraza del edificio Eléctrica-Química de la Escuela Politécnica Nacional, descrita anteriormente en este capítulo, cuyas dimensiones son:

- Ancho:  $a=2480$  [mm].
- Alto:  $h=2680$  [mm].
- Profundidad:  $p=220$  [mm].

Para el presente proyecto se ha decidido utilizar al satélite Intelsat 11, cuya posición orbital es  $43^\circ$  W, para recepción principal.

Con los valores medidos de ancho, alto y profundidad se concluye que:

A continuación se procederá a determinar los ángulos de azimut, elevación y skew, con los que el reflector se orientará para capturar la señal del satélite Intelsat 11.

- Azimut

$$Azimut = \tan^{-1} \left( \frac{\tan(8.51 - 43)}{\sin(0.22)} \right) = 89.719^\circ$$

- Elevación

$$\Theta_{elevacion} = \tan^{-1} \left( \frac{\cos(8.5 - 43) \cos(0.22) - 0,15126}{\sqrt{-\cos^2(8.5 - 43) \cos^2(0.22)}} \right) = 48.76^\circ$$

- Skew

$$LON_{diferencia} = ABS(43^\circ - 78.51^\circ) = 35.5^\circ$$

$$Skew = \tan^{-1} \left( \frac{\sin(35.5^\circ)}{\tan(0.22^\circ)} \right) = 89.62^\circ$$

Como primer LNB secundario se designa al satélite Amazonas, cuya posición orbital es  $61^\circ$  W.

Para la ubicación de este segundo LNB en el sistema es indispensable definir la distancia entre el LNB central y el secundario, dicho desplazamiento se obtiene a partir de la diferencia de ángulos, tanto en Azimut como Elevación, entre los satélites.

Previamente se procede a determinar los ángulos de azimut y elevación para el satélite que se receptara con el segundo LNB del sistema, en este caso particular el satélite Amazonas  $61^\circ$  W, dicha determinación se debe realizar sin tener en cuenta momentáneamente la multi-recepción, es decir, en condiciones de orientación y apuntamiento normal.

- Azimut

$$Azimut = \tan^{-1} \left( \frac{\tan(8.51^\circ - 61^\circ)}{\sin(0.22^\circ)} \right) = 89.30^\circ$$

- Elevación

$$\Theta_{elevacion} = \tan^{-1} \left( \frac{\cos(8.5 - 61) \cos(0.22) - 0,15126}{\sqrt{-\cos^2(8.5 - 61) \cos^2(0.22)}} \right) = 69.443^\circ$$

- Skew

$$Skew = \tan^{-1} \left( \frac{\sin(7.51^\circ)}{\tan(0.22^\circ)} \right) = 89.268^\circ$$

A continuación se presenta el desarrollo de las relaciones geométricas a partir de las cuales se obtienen las distancias necesarias para determinar la ubicación del LNB secundario.

Inicialmente se establece las diferencias de ángulos entre el LNB central y secundario.

$$Diferencia\_de\_Azimut = 89.719^\circ - 89.30^\circ = 0.419^\circ$$

$$Diferencia\_de\_Elevación = 48.76^\circ - 69.43^\circ = -20.67^\circ$$

A partir de una vista superior de la antena y una hipotética ubicación de los LNBs central y secundario dan lugar a la formación de un triángulo isósceles que tienen como datos conocidos la Distancia focal del LNB central, que al actuar como un radio, será la misma para el LNB secundario, además la diferencia de azimut obtenida previamente.

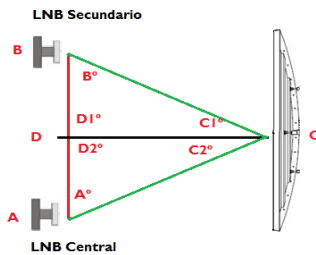


Figura 7. Vista Superior de la antena y una hipotética ubicación del LNB central y secundario.

Utilizando como artificio geométrico la construcción de la bisectriz del ángulo diferencia de azimut obtenido anteriormente se crean dos triángulos rectángulos de iguales dimensiones. Aplicando la ley de senos entre uno de los triángulos resultantes se obtiene la mitad del desplazamiento del LNB secundario; al ser triángulos idénticos el cálculo de la distancia entre LNBs se reduce a duplicar el resultado anterior. Este mismo procedimiento se toma en cuenta para el ángulo de elevación considerando para este caso una vista lateral de la antena.

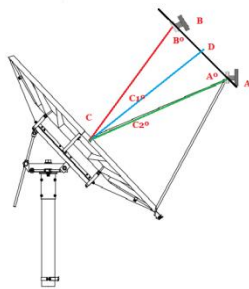


Figura 8. Vista Lateral de la antena y una hipotética ubicación del LNB central y secundario.

Para el triángulo ADC que se forma tanto en la vista lateral como superior, se emplea la ley de senos que dice: un lado dividido para el seno del ángulo opuesto a ese lado, es igual a los demás lados divididos por los senos de sus ángulos opuestos, es decir:

$$\frac{BC}{\text{SIN}(D1^\circ)} = \frac{DC}{\text{SIN}(B^\circ)} = \frac{DB}{\text{SIN}(C1^\circ)} \quad (\text{Ec.12})$$

- Para el caso del desplazamiento en Azimut

$$\frac{BC}{\text{SIN}(90^\circ)} = \frac{DC}{\text{SIN}(B^\circ)} = \frac{DB}{\text{SIN}(0.419^\circ/2)}$$

Donde:

BC: Distancia Focal de la antena offset de 2.4 [m].

C1°: Diferencia de Azimut existente entre el satélite Principal y el Secundario.

Al despejar DB queda:

$$DB = \frac{BC}{\text{sen}(0.419^\circ/2)} = \frac{1616.88 * \text{sen}(0.2096)}{\text{sen}(90^\circ)} = 5.9148 [mm]$$

Siendo que:

$$Desplazamiento\_Azimut = AB = 2 * DB = 5.9148 * 2 [mm] = 11.88 [mm]$$

El desplazamiento en azimut es un desplazamiento en sentido horizontal que puede ser positivo o negativo, dependiendo del valor de la diferencia resultante, lo cual se interpreta como un desplazamiento hacia la derecha si es positivo y hacia la izquierda si es negativo.

- Para el desplazamiento en Elevación.

Siguiendo el mismo principio que el caso anterior, pero con la antena vista desde arriba tenemos otro triángulo isósceles ABC que se forma a consecuencia de la elevación.

$$\frac{BC}{\text{SIN}(D1^\circ)} = \frac{DC}{\text{SIN}(B^\circ)} = \frac{DB}{\text{SIN}(C1^\circ)} \quad (\text{Ec.13})$$

$$\frac{BC}{\text{SIN}(90^\circ)} = \frac{DC}{\text{SIN}(B^\circ)} = \frac{DB}{\text{SIN}(-20.67^\circ/2)}$$

Donde:

BC: Distancia Focal de la antena offset de 2.4 [m].

C1°: Diferencia de Elevación existente entre el satélite Principal y el Secundario.

Al despejar DB queda:



$$DB = \frac{BC}{\sin(0.419^\circ/2)} = \frac{1616.88 * \sin(10.335)}{\sin(90^\circ)} = -290.073[mm]$$

Obteniendo:

$$\text{Desplazamiento\_Elevación} = AB = 2 * DB = -290.073 * 2[mm] = -580.14[mm]$$

Este desplazamiento es vertical y el signo negativo indica que el segundo LNB debe ser ubicado por debajo del principal, caso contrario si la diferencia en azimut es positiva se ubicará por encima del LNB principal.

Por último se considera un nuevo triángulo rectángulo XYZ formado por la diferencia entre azimut y elevación.

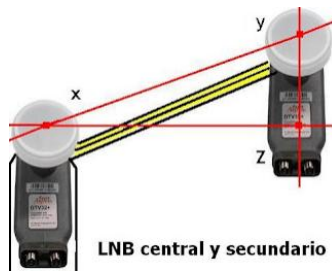


Figura 9. Triángulo rectángulo XYZ formado por la diferencia entre azimut y la elevación.

Donde

XZ: Es el desplazamiento horizontal o de azimut.

ZY: Es el desplazamiento Vertical o de Elevación.

XY: Es la distancia entre LNBs centro a centro.

El valor de XY se puede determinar a través del teorema de Pitágoras de la siguiente forma:

$$XY = \sqrt{(XZ)^2 + (ZY)^2} = \sqrt{(1.88)^2 + (580.14)^2} = 580.26[mm] \text{ (Ec. 14)}$$

La distancia focal, que se utiliza como un radio, en la cual estarán ubicados todos los LNBs, y tanto la diferencia de desplazamiento horizontal, vertical y la distancia entre LNBs centro a centro nos proporcionan la ubicación referencial del LNB secundario. Se elige para el segundo LNB secundario al satélite Hispasat cuya posición orbital es 30°W y para el tercer LNB secundario se dispone recibir la señal del satélite Telstar 12, cuya posición orbital es 15° W, estas dos designaciones se realizan considerando los siguientes criterios:

- Elevada ganancia de estos dos satélites en la región.
- Facilidad de recepción de señal.
- Adaptabilidad al modelo empleado.

El desarrollo para la obtención de las ubicaciones del segundo y tercer LNBs secundarios son idénticas al presentado anteriormente.

## XI. REFERENCIAS

1. EVANS B.G.; SATELLITE COMMUNICATIONS SYSTEMS; The Institution of Engineering and Technology; Londres; 2008.
2. FLORES, Fernando; “COMUNICACIONES SATELITALES”; EPN, 2009.
3. EGAS, Carlos; “COMUNICACIONES SATELITALES”; EPN, 2009.
4. CLUB. EL SABER ELECTRÓNICA; “TIPOS DE ANTENAS PARABÓLICA-COMUNICACIONES VIA SATÉLITE Y RECEPCIONES DE TV”; 5ta Edición; Editorial Quark;2006.
5. Club. El saber electrónica; TIPOS DE ANTENAS PARABÓLICA-COMUNICACIONES VIA SATÉLITE Y RECEPCIONES DE TV; 5ta Edición; Editorial Quark;2006
6. VALLEJO Horacio. “Recepción de Señales Vía Satélite Manual de Instalación de Antenas Parabólicas”. Saber Electrónica.
7. Comunicaciones Vía Satélite y Recepción de TV. 5ª edición. Colombia: Editorial Quark, 2007.
8. ROSADO Carlos. Comunicación por Satélite. AHCJET, 2000. I.S.B.N.: 84-87-644-42-2.
9. TOMASI Wayne, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.
10. GALVÁN Roberto, Diseño de Redes de Comunicaciones por Satélite para Nuevos Servicios de Banda Ancha.

## XII. BIBLIOGRAFÍA



**Luis Javier Andrade Pazmiño**, Nacido en Ibarra en 1986. Realizó sus estudios primarios en la unidad educativa “Santa Ana”, sus estudios secundarios en la unidad educativa “San Vicente de Paul”, obteniendo el título de bachiller en la especialidad de Físico Matemático.

Sus estudios superiores los realiza en la Escuela Politécnica Nacional en Quito en la Facultad de eléctrica y electrónica con especialidad en electrónica y Telecomunicaciones, obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en el año 2012.

*e-Mail:* [luchjavap86@hotmail.com](mailto:luchjavap86@hotmail.com)



**Ramiro Xavier Terán Subía**, Nacido en Quito en 1986.

Realizó sus estudios primarios en la unidad educativa “PUCE-I anexa la Victoria” sus estudios secundarios en colegio Fisco-Misional “San Francisco”, obteniendo el título de bachiller en la especialidad de Físico Matemático.

Sus estudios superiores los realiza en la Escuela Politécnica Nacional en Quito en la Facultad de eléctrica y electrónica con especialidad en electrónica y Telecomunicaciones obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en el año 2012.

*e-Mail:* [ramiroxavierteran@hotmail.com](mailto:ramiroxavierteran@hotmail.com)



**Fernando Flores Cifuentes**, Nacido en Riobamba en 1959.

Realizó sus estudios Primarios en la Escuela “La Salle”. Sus estudios secundarios los curso en Colegio “San Felipe Neri”.

Obtuvo el Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en 1984. Asesor de Teleinformática en ASETA desde Febrero de 1987 hasta Mayo de 2001.

Profesor del DETRI desde Abril de 1982 hasta la presente fecha.

*e-mail:* [fernando.flores@epn.edu.ec](mailto:fernando.flores@epn.edu.ec)