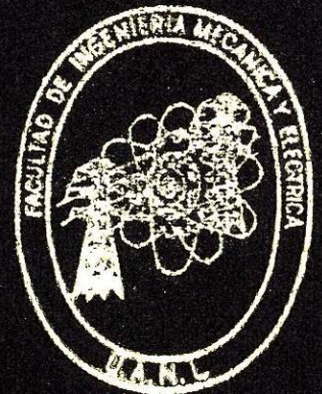
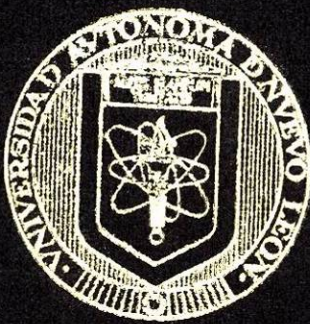


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



COMUNICACION VIA SATELITE

EXAMEN TIPO "B" MODIFICADO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

JESUS ISMAEL LUNA CORTES

MONTERREY, N. L.

FEBRERO DE 1996

T

TK510

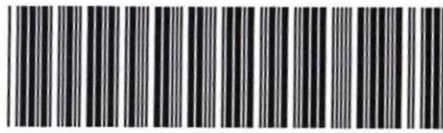
L8

c.1

K5104

LB

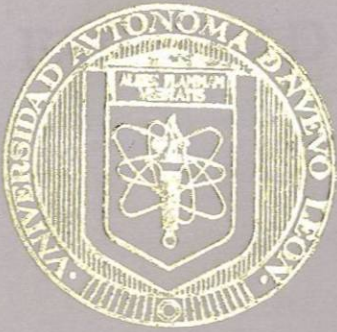
3.1



1080072234

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



COMUNICACION VIA SATELITE

EXAMEN TIPO "B" MODIFICADO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

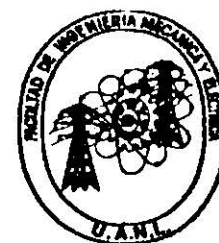
JESUS ISMAEL LUNA CORTES

MONTERREY, N. L.

FEBRERO DE 1996

T
TKS/04
L8





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

Curso con opcion a titulo : Comunicacion Vía Satelite

para obtener el titulo de Ing. en Electronica y Comunicaciones

Jefe de la carrera y asesor de I.E.C. : Ing. Fernando Estrada S.

**Tema: Subsistema de Comunicaciones y Diseño
de un enlace de Microondas**

Alumno : Jesus Ismael Luna Cortes

Matricula: 493848

Febrero de 1996

Comunicación Vía Satélite

Características y ventajas del satélite

El satélite es una repetidora de microondas en el espacio, algunas características son:

- a) **Orbita Geoestacionaria**
- b) **Periodo orbital de 24 horas**
- c) **Altura sobre el nivel del mar aprox. de 36000 Km.**
- d) **Orbita circular**
- e) **Desplazamiento en el mismo sentido de giro de la Tierra**
- f) **Orbita ecuatorial**

Sabemos que las microondas solo viajan a linea de vista , esto es, en linea recta ademas de que cruzan la ionosfera libremente.

Ventajas de un satélite de microondas:

- a) **Menor cantidad de repetidoras**
- b) **Mayor calidad**
- c) **Mas confiable el sistema**

Clasificación de los satélites (dependiendo de su principio de operación)

- a) **Pasivos**
- b) **Activos**

Clasificación de los satélites dependiendo de su aplicación

- a) **Civiles**
- b) **Militares**

Clasificación de los satélites de acuerdo a su cobertura

- a) Global
- b) Domestico

Regla de un sistema de comunicación: A mayor frecuencia portadora se dispone de un mayor ancho de banda, esto es mas capacidad .

Estructura y funcionamiento de un satélite

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podria causar la inutilidad parcial o total del conjunto. El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en el que vive, y desde luego poder comunicarse con la Tierra; sus subsistemas mas importantes se indican en la tabla:

Principales subsistemas de un satélite y sus funciones

Subsistema	Funcion
1.- Antenas	Recibir y transmitir señales de radiofrecuencia
2.- Comunicaciones	Amplificar las señales y cambiar su frecuencia
3.- Energía eléctrica	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente.
4.- Control térmico	Regular la temperatura del conjunto
5.- Posición y orientación	Determinar la posición y orientación del satélite
6.- Propulsión	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y orientación.

- | | |
|--|--|
| 7.- Rastreo, telemetría y comando | Intercambiar información con el centro de control en la Tierra para conservar el funcionamiento de el satélite. |
| 8.- Estructural | Alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto. |
-

Subsistema de antenas

Las antenas reciben las señales de radio frecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas en el satélite, las transmiten de regreso hacia la tierra, concentradas en un haz de potencia. En algunos casos , las antenas que reciben son distintas de las que transmiten, pero también es posible que una sola reciba y transmita al mismo tiempo, utilizando para ello frecuencias y elementos de alimentación diferentes.

Los elementos de alimentación, denominados alimentadores, son generalmente antenas de corneta conectadas a guías de onda, que emiten energía hacia un reflector parabólico, o bien la captan proveniente de este último para entregársela a los equipos receptores. Es fácil comprender que si el subsistema de antenas tuviese alguna falla, por ejemplo, si no estuviese bien orientado hacia la superficie de la tierra a causa de algún desperfecto en su mecanismo, entonces no sería factible transmitir correctamente desde el satélite ni recibir las señales provenientes de las estaciones terrenas.

Las antenas son, al mismo tiempo, el puerto de entrada y salida de ese mundo electrónico que es el interior de un satélite; son la interfase o etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio y las señales que circulan dentro de varios de sus subsistemas. Las hay de distintos tamaños, configuraciones y acabados, según las frecuencias a las que tengan que trabajar y la cobertura que deban tener de ciertas zonas geográficas de la tierra.

Paradójicamente, una antena parabólica chica puede recibir y transmitir dentro de una extensión territorial muy grande, mientras que una antena de mayor tamaño, que opere en la misma frecuencia, solamente puede hacerlo dentro de una zona geográfica mas pequeña. Cuanto mas grande sean las antenas, tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero que las irradia con niveles muy altos de densidad de potencia; esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas receptoras, por otra parte, cuanto mas alta sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje, mayor es su capacidad de concentración de energía.

La dimensión eléctrica de una antena es igual a su dimensión física dividida entre lo que mide la longitud de onda a la frecuencia de operación, o sea, es el número de longitudes de onda que cabrían alineadas en su apertura o boca. Por ejemplo una antena parabólica de 2 metros de diámetro irradia energía a una frecuencia de 11 GHz., lo hace dentro de un haz de iluminación mas angosto que como lo haría si tuviese que operar una frecuencia de 4 GHz., simplemente porque cuanto mas alta es la frecuencia, la longitud de onda electromagnética es mas corta y el tamaño eléctrico de la antena aumenta.

Hay satélites que tienen varias antenas de características distintas, con finalidades distintas. Por ejemplo, el satélite de comunicaciones internacionales Intelsat V tiene 8 antenas para poder cubrir una vasta extensión territorial e intercomunicarla eficientemente al menor costo posible. De estas 8 antenas, dos son globales, dos hemisféricas, dos de zona y dos puntuales. Las primeras dos son antenas de corneta y cubren la mayor cantidad posible de la superficie terrestre que puede verse desde la posición del satélite, las otra 6 son antenas parabólicas.

Existe otro tipo de antena muy importante que no tiene nada que ver con la recepción y transmisión de las señales anteriores. Se trata de la antena de telemetría y comando, encargada de recibir las señales que contienen ordenes emitidas por el centro de control en la tierra, para que se efectúa

alguna corrección a bordo; también es responsable de enviarle al centro de control señales que contienen información vital sobre el estado de operación de todo el satélite, con el fin de que en la tierra se pueda saber que ocurre en su interior, donde está y como está funcionando en general; de esta manera, sus propietarios u operadores puedan realizar las modificaciones necesarias enviando las señales de comando que, como ya se dijo, son recibidas por la misma antena.

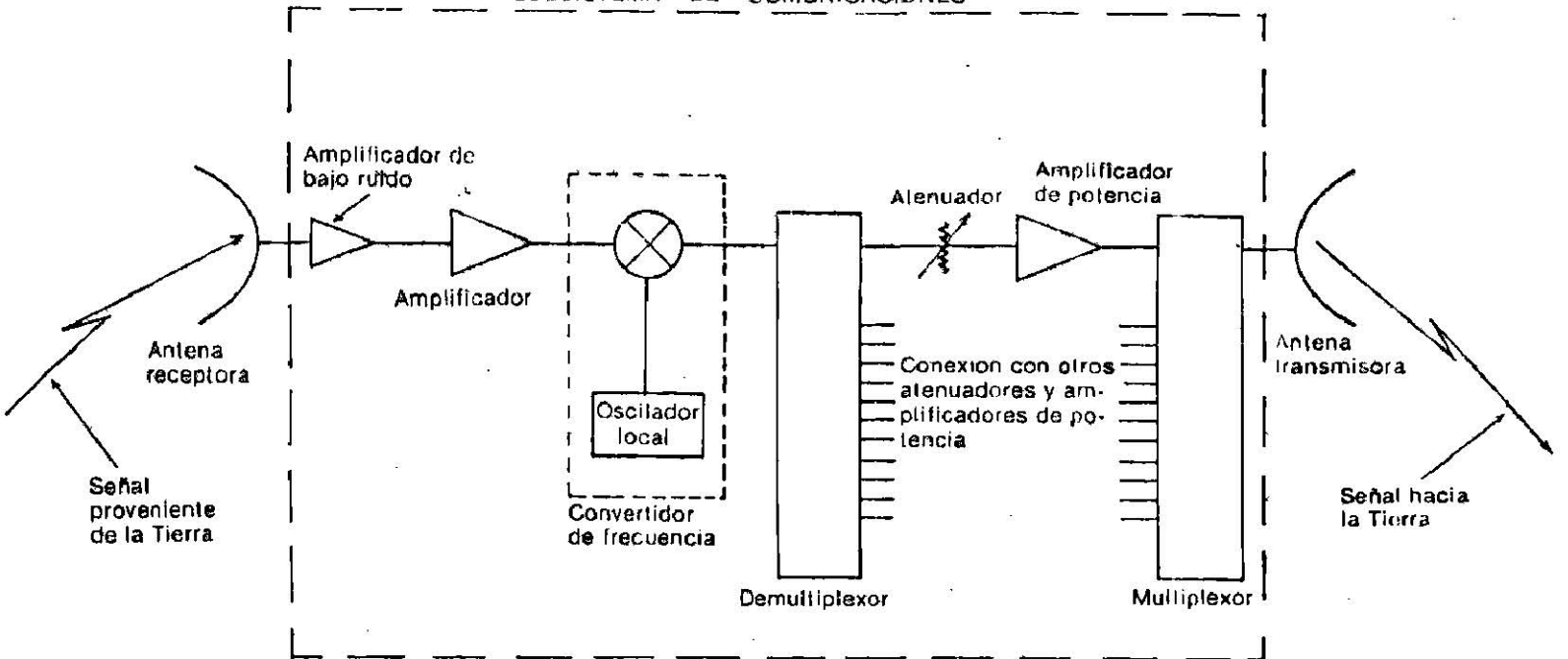
La antena de telemetría y comando no es parabólica ni de corneta, pues estas últimas son altamente direccionales; normalmente es una antena bicónica, cuya radiación es casi omnidireccional, es decir, que emite más o menos con la misma intensidad en todas direcciones; de esta forma, aún cuando el satélite cambie bruscamente de orientación, su comunicación con el centro de control no se interrumpe y se sigue teniendo un control sobre el mismo.

Subsistema de comunicaciones.

Las señales de comunicaciones (telefonía, televisión e información digital) recibidas por el satélite entran a él a través de sus antenas, y ellas mismas se encargan de retransmitir toda esa información hacia la tierra, después de procesarla debidamente. Los principales pasos del proceso son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas a su regreso con buena calidad, así como cambiarlas de frecuencia, para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que estén llegando simultáneamente. El subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante filtros, amplificadores, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores.

El diagrama del subsistema de comunicaciones muestra la relación entre las antenas y el equipo de comunicaciones. Para mayor sencillez, en él solamente se ilustra una de las posibles trayectorias o cadenas de los equipos que hay en el subsistema de comunicaciones; es normal que algunos de estos

SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES



equipos se instalen repetidos, o sea , que sean redundantes, para que en el caso de que uno de ellos se descomponga, exista aun la posibilidad de tener una trayectoria ininterrumpida entre las antenas de recepción y transmisión; para efectuar el cambio se cuenta con conmutadores que hacen la conexión de un elemento a otro. A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de **transpondedor**, o sea que el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su numero depende del diseño del satélite.

Este subsistema, incluyendo el de las antenas, es el de mayor interés para los ingenieros en comunicaciones cuya responsabilidades planificar el uso del satellite, es decir, asignar las trayectorias o transpondedores en los que deben de ir los diferentes servicios, como los canales de televisión, telefonía y datos, con sus correspondientes niveles de potencia, así como el espacio que deban ocupar dentro de cada amplificador. La señal proveniente de la Tierra que entra por la antena receptora puede contener muchos canales de televisión, o miles de canales telefónico o de datos, todos ellos enviados en frecuencias diferentes; al rango de frecuencias que hay entre la frecuencia mas baja y la mas alta de las que se transmiten se le da el nombre de **ancho de banda**. Cuanto mayor sea el ancho de banda de un equipo, este mas capaz de trabajar de igual forma dentro de un mayor rango de frecuencias; por ejemplo si se trata de un equipo de recepción, puede recibir con la misma calidad mas canales de televisión, telefonía o datos que otro cuyo ancho de banda de operación sea menor.

Un satélite puede tener varias antenas receptoras o quizá solamente una, dependiendo de su diseño y aplicaciones, y cada una de ellas debe ser capaz de recibir al mismo tiempo muchos canales con información, que posteriormente serán amplificados por separado en distintos transpondremos. Es decir, las antenas receptoras, y lo mismo se aplica a las antenas transmisoras, tiene un ancho de banda muy grande, suficiente para operar a las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya

mayor parte funciona actualmente en las bandas de frecuencias C y Ku. En cada una de estas bandas, el ancho de banda de operación, o sea, el rango de frecuencias disponibles es de 500 Mhz para transmisión y 500 Mhz para recepción. Existen satélites denominados **híbridos**, que tienen los equipos necesarios para trabajar simultáneamente tanto en la banda C como en la Ku, con lo cual se duplica la capacidad en el número de canales que puede manejar el sistema al mismo tiempo.

En la banda C, las frecuencias que se utilizan para transmitir de la Tierra hacia el satélite están entre 5.925 y 6.425 Ghz. La antena receptora del satélite detecta todas estas frecuencias, pues su ancho de banda de recepción es igual o mayor a 500 Mhz, con una frecuencia central de 6.175 Ghz. Los transpondedores, entre otras funciones, cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, bajándolas a otro de igual ancho de banda, pero cuyos límites inferior y superior son, respectivamente, 3.7 y 4.2 Ghz; posteriormente, todas las señales contenidas en estas últimas frecuencias son entregadas a la antena transmisora, para que las envíe de regreso a la Tierra. Un enlace de este tipo se representa con la nomenclatura 6/4 Ghz, indicando que la señal sube al satélite con frecuencias cercanas a los 6 Ghz y que baja con frecuencias cercanas a los 4 Ghz. En la banda Ku, el proceso de recepción, conversión de frecuencias y transmisión es similar al de la banda C, solo que las frecuencias Tierra-satélite están entre 14 y 14.5 Ghz, con una frecuencia central de 14.25 Ghz, y las frecuencias satélite-Tierra están entre 11.7 y 12.2 Ghz; en este caso, el enlace se representa con la nomenclatura 14/12 Ghz.

En los satélites híbridos, los procesos descritos para las bandas C y Ku se llevan a cabo simultáneamente, a través de sus amplificadores y demás equipos correspondientes; estos equipos están contenidos en secciones separadas del subsistema de comunicaciones, puesto que unos están diseñados para trabajar en la banda C y otros para hacerlo en la banda Ku. Es fácil intuir que estos satélites, por el hecho de duplicar su capacidad de trabajo, requieren más energía eléctrica, y en consecuencia necesitan más metros cuadrados de celdas solares para efectuar la conversión suficiente de energía solar en electricidad.

Considerese ahora una trayectoria completa del subsistema de comunicaciones , desde que la señal entra al satélite hasta que sale de él, suponiendo que se esta transmitiendo un canal de televisión en la banda C y en el transpondedor numero 4, y no implica necesariamente que se trate del canal 4 de alguna organización televisora, pues bien puede ser el canal comercial de televisión 5 o 13, o cualquier otro. Simplemente, ese canal esta manejándose a través del transpondedor numero 4 del satélite. Pero, ¿como se numeran los transpondedores? Recuérdese que el ancho de banda de un satélite usual es de 500 Mhz en total. Cuando un canal de televisión se transmite por satélite, al modularlo en frecuencia ocupa normalmente solo 36 de los 500 Mhz disponibles, y técnicamente esa ocupación puede hacerse en cualquier parte dentro de ese rango. Por conveniencia, el ancho de banda de 500 Mhz se divide en espacios o ranuras, cuyo numero depende de la aplicación del satélite.

En la figura, se muestra una división usual del ancho de banda de un satélite de 12 ranuras o espacios iguales de 36 Mhz de ancho de banda cada uno. Los espacios libres entre ranuras adyacentes se dejan para disminuir la posibilidad de interferencia entre las señales que cada una contiene. Cada ranura puede trabajar con un canal de televisión independientemente, por lo que la capacidad total del satélite en esta banda C de operación seria igual a 12 canales de televisión. La antena receptora del satélite no capta solamente las frecuencias que corresponden al rango del transpondedor numero 4, sino todas las frecuencias de los 12 transpondedores. Es decir, por ella entran diferentes clases de señales al mismo tiempo, para la antena esto no representa ninguna dificultad, pero no es fácil construir aparatos electrónico de alta potencia que realicen sus funciones de amplificación óptimamente con todas esas señales al mismo tiempo. Por tanto, es necesario aislarlas, para procesarlas y amplificarlas por separado, y esta es una de las razones principales por las que se divide el ancho de banda del satélite en transpondedores; después del proceso, todas las señales se vuelven a juntar o agrupar, para que la antena transmisora las envíe hacia la Tierra.

El primer dispositivo electrónico importante que se encuentran las señales recibidas por la antena es un **amplificador de bajo ruido**, con poca potencia de salida; este aparato genera internamente muy

poco ruido que se suma a las señales originales que entran a el para la amplificación. Todos los dispositivos electrónico generan ruido, principalmente por su calentamiento; este termino se emplea para identificar a las señales nuevas de diversas frecuencias, que son generadas interna e indeseablemente por el aparato. Si estas nuevas señales, ajenas a la información original, son muy grandes o intensas, entonces al sumarse con la segunda pueden alterar su contenido. La primera etapa de amplificación es muy importante, porque cualquier señal recibida por la antena es muy débil; después de haber recorrido 36000 Km, procedente de la superficie de la tierra, su nivel de potencia de llegada al satélite es muy bajo. Por esta razón, es muy importante que el ruido por este primer dispositivo de amplificación común sea lo mas bajo posible, y de ninguna manera comparable en magnitud a ninguna de las débiles señales que están entrando a el.

El amplificador de bajo ruido tiene un ancho de banda muy grande, de 500 Mhz, pues debe ser capaz de amplificar al mismo tiempo todas las señales recibidas por las antena, antes de que se proceda a separarlas entre si por medio de filtros, para realizar las siguientes etapas del proceso que se lleva a cabo en el subsistema de comunicaciones. Es un dispositivo clave, de cuyo correcto funcionamiento depende que la información siga fluyendo o no dentro, y por lo tanto se debe contar con un duplicado; es decir, el amplificador de bajo ruido es un equipo redundante, que tal forma que si uno de los amplificadores se descompone, mediante un conmutador se transfiere el enlace al otro que si este en buenas condiciones. Después de que todas las señales han sido amplificadas casi fielmente, puesto que muy poca potencia de ruido se les ha sumado, continuaran su viaje a lo largo de la trayectoria del transpondedor; en las etapas siguientes de amplificación se les seguirá introduciendo un poco mas de ruido, pero su efecto ya no sera tan problemático como hubiese podido serlo en la primera etapa de amplificación, porque ahora están vigorizada con un nivel de potencia tal que las hace menos vulnerables.

Hasta este momento, lo único que se ha hecho es aumentar el nivel de potencia de las señales ligeramente. Cuando han alcanzado un nivel adecuado, pasan por un dispositivo conocido como **convertidor de frecuencia**, que no es mas que un oscilador local que multiplica las señales que entran

por otra generada internamente; las señales obtenidas a la salida del aparato son similares a las entraron, por lo que respecta a su contenido, pero han sido desplazadas a frecuencias mas bajas en el espectro radioeléctrico: Después de amplificar y cambiar la frecuencia de las señales, el siguiente paso es separarlas en grupos o bloques.

La separación se realiza con un demultiplexor que tiene un solo conducto de entrada y varios de salida. A el entra la información completa de 500 Mhz de ancho de banda, y en su interior, mediante filtros, se separan los canales en bloques de 36 Mhz cada uno. A continuación cada bloque pasa por una etapa muy fuerte de amplificación, proporcionada por un amplificador de potencia, y después de todos los bloques son reunidos nuevamente en un solo conjunto de 500 Mhz de ancho de banda, a través de un multiplexor, conectado a la antena transmisora del satélite.

Atenuador o resistencia variable ; esta sirve para disminuir a control remoto, y en distinto grado, la intensidad del bloque de señales que entra a cada amplificador de potencia, o a la primera etapa de amplificación si es que hay mas de una. La regulación de la intensidad de entrada permite operar al amplificador de potencia en distintas condiciones o puntos de trabajo, es decir, se puede controlar la cantidad de potencia que salga de el, como sucede con un aparato de radio casero al que se le sube o baja el volumen girando una perilla. Cuando los amplificadores de potencia del satélite entregan a su salida el máximo de potencia posible, se dice que están operando en su punto de saturación; para que esto ocurra, la potencia total de las señales que entran a ellos debe tener un valor determinado, cuanto mayor sea la intensidad de las señales que llegan al satélite se obtienen mejores resultados en la primera etapa de amplificación (amplificador de bajo ruido), ya que la relación entre la potencia de la señal amplificada y la potencia del ruido térmico generado internamente es mayor, y como la calidad con la que finalmente la señal se recupera en la Tierra depende, entre otros parámetros, de esta relación de potencias, se obtiene entonces una mejor fidelidad. Sin embargo, el alto nivel de las señales amplificadas en esta primera etapa, que se convierte en la entrada a los amplificadores de potencia, en general puede ser demasiado; en estas circunstancias, conviene reducir el nivel de las señales con un atenuador variable

-compuesto por varios atenuadores fijos en serie - antes de alimentar a cada amplificador de potencia. Todo tipo de información que se transmite al satélite tiene una frecuencia asignada, denominada **portadora**; por ejemplo, un canal de televisión tiene su propia frecuencia portadora, y la combinación de 60 canales telefónicos en un solo grupo también tiene la suya. La misma técnica se utiliza cuando los canales telefónicos no se agrupan, sino que se envían en forma aislada, uno a uno; en este caso, cada canal telefónico tiene asignada una frecuencia portadora distinta.

Siempre que haya mas de una portadora presente al mismo tiempo en el amplificador de potencia, se produce **ruido de intermodulación** y cuanto mayor sea su numero, mayor es el ruido y su efecto sobre la información original; por lo tanto, mientras mas portadoras se quieran amplificar con el mismo dispositivo al mismo tiempo, sera preciso operar en un punto cada vez mas abajo de el de saturación, y sera menor la cantidad de potencia que se pueda aprovechar a la salida.

Tipos de enlaces

Se puede diferenciar entre tres tipos de enlaces: punto-punto, punto-multipunto y multipunto-punto. El primero une a solo dos puntos geográficos, por ejemplo, cuando se tiene una conversación telefónica, en cuyo caso el enlace es bidireccional. El segundo corresponde a un sistema de difusión o distribución de información, en donde la señal es generada en un solo punto, por ejemplo, en un estudio de televisión, en una cabina de radio o en un centro de computo, y se desea que sea recibida en muchos otros puntos, sin necesidad de que estos respondan, o sea que el enlace es unidireccional, en forma de estrella. El tercero es el caso inverso al anterior, en donde en vez de diseminar una información en muchos puntos, se desea concentrarla o recolectarla de estos en un solo punto específico.

Para que no ocurra ningún tipo de conflicto entre las señales que llegan simultáneamente al satélite, se establece un orden mediante una técnica de **acceso múltiple**, de la cual hay tres tipos que se describen a continuación:

Acceso múltiple por división de frecuencia

En este tipo de acceso (**FDMA**), se asigna una frecuencia y un cierto ancho de banda a cada uno de los transmisores en tierra que tengan acceso al satélite. La asignación de la portadora se hace de acuerdo a la distribución particular que de sus transpondedores haga el administrador del sistema del satélite. En los sistemas actuales es costumbre utilizar la técnica de reutilización de frecuencias con polarización ortogonal, la cual consiste en repartir de nuevo los 500 Mhz disponibles entre otros 12 canales pero utilizando una polarización a 90 grados de la otra, es decir, que las polarizaciones de ambas señales sera perpendiculares. Por otra parte, tratando de disminuir mas la interferencia posible, la distribución se hará, en un caso, dejando el hueco de 20 Mhz, al final de la banda, y en el otro caso dejándolo al inicio.

Acceso múltiple por división de tiempo

El **TDMA** es una técnica totalmente digital en la cual cada estación terrena tiene acceso al satélite solo en un tiempo asignado para su transmisión, agotándose este, deja de transmitir hasta que le toque nuevamente su turno. En este sistema, el ruido de intermodulación es eliminado, representando una gran ventaja al comparar con el **FDMA** aunque el **TDMA** es un sistema mucho mas complejo que el **FDMA** ya que necesita una buena sincronización entre todas las estaciones terrenas que lo usan y ademas requiere de una estación de referencia.

Acceso múltiple por diferenciación de código

El CDMA, también llamado acceso múltiple por espectro de dispersión , combina la transmisión de cada estación terrena con un código al azar; es totalmente digital, y presenta la ventaja de que las antenas terrenas transmisoras y receptoras pueden ser muy pequeñas, sin importar que sus ganancias sean bajas. Por otra parte presentan el inconveniente de que ocupa el ancho de banda total del transpondedor. De cualquier manera, en los sistemas militares, tiene ventajas considerables ya que las secuencias tomadas al azar son necesarias para proveer protección criptográfica.

Sistema de energía eléctrica

Podemos considerar dos tipos de fuentes de energía eléctrica en el satélite: La fuente primaria que consiste en celdas solares y la fuente secundaria la cual consiste de un banco de baterías. Hay que hacer notar que mientras las celdas solares estén recibiendo energía de la luz solar ellas proporcionan toda la energía que necesiten los circuitos y recargan al mismo tiempo las baterías; en el momento que ocurre un eclipse o región de sombra para el satélite, las baterías serán las encargadas de proporcionar la energía hasta que el eclipse concluya.

La cantidad de potencia requerida por cada uno en particular depende de sus características de operación , y normalmente varia entre los 500 y 2000 watts. El subsistema de energía eléctrica consiste en tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este último está integrado por dispositivos como reguladores , convertidores y otros circuitos de protección , que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

Con excepción de las primeras horas inmediatas a su lanzamiento, en donde la electricidad necesaria es suministrada por baterías, la fuente primaria de energía del satélite esta constituida por arreglos de caldas solares. Si se toma en cuenta que la eficiencia promedio de conversión de electricidad es del 10% y que un satélite estándar requiere alrededor de un kilowatt de potencia, es evidente que necesita contar con muchos metros cuadrados de celdas solares. Cada celda solar tiene un área de unos 5cm cuadrados y uniendo muchas de ellas en serie y en paralelo se forma un arreglo solar. Todas las celdas se ven expuestas durante su vida de operación a diversos tipos de radiaciones, que año tras año van disminuyendo su eficiencia aun mas; después de unos 7 años de operación, la reducción de su eficiencia puede disminuir aproximadamente en un 30% con respecto a la eficiencia original, aun cuando llevan una cubierta de protección hecha de sílice fundido.

Los primeros satélites de comunicaciones (para telefonía , TV y datos) giraban muy por encima de la tierra y las antenas terrestres se encargaban de seguirlos. Apuntar una gran antena direccionable hacia un objetivo invisible y de movimiento raudo en el cielo no es tarea fácil y su uso domestico no seria viable. Hoy en día , conforme se han ido desarrollando las tecnologías espacial y electrónica, se ha superado esta dificultad. Los satélites que retransmiten un programa de televisión directamente hacia los hogares están ahora en órbita geoestacionaria. Este ultimo término proviene del griego Geo, que significa tierra, que conduce al concepto de un satélite estacionario con respecto a la tierra. En consecuencia, las antenas para tal satélite permanecen en una posición fija y no necesita efectuar movimiento alguno.

De acuerdo a estos conceptos, surge inmediatamente una interrogante: si la Tierra se desplaza alrededor del sol y gira, ademas sobre su eje, ¿ Como puede haber en el espacio algo "geoestacionario", es decir, visible siempre desde el mismo punto de la Tierra?. El satélite viaja a una velocidad elevadísima, unos 11000 Km por hora y a una altura de casi 36000km. A esta elevada velocidad, el satélite circunda la Tierra describiendo una circunferencia (su órbita) una vez cada 24 Hr., como la

propia Tierra. En consecuencia, parece como si el satélite estuviera inmóvil en el cielo, pero tanto el observador en la Tierra como el satélite viajan a gran velocidad.

En este mismo principio se puede ilustrar con una rueda de bicicleta. El eje representa la tierra, y la llanta la órbita del satélite. Todo punto del eje permanece frente al mismo punto de la llanta, porque ambos giran al unísono; los radios se ocupan de ello. En un sistema de satélite, en lugar de los radios se emplean otros recursos de la naturaleza no tan tangibles, pero que producen el mismo efecto. En reconocimiento a las predicciones de Arthur C. Clarke la órbita geostacionaria se denomina comúnmente órbita de Clarke.

En este estado inicial se puede considerar que el satélite adopta infinidad de variantes, pero fundamentalmente se le conoce como un receptor constituido de canales repetidores (transpondedores), sintonizados a señales que son lanzadas hacia el desde la tierra , por una de las grandes antenas parabólicas. El programa experimenta una ganancia de potencia y es retransmitido a la Tierra donde lo capta una de las múltiples antenas parabólicas. El foco de un teatro surge de una potente y pequeña fuente lumínica enfocada en un haz estrecho mediante un reflector. Al llegar al escenario, se forma una figura luminosa alargada, la transmisión desde el satélite es algo semejante (ya que las ondas luminosas y las de radio tienen mucho en común), de tal forma que el haz del radio es enfocado por el satélite de la misma manera , con un reflector o un plato y llega a la tierra, donde ilumina el área hacia la que apunta, que puede ser, por ejemplo, Norteamérica o México. El área en cuestión es conocida como huella del satélite

El primer satélite operacional utilizado fue la luna. A principios de los años 50, se empezó a desarrollar la técnica de reflejar las ondas de radio como un espejo refleja la luz, aunque probablemente la Luna absorbía mas de lo que reflejaba. Ciertamente, con la Luna no había problemas de lanzamiento y es lo suficientemente grande para no perderse, si se toma en cuenta su movimiento relativo respecto a la

Tierra. La Armada de EE.UU. y una sociedad de radioaficionados trabajaron arduamente, pero el rebote de la Luna, como se denominó entonces, cedió inevitablemente el paso a la creciente pléyade de satélites artificiales.

En Octubre de 1957 la Unión Soviética puso en órbita el Sputnik I, el primero de una serie. Un satélite pasivo significa que no tiene impulsos activos como amplificadores para señales, pues solo se limita a reflejarlas. Los dispositivos activos necesitan energía eléctrica para cumplir su cometido; los pasivos no. El ECHO no era más que un globo revestido de aluminio, que reflejaba las ondas de radio hacia la tierra con mucha más eficacia que la Luna.

Pronto aparecieron los primeros satélites de comunicación activos, empezando por el TELSTAR I en 1962 seguido del TELSTAR II, y a continuación los RELAY I y II. Las señales enviadas se hacían de mayor potencia, (se amplificaban) y eran devueltas a la Tierra. Estos artefactos ofrecían grandes perspectivas, pero estaban limitados a bajas altitudes porque los cohetes de aquel tiempo no podían elevarlos más. Para comprender las limitaciones de los sistemas de TV ligados a la Tierra, se consideraran las ondas de radio que utilizan. Estas tienen, en particular, la desventaja de ser absorbidas por la Tierra, así como por otros objetos sólidos conforme se alejan de la estación transmisora. Después de unas decenas de kilómetros, la señal se debilita demasiado para cumplir su cometido y, por tanto, se necesitan varias estaciones repetidoras, cada una de las cuales cubre un área pequeña. Por su parte, una sola estación transmisora en un satélite puede lograr lo mismo. Y lo que es mejor, desde nuestros hogares se pueden reajustar nuestras antenas parabólicas para captar distintos satélites y según pase el tiempo, habrá muchos de estos programas de televisión apuntando hacia abajo. Además los satélites pueden atender pequeñas zonas que experimentan dificultades en la radiodifusión terrestre. ahora son posibles ciertas mejoras en la calidad de imagen, que se pueden introducir a medida que se desarrolle el sistema de satélite.

Muchas estaciones locales ya están trabajando con los satélites existentes, por ejemplo INTELSAT y EUTELSAT. Si se comparan con los últimos recién llegados, son de baja potencia y necesitan reflectores parabólicos relativamente grandes. Tales antenas son viables en las redes de distribución por cable, y también en uso doméstico si tienen cabida las paraboloides de 1.6 a 1.8 m. de diámetro, conforme se dispone de satélites de radiodifusión directa más potentes, disminuyendo el tamaño de los reflectores, por lo que se prevé que la mayoría de los de uso doméstico serán mejor manipulados, de tamaños comprendidos entre los 30 cm. (unas 12 pulgadas), y un metro de diámetro.

SISTEMA BASICO PARA RECEPCION DE TV

La instalación receptora más económica se basa en un reflector parabólico fijo ajustado únicamente a un satélite. Con un presupuesto más, la parábola puede ser ajustada manualmente para recibir otros satélites. En la parte superior de la escala financiera se encuentra el sistema controlado a distancia, en el cual se puede hacer que una antena parabólica movida por un motor desplace su punto de mira de acuerdo con las señales que se le envían, manipulando los mandos y selectores dentro de casa. En los sistemas más modernos, se suprime hasta la manipulación de los mandos, ya que el equipo anterior puede ser preprogramado para que haga girar el reflector y seleccione el canal.

Por tanto, en algún punto exterior se encuentra el paraboloide, con su visión de los satélites clara y sin obstrucciones. Recoge las ondas de radio dirigidas hacia abajo y las envía a un dispositivo en forma de embudo que, por lo general, está fijo en la parte frontal, en un trípode. El embudo aplica las ondas a un conversor de bloque de bajo ruido (LNB), que cambia la onda para adecuarla y enviarla hacia adelante, a través de un cable especial, hasta las instalaciones. La elección de el tamaño más adecuado del paraboloide es un acertijo. Muchos espectadores virtuales, que escasamente conocen las complejidades del sistema y que, posiblemente, ni siquiera comprenden lo que quieren, se dirigen a un vendedor y se ponen en sus manos.

El cable desde el LNB es muy similar al cable circular estándar que se abre paso en la actualidad desde la antena de TV en el tejado ó ático hasta la parte posterior de el receptor. Este cable no se conecta directamente al televisor normal, sino a un receptor de satélite que le permita al usuario seleccionar el programa. La salida del receptor tiene la forma adecuada para su conexión directa del aparato domestico de TV, que puede ser conmutado según se requiera entre las estaciones de TV terrestres y las de el satélite, mediante los pulsadores normales de control a distancia o selección de canales.

PAGO DE SERVICIO

No se puede pensar que se recibirán todos los canales extras de TV. Quienes distribuyen los programas de TV (los contratistas de programas) tienen que pagar a los que los hacen, de tal modo que recuperen su dinero y consigan beneficios. Suele suceder que no dispongan del dinero de los contribuyentes y tampoco se prevé que la publicidad genere suficientes ingresos, por lo que se tendrá que pagar determinados canales. En consecuencia, es probable que se utilice una técnica de cifrado.

Cabe recordar el teléfono codificado, en el que se mutila la conversación antes de transmitirla. Por tanto, cualquiera que la escuchara a mitad del camino sera incapaz de entender dicha conversación. Los primeros codificadores dificultaban la escucha no autorizada, los modernos la hacen casi imposible. El cifrado es la misma que se utiliza en televisión; de hecho "codificación" y " cifrado" son virtualmente sinónimos. En un canal cifrado la señal es perturbada de tal modo que deja de producir una imagen que sea mínimamente visible, a no ser que se instale un decifrador o decodificador, que pueda ser una unidad independiente conectada al sistema o estar montada en un receptor. Es posible que un solo decodificador acepte canales normales y cifrados pasando los primeros directamente y decodificando los segundos. Los decodificadores solo pueden ser utilizados, por supuesto, por los espectadores que

pagan. Cabe utilizar un sistema de alquiler, en el cual lo que se paga incluya el costo de los programas, o también un sistema de pagar lo que se este viendo. .

EL ENLACE DE COMUNICACIONES

Los satélites, en general, tienen como finalidad retransmitir las señales enviadas desde la Tierra (señal up- link), para retornarlas en otra banda de frecuencias (señal down-link). Las bandas mas utilizadas son las siguientes:

	BANDA "C"	BANDA "Ku"	BANDA "Ka"
ascendente	Mhz.	Mhz.	Mhz.
(up link)	5,925 a 6,425	14,000 a 14,5000	27,500 a 31,000
descendente			
(down link)	3,700 a 4,200	11,700 a 12,200	17,700 a 21,200

Para establecer un sistema vía satélite, se requiere contar con una estación terrena transmisora, su satélite de radiocomunicaciones y una estación terrena transmisora, integrados según la recomendación CCIR (Rec-352-1) como a continuación se describe:

Estación Terrena Transmisora

- Acometida de la señal a transmitir.**
(Entrada de banda base)
- Modulador**
- Convertidor de subida (U/C, Up- converter)**
- Amplificador de potencia (HPA, high power amplifier)**
- Antena, lado de transmisión**

La señal de información (telefonía, televisión, información digital, etc.), es recibida por el equipo transmisor de satélite en tierra, una vez que se ha agrupado adecuadamente mediante multiplexión, en la forma de señal de banda base (BB) para ser alimentada al modulador. Este modulador opera a una

frecuencia estándar de 70 Mhz. llamada frecuencia intermedia (F.I.) la cual es modulada en frecuencia por la banda base. La señal de F.I. (modulada), es posteriormente elevada al rango de microondas (ejemplo: 6 Ghz. en banda C), en el convertidor de subida para luego ser amplificada en el HPA con la finalidad de conseguir el suficiente nivel para que la señal llegue al satélite con la potencia suficiente. La señal de microondas es alimentada a la antena la que concentra la energía dirigiendola hacia el satélite.

Satélite de Radiocomunicaciones

- Antena, lado de recepción**
- Amplificadores de bajo nivel de ruido (LNA)**
- Convertidor de Frecuencia (Traslador de Banda)**
- Amplificador de potencia (HPA)**
- Antena, lado de transmisión**

Al llegar la señal al satélite, es captada por la antena de recepción la cual la alimenta a un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) el que amplifica la microonda para luego, en el convertidor, bajar su frecuencia al rango de la banda "Down-Link" (ejemplo al rango de 4 Ghz en banda C). Una vez trasladada la frecuencia, la señal sera amplificada en el HPA y enviada de nuevo hacia la Tierra por la antena de transmisión. Esta antena, en ocasiones, es la misma que la de recepción.

Estación Terrena Receptora

- Antena, lado de recepción**
- Amplificador de bajo nivel de ruido**
- Convertidor de bajada (D/C down-converter)**
- Demodulador**
- Entrega de la señal de banda base**

En la estación terrena receptora la señal es recogida por la antena, alimentada al LNA donde se amplifica con un bajo nivel de ruido, alimentada al convertidor de bajada donde la señal es convertida del rango de microondas a frecuencia intermedia (70 Mhz.), para luego ser recuperada la información en el demodulador. La señal a la salida del demodulador es la información en la forma de la banda base.

I N T R O D U C C I O N

El objetivo fundamental de este curso es el diseño de un sistema de telecomunicaciones vía satélite a partir de datos reales y cumpliendo con los requisitos de calidad de transmisión exigidos por los organismos internacionales.

El curso permite por lo tanto familiarizarse con temas que conciernen a las telecomunicaciones espaciales, además de - que puede considerarse como una guía - - útil para el diseño en general de cualquier sistema de telecomunicaciones, ya que muchos de los conceptos desarrollados en él son aplicables a cualquiera de dichos sistemas.

EJEMPLO DE DISEÑO :

El gobierno francés planea establecer un servicio de telecomunicaciones vía satélite entre Francia y algunos territorios con el fin de proporcionar los siguientes servicios :

- a) Comunicar Francia con la Guyana, la Martinica, Guadalupe y la Reunión por medio de un enlace bilateral - que permita la transmisión de 252 canales de voz.
- b) Comunicar la Guyana con la Martinica y Guadalupe con Saint-Barthélémy por medio de un enlace bilateral -- que permita la transmisión de 96 canales de voz.

Las condiciones siguientes deberán ser respetadas :

1. El satélite será colocado en una órbita geoestacionaria de tal forma que sea visto por las diferentes estaciones terrenas con una elevación superior a 5°, además no deberá haber otro satélite que utilice la misma frecuencia a 3° separación.
2. Las bandas de frecuencia utilizadas son las primeras bandas asignadas al servicio fijo de telecomunicaciones por satélite (5925-6425 MHz up link; 3700-4200 MHz down link).
3. Se utilizarán dos repetidores de 75 MHz de ancho de banda; una banda de 25 MHz será dejada entre las bandas de los repetidores. El repetidor No. 2 transmitirá los 7 enlaces destinados a la región Antillas-Guyana, por medio de una antena tipo "Spot-Beam". El

repetidor No. 1 transmitirá los otros 5 enlaces destinados a Francia y la Reunión por medio de una antena de tipo corneta de cobertura global. Esta misma corneta servirá de antena de recepción a 6 GHz.

4. El sistema utilizado es el de acceso múltiple por división de frecuencia y las diferentes portadoras son moduladas en frecuencia (FDMA/FM). Se dejará una banda de guardia entre el canal "i" y el canal "j"; - igual a :

0.1 (Banda de Carlson "i" + banda de Carlson "j")

5. Se respetará la cláusula de calidad de transmisión - recomendada por el CCIR en sus avisos 353-2 y 356-2 de 9000 pWpo. Un margen suplementario de 0.9 dB será considerado para tomar en cuenta las imperfecciones de las estaciones terrenas, lo que permite definir la relación señal a ruido mínima igual a 51.4 dB
6. Para el cálculo de la relación portadora a temperatura de ruido se tendrá en cuenta :

a) La preacentuación "P₁"

$$P_1 = 5 - 10 \log \left[1 + \frac{6.9}{5.25 \left(\frac{1.25F_{max}}{F} - \frac{F}{1.25F_{max}} \right)^2} \right]$$

Donde :

F_{max} es la frecuencia máxima del multiplex en banda base.

Fmax = 408 KHz (96 canales de voz)

Fmax = 1052 KHz (252 canales de voz)

b) la ponderación psfométrica "P₂" que toma en cuenta la curva de respuesta del oído será :

P₂ = 3.6 dB para una banda de 4 KHz.

c) Para el cálculo de la desviación de frecuencia eficaz por canal, se considerará un factor de cresta de 10 dB y un factor de carga del multiplex -- normalizado como se indica a continuación :

$(-15 + 10 \log N)$ dBmo Si $N \geq 240$

$(-1 + 4 \log N)$ dBmo Si $N \leq 240$

N es el número de canales de voz del multiplex.

d) Se tomará un margen suplementario de 2 dB para tomar en cuenta la atenuación suplementaria debida a los hidrometeoros.

7. Se evitará utilizar demoduladores de frecuencia especiales (a umbral mejorado) garantizando una relación portadora a ruido (C/N) superior a 11 dB.

8. Las estaciones terrenas utilizadas son :

- De tipo INTELSAT Standard A en Francia y en la Reunión.

- De tipo INTELSAT Standard B en las Antillas y en la Guyana.

- Standard A :

diámetro = 32.5 m
PIRE max = 95 dBW
G/T = 40.7 dB/°K

- Standard B :

diámetro = 11.5 m
PIRE max = 86 dBW
G/T = 31.7 dB/°K

9. Los amplificadores de potencia del satélite (uno por repetidor), serán tubos de ondas progresivas de una potencia máxima de 10 watt. La atenuación entre la salida del tubo y la interfase de la antena de emisión será de 1.5 dB.

10. Las características de las antenas del satélite serán las siguientes :

- La antena "Spot-Beam" Antillas-Guyana tendrá un diámetro máximo de 2 m y un rendimiento de 55%, su ancho de haz a 3 dB, será igual a $70 \frac{\lambda}{D}$.

- La corneta será utilizada si es posible a la vez a 4 GHz y a 6 GHz. Su directividad está dada -- por la gráfica que se anexa al presente enunciado Su ancho de haz a 3 dB será igual a $60 \frac{\lambda}{D}$ aproximadamente y las pérdidas de inserción del orden de 0.5 dB.

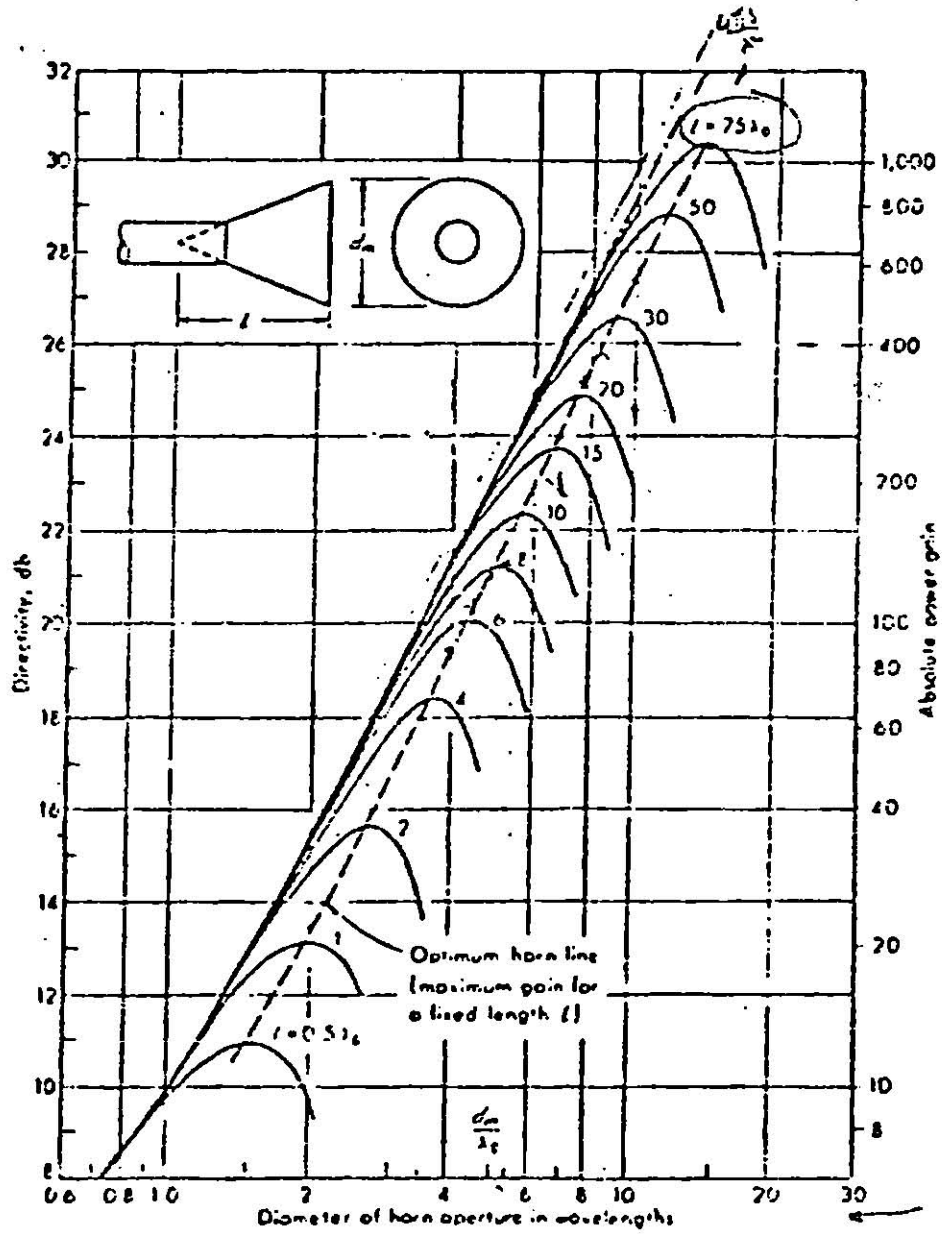
11. La carga útil será equipada de un receptor a un solo cambio de frecuencia.

SECUENCIA A SEGUIR :

1. Optimizar la posición del satélite sobre una órbita - geostacionaria cumpliendo con la condición (1)
2. Seleccionar las frecuencias de los dos repetidores.
3. Diseñar el plan de frecuencias de cada repetidor. -- Calcular la excursión ó desviación de frecuencia eficaz por canal, tanto para los enlaces de 96 canales - de voz como para los de 252.
4. Calcular la relación portadora a ruido y portadora a temperatura de ruido para los dos tipos de portadora.
5. Calcular las pérdidas de propagación para las trayectorias ascendente y descendente.
6. Optimizar los parámetros $PIRE_{ET}$, $PIRE_{SAT}$ Y G/T_{SAT} .
7. Realizar el diagrama de la carga útil con sus antenas el receptor de un solo cambio de frecuencia, los demultiplexores, amplificadores, etc.,

COORDENADAS DE LOS LUGARES
A ENLAZAR

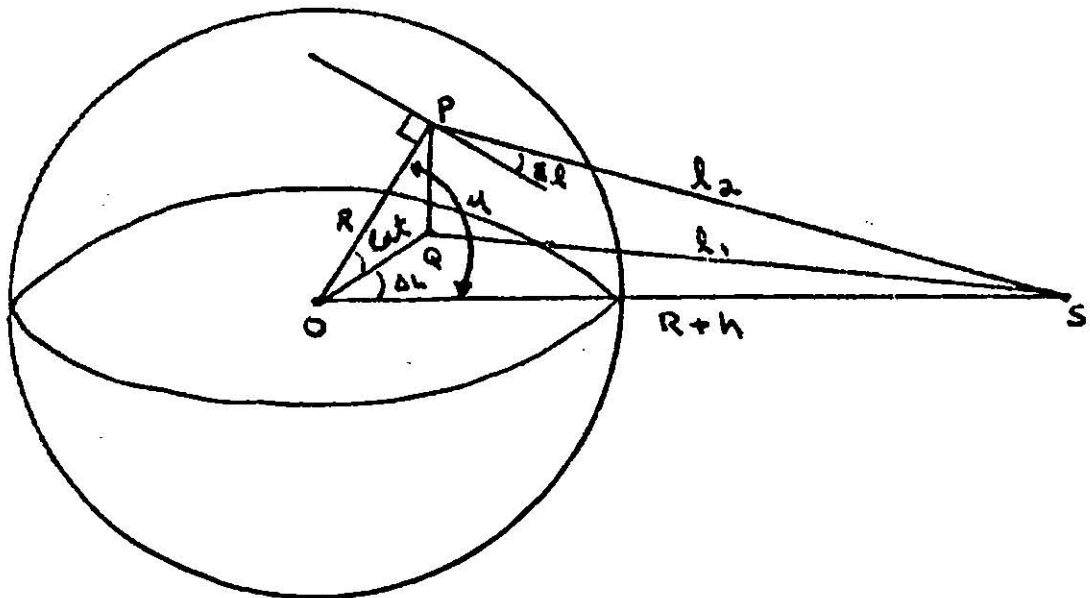
	Estación	Latitud	Longitud
FRANCE	FR	48°31'N	3°54'E
SAINT-BARTHELEMY	STB	17°55'N	62°50'W
GUADALUPE	GUA	16°15'N	61°35'W
MARTINIQUE	MAR	14°31'N	61°01'W
GUYANA	GUY	04°56'N	52°18'W
REUNION	REU	20°54'S	55°32'E



FORMULARIO

I. SATELITES GEOESTACIONARIOS

La órbita de estos satélites está situada sobre el plano ecuatorial a una altura aproximada de 35 890 Km, la única variable es la longitud del punto sobre el que está situado el satélite.



P : es la posición de la estación terrestre.

R : es el radio de la tierra

$$R = 6\,378 \text{ Km}$$

h : es la altura del satélite

$$h = 35\,890 \text{ Km}$$

lat : es la latitud de la estación terrena.

ΔL : es la diferencia de longitud entre el satélite y la estación terrena.

ϵ : Angulo de elevación con el que la estación terrena "ve" al satélite.

Distancia entre el satélite y la estación terrena :

$$\overline{SP}^2 = h^2 + 2R(R+h)(1 - \cos lat \cos \Delta L)$$

Angulo de elevación :

$$\cos \mu = \cos lat \cos \Delta L$$

$$\epsilon = \text{Arctg} \frac{\cos \mu - \frac{R}{R+h}}{|\sin \mu|}$$

II. RELACION SEÑAL A RUIDO EN SISTEMAS DE TRANSMISION DE FM: (S/R)

$$\frac{S}{R} = \frac{c}{KTb} \left(\frac{\Delta f_{eF}}{f_{max}} \right) P_1 P_2$$

$\frac{S}{R}$ es la relación señal a ruido a la salida del demodulador.

C = es la potencia de la portadora.

b = es la banda de un canal telefónico $b=4$ KHz.

K = es la constante de Boltzman

$$1.38 \times 10^{-23} \text{ Joule/K}$$

T = es la temperatura equivalente de ruido en grados Kelvin.

Δf_{ef} : es la desviación de la frecuencia eficaz por canal.

P_1 = es el coeficiente de ponderación debido a la preacentuación.

P_2 = es el coeficiente de ponderación psfométrica

cálculo de $\left(\frac{C}{N}\right)$ y Δf_{ef}

$$B_c = 2 (\Delta f_c + f_{max})$$

$\frac{C}{N}$ = es la relación portadora a ruido a la entrada del demodulador.

B_c = es la banda de Carlson del multiplex.

Δf_c = es la desviación pico del sistema.

f_{max} = es la frecuencia máxima del multiplex en banda de base

$$f_{max} = 408 \text{ KHz (multiplex 96 canales)}$$

$$f_{max} = 1052 \text{ KHz (multiplex 252 canales)}$$

$$\Delta f_{ef} = \frac{\Delta F_c}{(f_{CIRCUITO})(f_{CARGA})}$$

III. ATENUACION DEBIDA A LA PROPAGACION DE LA SEÑAL EN EL ESPACIO LIBRE.

$$AT = 20 \log \frac{4 \pi L}{\lambda}$$

AT : es la atenuación de propagación en dB.

λ : es la longitud de onda de la señal en metros.

L : es la distancia en metros.

IV. ANTENAS

a) Parabólicas

$$Dir = 20 \log \frac{\pi D}{\lambda}$$

$$G = \eta Dir$$

Dir : es la directividad de la antena en dB

G : es la ganancia de la antena en dB

D = es el diámetro de la antena en metros

λ = es la longitud de onda de la señal transmitida o recibida por la antena en metros

η = es el factor de rendimiento de la antena

Ancho de haz ($\Delta\theta_{3dB}$)

$$\Delta\theta_{3dB} = \frac{70\lambda}{D}$$

b) Cornetas

Para el cálculo de la directividad de las cornetas se usarán las gráficas que son dadas en el anexo.

$$\Delta\theta_{3dB} = \frac{60\lambda}{D}$$

V. ECUACIONES FUNDAMENTALES DE TRANSMISION VIA SATELITE.

$$\left(\frac{C}{T}\right)_T = \frac{1}{\left(\frac{T}{C}\right)_a + \left(\frac{T}{C}\right)_d}$$

$\left(\frac{C}{T}\right)_T$ = es la relación portadora a temperatura de ruido del enlace completo.

$\left(\frac{C}{T}\right)_a$ = es la relación portadora a temperatura de ruido del enlace estación terrena-satélite.

$\left(\frac{C}{T}\right)_d$ = es la relación portadora a temperatura de ruido del enlace satélite-estación terrena.

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = \text{PIRE}_{E.T} - \text{ATA} + \left(\frac{C}{T}\right)_{sat}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = \text{PIRE}_{sat} - \text{ATD} + \left(\frac{C}{T}\right)_{E.T.}$$

PIRE = Potencia Isotrópica radiada equivalente.

PIRE_{sat} = PIRE del satélite

PIRE_{E.T.} = PIRE de la estación terrena

ATA = atenuación trayecto ascendente.

ATD = atenuación trayecto descendente

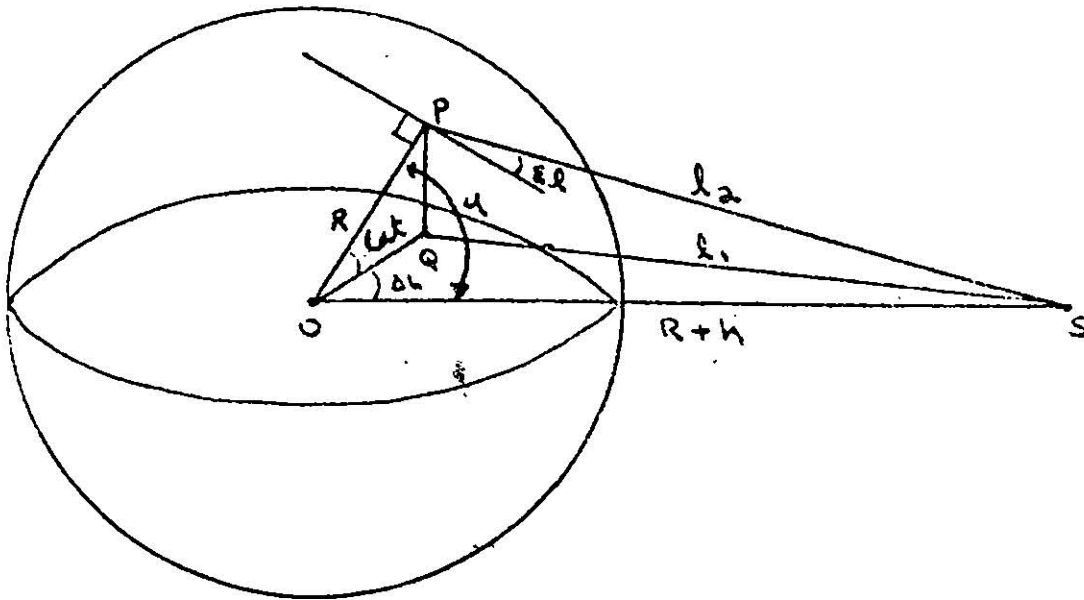
$(G/T)_{s.t.}$ = Relación ganancia a temperatura de ruido del satélite.

$(G/T)_{e.t.}$ = relación ganancia a temperatura de ruido de la estación terrena.

SOLUCION

- I) Optimizar la posición del satélite sobre una órbita geostacionaria respetando la condición (1) del enunciado; es decir, conseguir una elevación mayor de 5° para cualquier estación y que no se encuentre otro satélite utilizando la misma frecuencia a una separación menor de 3° .

DEMOSTRACION:



Donde:

- P= Posición de la estación terrena
- S= Posición del satélite
- Lat= Latitud de la estación terrena
- L= Es la diferencia de longitud entre el satélite y la estación terrena
- El= Angulo de elevación
- R= 6378 Km.
- h= 35890 Km.

TRIANGULO OQS

$$l_1^2 = (R \cos \text{lat})^2 + (R+h)^2 - 2(R \cos \text{lat})(R+h) \cos \Delta L$$

TRIANGULO PQS

$$l_2^2 = l_1^2 + (R \text{ sen lat})^2$$

COMBINANDO LAS DOS FORMULAS

$$l_2^2 = (R \cos \text{lat})^2 + (R+h)^2 - 2(R \cos \text{lat})(R+h) \cos \Delta L + (R \text{ sen lat})^2$$

$$l_2^2 = R^2 + (R+h)^2 - 2(R)(R+h) \cos \text{lat} \cos \Delta L$$

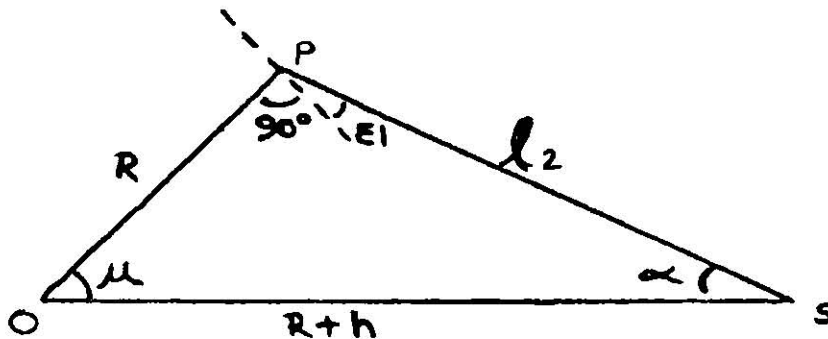
$$l_2^2 = R^2 + (R+h)^2 - 2(R)(R+h) \cos \mu$$

DONDE:

$$\cos \mu = \cos \text{lat} \cos \Delta L$$

$$l_2^2 = \overline{SP}^2 = h^2 + 2R(R+h)(1 - \cos \mu)$$

TRIANGULO OPS



$$\frac{l_2}{\text{sen } \mu} = \frac{R}{\text{sen } \alpha} = \frac{R+h}{\text{sen}(90^\circ + EI)}$$

$$\alpha = 180 - \mu - (90 + EI)$$

$$\alpha = 90 - (\mu + EI)$$

$$\frac{R}{\text{sen } \alpha} = \frac{R+h}{\text{sen}(90 + EI)}$$

$$\operatorname{sen} \alpha = \operatorname{sen} [90 - (\mu + \epsilon)] = \cos (\mu + \epsilon)$$

$$\operatorname{sen} (90 + \epsilon) = \cos \epsilon$$

$$\frac{R}{\cos (\mu + \epsilon)} = \frac{R+h}{\cos \epsilon}$$

$$\frac{R}{R+h} \cos \epsilon = \cos (\mu + \epsilon) = \cos \mu \cos \epsilon - \operatorname{sen} \mu \operatorname{sen} \epsilon$$

$$\cos \mu \cos \epsilon - \frac{R}{R+h} \cos \epsilon = \operatorname{sen} \mu \operatorname{sen} \epsilon$$

$$\cos \epsilon \left(\cos \mu - \frac{R}{R+h} \right) = \operatorname{sen} \mu \operatorname{sen} \epsilon$$

$$\frac{\operatorname{sen} \epsilon}{\cos \epsilon} = \operatorname{tg} \epsilon = \frac{\cos \mu - \frac{R}{R+h}}{|\operatorname{sen} \mu|}$$

$$\epsilon = \operatorname{Arc} \operatorname{tg} \frac{\cos \mu - \frac{R}{R+h}}{|\operatorname{sen} \mu|}$$

Solución :

Para satisfacer la condición (1) referente a la elevación debemos cumplir con :

$$\operatorname{tg} \epsilon \geq \operatorname{tg} 5^\circ = 0.0875$$

$$\frac{\cos \mu - \frac{R}{R+h}}{|\operatorname{sen} \mu|} \geq 0.0875$$

POR LO TANTO

$$0 < \mu \leq 76.4055^\circ$$

Obtengamos ahora la ΔL_{\max} para conseguir $\mu = 76.4055^\circ$:

$$\cos \mu = \cos \text{lat} \cos \Delta L$$

$$\Delta L = \operatorname{Arc} \cos \left(\frac{\cos \mu}{\cos \text{lat}} \right)$$

$$\Delta L_{\max} = \operatorname{Arc} \cos \left(\frac{\cos 76.4055^\circ}{\cos \text{lat}} \right)$$

$$\Delta L_{max} = \text{Arc cos} \left(\frac{0.235}{\cos \lambda_{\text{ET}}} \right)$$

Substituyendo en esta fórmula la latitud correspondiente para cada estación, obtenemos la siguiente tabla :

Estación	Latitud	Longitud	ΔL_{max}	Límite 1 (W)	Límite 2 (E)
Francia	48° 31' N	3° 54' E	69° 13'	65° 19' W	73° 07' E
Saint- Barthéle my	17° 55' N	62° 50' W	75° 42'	138° 32' W	12° 52' E
Guadalupe	16° 15' N	61° 35' W	75° 49'	137° 24' W	14° 14' E
Martinique	14° 31' N	61° 01' W	75° 57'	136° 58' W	14° 56' E
Guyana	4° 56' N	52° 18' W	76° 21'	128° 39' W	24° 03' E
Reunión	20° 54' S	55° 32' E	75° 25'	19° 53' W	130° 57' E

Solución propuesta : entre 12° 52' E Y 19° 53' W

Checando en las tablas adjuntas en la presentación del problema, proponemos como nuestra solución particular una posición del satélite en :

$2^{\circ} E$

II) Selección de las frecuencias de los repetidores.

La banda de frecuencia utilizada por los repetidores es de 5925 a 6425 MHz.

Se utilizarán dos repetidores de 75 MHz de ancho de banda espaciados 25 MHz.

Por lo tanto proponemos la siguiente solución :

$6200 - 6275 \text{ MHz}$	Rep \#1
$6300 - 6375 \text{ MHz}$	Rep \#2

III) Plan de frecuencia de los repetidores.

REPETIDOR #1

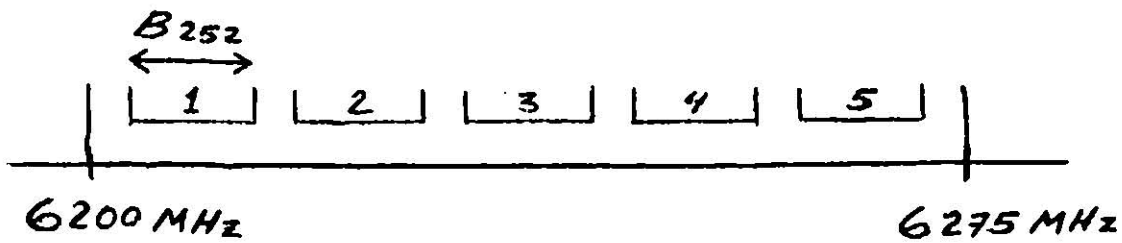
$\text{GUY} \rightarrow \text{FR}$	}	5 CANALES DE 252 (5 enlaces de 252 canales de voz)
$\text{MAR} \rightarrow \text{FR}$		
$\text{GUA} \rightarrow \text{FR}$		
$\text{REU} \rightarrow \text{FR}$		
$\text{FR} \rightarrow \text{REU}$		

REPETIDOR #2

$\text{FR} \rightarrow \text{GUY}$	}	3 enlaces de 252
$\text{FR} \rightarrow \text{MAR}$		
$\text{FR} \rightarrow \text{GUA}$		

$\text{GUY} \rightarrow \text{MAR}$	}	4 enlaces de 96
$\text{GUA} \rightarrow \text{STB}$		
$\text{MAR} \rightarrow \text{GUY}$		
$\text{STB} \rightarrow \text{GUA}$		

REPETIDOR # 1



Debemos considerar una banda de guarda entre canal "i" y canal "j" igual a :

$$= 0.1 (BANDA DE CARLSON_i + BANDA DE CARLSON_j)$$

Y entre el inicio del repetidor y el primer canal, y entre el fin del último canal y el fin del repetidor se dejará una guarda de :

$$= 0.1 (BANDA DE CARLSON DEL CANAL CONSIDERADO)$$

Solución :

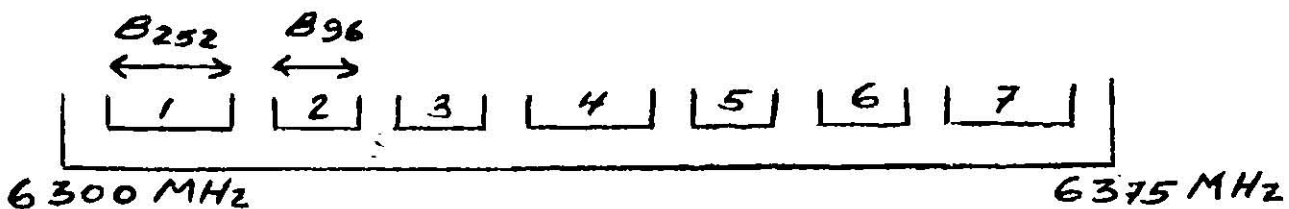
Como se tienen 5 canales de 252 canales de voz :

$$5 B_{252} + 4 (0.2 B_{252}) + 2 (0.1 B_{252}) = 75 \text{ MHz}$$

$$6 B_{252} = 75 \text{ MHz}$$

$$B_{252} = 12.5 \text{ MHz}$$

REPETIDOR # 2



solución propuesta :

$$3 B_{252} + 4 B_{96} + 4 (0.1) (B_{252} + B_{96}) +$$

$$2 (0.2) B_{96} + 2 (0.1) B_{252} = 75 \text{ MHz}$$

$$4.8 B_{96} + 3.6 B_{252} = 75 \text{ MHz}$$

COMO $B_{252} = 12.5 \text{ MHz}$

ENTONCES:

$$B_{96} = \frac{75 - 3.6(12.5)}{4.8}$$

$$B_{96} = 6.25 \text{ MHz}$$

Para calcular la desviación eficaz por cada canal (Multi-plex) debemos considerar un factor de cresta de 10 dB (3.16) y un factor de normalización ó carga dado por la condición (6c).

La desviación de frecuencia eficaz está dada por :

$$\Delta f_{ef} = \frac{\Delta f_c}{(f_{CRESTA})(f_{CARGA})}$$

Al dividir Δf_c entre dichos factores se obtiene un promedio estadístico por canal multiplex, tomando en cuenta tanto el valor eficaz de la señal de voz como el hecho de que no todos los canales son utilizados al mismo tiempo.

Solución propuesta :

PARA 96 CANALES $f_{max} = 408 \text{ KHz}$

FACTOR DE CRESTA = 10 dB = 3.16

FACTOR DE CARGA

$$(-1 + 4 \log N) \text{ dB}_{mo} \text{ si } N \leq 240$$

$$-1 + 4 \log 96 = 6.93 \text{ dB}_{mo} = 2.22$$

$$B_{CARLSON} = 2 (\Delta f_c + f_{max}) = 6.25 \text{ MHz}$$

DESPEJANDO

$$\Delta f_c = \frac{6.25}{2} - 0.408 = 2.717 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_{ef} = \frac{\Delta f_c}{(f_{CARGA})(f_{CRESTA})}$$

$$\Delta f_{ef} = \frac{2.717}{(3.16)(2.22)} = 387.3 \text{ KHz}$$

$$\Delta f_{ef_{96}} = 387.3 \text{ KHz}$$

PARA 252 CANALES $f_{max} = 1052 \text{ KHz}$

FACTOR DE CRESTA = 10 dB = 3.16

FACTOR DE CARGA:

$$(-15 + 10 \log N) \text{ dB mo si } N \geq 240$$

$$(-15 + 10 \log 252) = 9.014 \text{ dB mo} = 2.82$$

$$B_{CARLSON} = 2(\Delta f_c + f_{max}) = 12.5 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_c = \frac{12.5}{2} - 1.052 = 5.198 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_{ef} = \frac{5.198}{(3.16)(2.82)} = 583.3 \text{ KHz}$$

$$\Delta f_{ef_{252}} = 583.3 \text{ KHz}$$

IV). Cálculo de la relación portadora a ruido y la relación portadora a temperatura de ruido.

La relación portadora a ruido por canal de voz después del demodulador está dada por :

$$\frac{S}{R} = \frac{C}{KTb} \left(\frac{\Delta f_{ef}}{f_{max}} \right)^2 P_1 P_2$$

DONDE $b = 4 \text{ KHz}$

Y $P_2 = \text{PONDERACION PSOFOMETRICA} = 3.6 \text{ dB}$
 PARA UNA BANDA DE 4 KHz

$$P_1 = 5 - 10 \log \left[1 + \frac{6.9}{1 + \frac{5.25}{\left(\frac{1.25 f_{max}}{f} - \frac{f}{1.25 f_{max}} \right)^2}} \right]$$

$f_{max} = 408 \text{ KHz}$ (96 CANALES)

$f_{max} = 1052 \text{ KHz}$ (252 CANALES)

f ES LA FRECUENCIA DEL CANAL CONSIDERADO.

EN NUESTRO CASO CONSIDERAREMOS $f = f_{max}$ POR
 SER LA MAS AFECTADA POR EL RUIDO.

$$P_1 = 5 - 10 \log \left[1 + \frac{6.9}{1 + \frac{5.25}{\left(1.25 - \frac{1}{1.25} \right)^2}} \right]$$

$$P_1 = 4 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{KTb} \right)_{dB} = \left(\frac{S}{R} \right)_{dB} - 20 \log \left(\frac{\Delta f_{ef}}{f_{max}} \right) - P_1 - P_2$$

$$\left(\frac{C}{T} \right)_{dB} = \left(\frac{C}{KTb} \right)_{dB} + K_{dB} + b_{dB}$$

$$\left(\frac{S}{R} \right)_{dB} = 10 \log \left(\frac{1 \text{ mw}}{9000 \text{ pw}} \right) + 0.9$$

$$\boxed{\frac{S}{R} = 51.4 \text{ dB}}$$

PARA 96 CANALES

$$\frac{C}{KTb} = 51.4 - 20 \log \left(\frac{387.3}{408} \right) - 3.6 - 4$$

$$\boxed{\left(\frac{C}{KTb} \right)_{96} = 44.25 \text{ dB}}$$

LA $\frac{C}{T}$ QUE GARANTIZA LA $\frac{S}{R}$ DISEÑADA SERA:

$$\frac{C}{T} = 44.25 - 228.6 + 36 + 2$$

CONDICION (6d) \uparrow

$$\boxed{\left(\frac{C}{T} \right)_{96} = -146.3 \text{ dB/}^\circ\text{K}}$$

PARA 252 CANALES

$$\frac{C}{KTb} = 51.4 - 20 \log \left(\frac{583.3}{1052} \right) - 3.6 - 4$$

$$\boxed{\left(\frac{C}{KTb} \right)_{252} = 48.92 \text{ dB}}$$

$$\frac{C}{T} = 48.92 - 228.6 + 36 + 2$$

$$\boxed{\left(\frac{C}{T} \right)_{252} = -141.7 \text{ dB/}^\circ\text{K}}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{KTb}$$

DONDE B = BANDA DE CARLSON

$$B = 12.5 \text{ MHz} = 70.97 \text{ dB (252 CANALES)}$$

$$B = 6.25 \text{ MHz} = 67.96 \text{ dB (96 CANALES)}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{T} \cdot \frac{1}{KB} = \left(\frac{C}{T} \right)_{dB} - K_{dB} - B_{dB}$$

PARA 96 CANALES

$$-146.3 - (-228.6) - 67.96 = 14.34 \text{ dB}$$

PARA 252 CANALES

$$-141.7 - (-228.6) - 70.97 = 15.93 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{N} = 14.34 \text{ dB (96 CANALES)}$$

$$\frac{C}{N} = 15.93 \text{ dB (252 CANALES)}$$

EN AMBOS CASOS $\frac{C}{N} > 11 \text{ dB}$

POR LO TANTO NO SE NECESITAN DEMODULADORES ESPECIALES.

BALANCE ENERGETICO DEL ENLACE

V) Cálculo de las pérdidas por propagación.

Solución :

Primero calculemos la distancia desde el satélite a cada estación terrena mediante la ecuación deducida en la solución de la pregunta No. 1.

$$l_2^2 = SP^2 = h^2 + 2R(R+h)(1 - \cos \alpha \cos \Delta L)$$

Las pérdidas son obtenidas luego mediante :

$$20 \log \frac{4\pi L}{\lambda}$$

Para la trayectoria ascendente tenemos :

$$f = 6 \text{ GHz} \quad \lambda = \frac{c}{f} = 5 \times 10^{-2} \text{ m.}$$

Para la trayectoria descendente tenemos :

$$f = 4 \text{ GHz} \quad \lambda = 7.5 \times 10^{-2} \text{ m.}$$

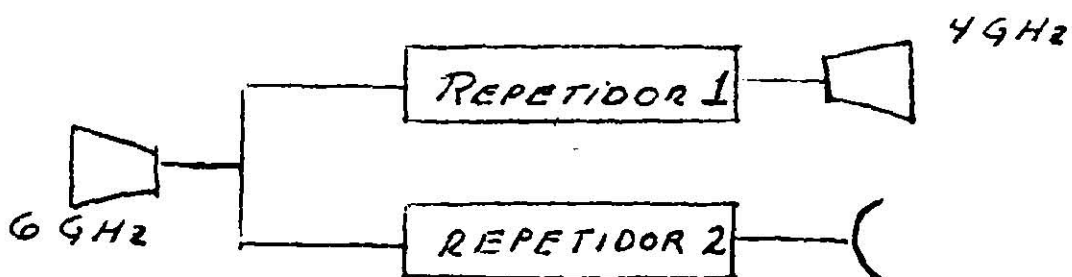
Resolviendo estas ecuaciones para cada estación, obtenemos la tabla siguiente

Estación	Lat	ΔL	distancia (Km)	ATA _{dB}	ATD _{dB}
FR	48°31'N	1°54'	38345	199.68	196.16
STP	17°55'N	64°50'	40114	200.07	196.55
GUA	16°15'N	63°35'	39963	200.04	196.52
MAR	14°31'N	63°01'	39880	200.02	196.5
GUY	4°56'N	54°18'	38908	199.8	196.28
REU	20°54'S	53°32'	39088	199.85	196.32

$$\text{ATA} \approx 200 \text{ dB}$$

$$\text{ATD} \approx 196 \text{ dB}$$

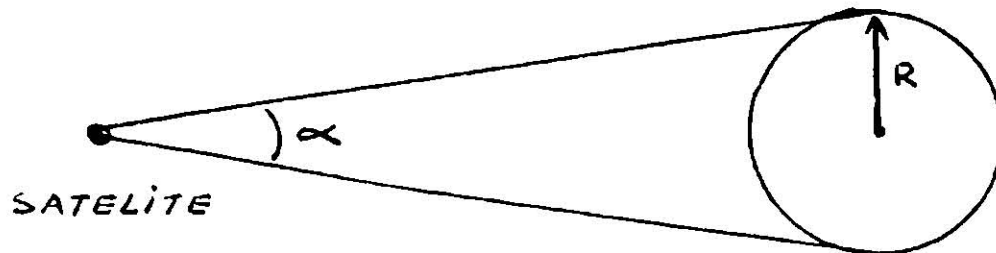
VI) Optimización de los parámetros PIRE_{sat} , G/T_{sat} , PIRE_{et} , etc.,



ANTENAS :

Repetidor No. 1 :

Para simplificar consideremos que la corneta debe tener una cobertura global para servir a todas las estaciones.



$$\alpha = 2 \text{ Arc tg } \frac{R}{R+h} = 2 \text{ Arc tg } \frac{6378}{42268}$$

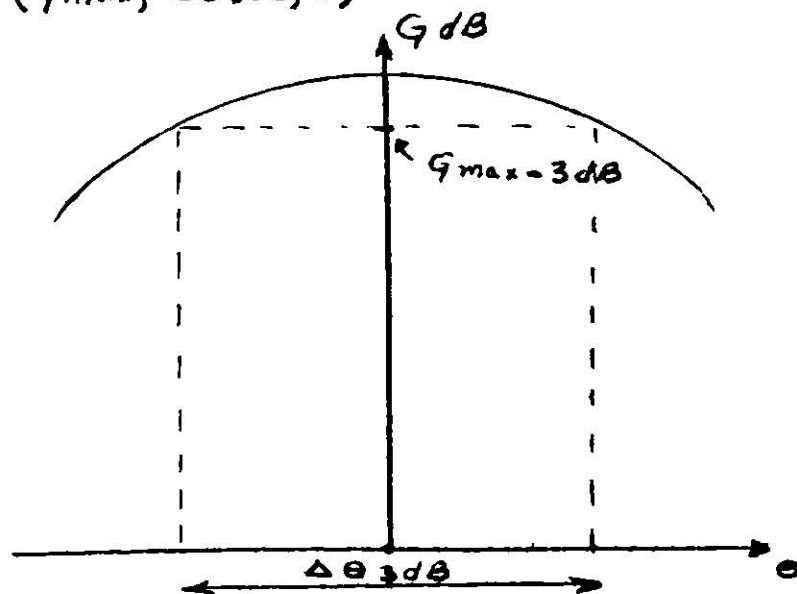
$$\alpha = 17.2^\circ$$

Consideremos para la corneta un ancho de haz igual a :

$$\Delta \theta_{3dB} = \frac{60 \lambda}{D}$$

Además supongamos que el haz tiene forma parabólica :

$$G(\theta) = f(G_{max}, \Delta \theta_{3dB}, \theta)$$



$$G(\theta) - G_{max} = -k(\theta)^2$$

$$\text{PARA } \theta = \frac{\Delta\theta_{3dB}}{2} \rightarrow G - G_{max} = -3 \text{ dB}$$

$$-3 = -k \left(\frac{\Delta\theta_{3dB}}{2} \right)^2$$

DE DONDE

$$k = 3 \left(\frac{2}{\Delta\theta_{3dB}} \right)^2$$

a) si $\Delta\theta_{3dB} = 17.2^\circ$

$$\Delta\theta_{3dB} = \frac{60^\circ}{D} \rightarrow \frac{D}{\lambda} = \frac{60}{17.2}$$

$$\boxed{\frac{D}{\lambda} = 3.5}$$

DE LA GRAFICA: $\boxed{\frac{L}{\lambda} = 4}$

CON LO QUE SE OBTIENE UNA DIRECTIVIDAD (Dir) DE:

$$\boxed{Dir = 18.5 \text{ dB}}$$

$$G_{max} = \eta Dir$$

$$G_{max \text{ dB}} = \eta_{\text{dB}} + Dir_{\text{dB}}$$

$$\text{COMO } \eta_{\text{dB}} = -0.5 \text{ dB}$$

$$\text{ENTONCES: } G_{max} = -0.5 + 18.5$$

$$\boxed{G_{max} = 18 \text{ dB}}$$

$$\text{Y COMO } G_{min} = G_{max} - 3 \text{ dB}$$

$$\boxed{G_{min} = 15 \text{ dB}}$$

$$b) \text{ si } \Delta\theta_{4dB} = 17.2$$

$$G(\theta) = G_{max} - 3 \left(\frac{2\theta}{\Delta\theta_{3dB}} \right)$$

$$\Delta\theta_{3dB} = \sqrt{\frac{3}{G_{max} - G(\theta)}} (2\theta)$$

$$\Delta\theta_{3dB} = \left(\sqrt{\frac{3}{4}} \right) (17.2) = 14.9^\circ$$

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{60}{14.9} = 4$$

$$\boxed{\frac{D}{\lambda} = 4}$$

DE GRÁFICAS:

$$\boxed{\frac{L}{\lambda} = 5}$$

$$\boxed{Dir = 19.5 \text{ dB}}$$

$$\boxed{G_{max} = 19 \text{ dB}}$$

$$\boxed{G_{min} = G_{max} - 4 \text{ dB} = 15 \text{ dB}}$$

$$c) \text{ si } \Delta\theta_{5dB} = 17.2^\circ$$

$$\Delta\theta_{3dB} = \left(\sqrt{\frac{3}{5}} \right) (17.2) = 13.3^\circ$$

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{60}{13.3} = 4.5$$

$$\boxed{\frac{D}{\lambda} = 4.5}$$

$$\boxed{\frac{L}{\lambda} = 7}$$

$$\boxed{Dir = 20.5 \text{ dB}}$$

$$\boxed{G_{max} = 20 \text{ dB}}$$

$$\boxed{G_{min} = G_{max} - 5 \text{ dB} = 15 \text{ dB}}$$

se van a utilizar las dimensiones de la corneta para - - -
 $f = 6 \text{ GHz}$ y de este modo el funcionamiento a 4 GHz será me
 jor porque el haz se ensancha al disminuir la frecuencia.

a) si $\Delta\theta_{3dB} = 17.2^\circ$ (a 6 GHz)

$$\frac{D}{\lambda_2} = 3.5 \left(\frac{4}{6} \right) = 2.33$$

$$\frac{L}{\lambda_2} = 4 \left(\frac{4}{6} \right) = 2.66$$

DE LA GRAFICA $D_{ir} = 16 \text{ dB}$

$$G_{max} = 15.5 \text{ dB}$$

$$G_{min} = G_{max} - 3 \left(\frac{2\theta}{\Delta\theta_{3dB}} \right)^2$$

a 4 GHz : $\Delta\theta_{3dB} = \frac{60\lambda}{D} = \frac{60}{D/\lambda} = \frac{60}{2.33} = 25.7^\circ$

$$G_{min} = 15.5 - 3 \left(\frac{17.2}{25.7} \right)^2$$

$$G_{min} = 14.2 \text{ dB}$$

b) si $\Delta\theta_{4dB} = 17.2^\circ$ (a 6 GHz)

$$\Delta\theta_{3dB} = 14.9^\circ$$
 (a 6 GHz)

$$\frac{D}{\lambda_2} = 4 \left(\frac{4}{6} \right) = 2.6$$

$$\frac{L}{\lambda_2} = 5 \left(\frac{4}{6} \right) = 3.3$$

DE LA GRAFICA $D_{ir} = 16.5 \text{ dB}$

$$G_{max} = 16 \text{ dB}$$

A 4 GHz : $\Delta\theta_{3dB} = \frac{60}{D/\lambda} = \frac{60}{2.6} = 22.6^\circ$

$$G_{min} = 16 - 3 \left(\frac{17.2}{22.6} \right)^2$$

$$G_{min} = 14.3 \text{ dB}$$

c) si $\Delta\theta_{5 \text{ dB}} = 17.2^\circ$ (a 6 GHz)

$$\frac{D}{\lambda_2} = 4.5 \left(\frac{4}{6} \right) = 3$$

$$\frac{L}{\lambda_2} = 7 \left(\frac{4}{6} \right) = 4.66$$

DE LA GRAFICA $D_{17} = 18.5 \text{ dB}$

$$G_{max} = 18 \text{ dB}$$

A 4 GHz $\Delta\theta_{3 \text{ dB}} = \frac{60}{3} = 20^\circ$

$$G_{min} = 18 - 3 \left(\frac{17.2}{20} \right)^2$$

$$G_{min} = 15.8 \text{ dB}$$

Nivel relativo a $\Delta\theta = 17.2^\circ$ para 6 GHz	4 GHz G_{min}/G_{max}	6 GHz G_{min}/G_{max}	D cm	L cm
- 3 dB	14.2/15.5	15/18	17.5	20
- 4 dB	14.3/16	15/19	20	25
- 5 dB	15.8/18	15/20	22.5	35

Nos detendremos en este último cálculo porque si seguimos adelante las dimensiones de la corneta se harán demasiado grandes.

Repetidor No. 2 :

La parábola puede tener un diámetro máximo de 2 mts. y debe estar dirigida a la región Antillas-Guyana con :

$$\eta = 55\% = -2.6 \text{ dB}$$

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = \frac{70\lambda}{D}$$

$$D_{ir} = 20 \log \frac{\pi D}{\lambda}$$

Si se toma el diámetro máximo de dos metros para conseguir la máxima ganancia entonces :

$$D = 2 \text{ m} \rightarrow D_{ir} = 38.5 \text{ dB}$$

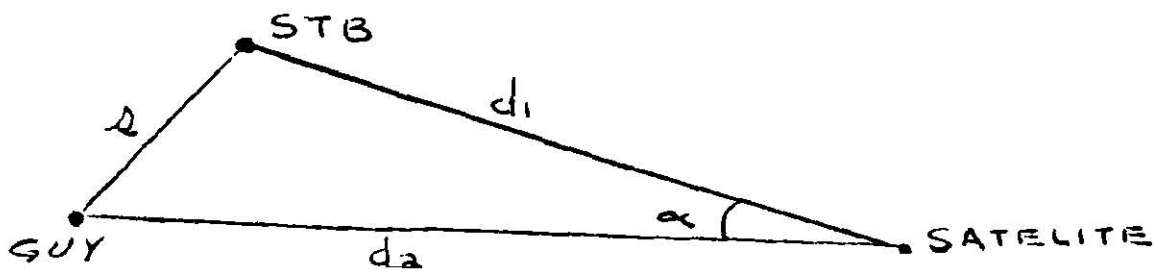
$$G_{\text{max}} = -2.6 + 38.5 = 35.9 \text{ dB}$$

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = \frac{70(7.5 \times 10^2)}{2}$$

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = 2.6^\circ$$

Ahora nos falta verificar el haz para ver si es lo bastante amplio como para cubrir la zona deseada.

Debemos calcular por lo tanto la máxima separación angular entre las estaciones consideradas. Ya que todas las estaciones están prácticamente alineadas sobre un mismo eje -- Norte-Sur; solo nos resta encontrar la separación entre la estación que esté más al norte y la que esté más al Sur, - es decir, entre Saint-Barthélémy y la Guyana.



d_1 y d_2 ya están calculadas.

Para conocer "s" vamos a trasladar a coordenadas cartesianas la posición de las estaciones y luego aplicamos la fórmula de la distancia.

$$x = R \cos \text{lat} \sin \text{long}$$

$$y = R \cos \text{lat} \cos \text{long}$$

$$z = R \sin \text{lat}$$

$$\begin{array}{l} \text{STB} \\ x_1 = 5400 \text{ Km.} \end{array}$$

$$y_1 = 2771 \text{ Km.}$$

$$z_1 = 1962 \text{ Km.}$$

$$\begin{array}{l} \text{GUY} \\ x_2 = 5028 \text{ Km.} \end{array}$$

$$y_2 = 3886 \text{ Km.}$$

$$z_2 = 548 \text{ Km.}$$

$$s = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

$$s = \sqrt{(5028 - 5400)^2 + (3886 - 2771)^2 + (548 - 1962)^2}$$

$$s = 1838.75 \text{ Km.}$$

VOLVIENDO AL TRIANGULO DE LA HOJA ANTERIOR:

$$s^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos \alpha$$

$$\alpha = \text{Arc cos} \frac{d_1^2 + d_2^2 - s^2}{2d_1d_2}$$

$$\alpha = \text{Arc cos} \frac{(40114)^2 + (38908)^2 - (1839)^2}{2(40114)(38908)}$$

$$\alpha = 2^\circ$$

CON LO QUE LA ANTENA CUBRE BIEN LA ZONA DESEADA CON UNA G_{max} DE 35.9 dB.

$$G_{min} = G_{max} - 3 \left(\frac{\Delta\theta}{\Delta\theta_{dB}} \right)^2$$

$$G_{min} = 35.9 - 3 \left(\frac{2}{2.6} \right)^2$$

$$G_{min} = 34.1 \text{ dB}$$

$$\frac{G}{T}_{SAT} = ?$$

FACTOR DE RUIDO = $F = ?$

VAMOS A SUPONER UN FACTOR DE RUIDO $F = 3 \text{ dB}$
YÁ QUE ESTE ES UN VALOR TÍPICO PARA UN
SATELITE.

$$F = 1 + \frac{T_e}{300}$$

$$F = 3 \text{ dB} = 2 \quad T_e = 300^\circ\text{K}$$

$$T_{TOTAL} = 300^\circ\text{K} + 300^\circ\text{K} = 600^\circ\text{K}$$

↑
TEMPERATURA DEBIDO
A LA TIERRA

UTILIZAREMOS UNA TEMPERATURA DE 1000°K

PARA TENER UN MARGEN DE SEGURIDAD

LA G_{SAT} EN LA RECEPCIÓN ES DE 15 dB

$$\frac{G}{T} = 15 \text{ dB} - (1000^\circ\text{K}) \text{ dB}$$

$$\boxed{\frac{G}{T} = -15 \text{ dB}}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = \text{PIRE}_{\text{sat}} - \text{ATD} + \left(\frac{G}{T}\right)_{\text{E.T.}}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = \text{PIRE}_{\text{sat}} - 196 + 40.7$$

↑ ESTACION STANDARD "A"

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = \text{PIRE}_{\text{sat}} - 155.3$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = \text{PIRE}_{\text{E.T.}} - \text{ATA} + \left(\frac{G}{T}\right)_{\text{SAT.}}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = \text{PIRE}_{\text{E.T.}} - 200 - 15$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = \text{PIRE}_{\text{E.T.}} - 215$$

POR OTRA PARTE TENEMOS:

PARA LAS PORTADORAS DE 252 CANALES

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{TOTAL}} = -141.7 \frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}}$$

Y TAMBIEN:

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a^{-1} + \left(\frac{C}{T}\right)_d^{-1} = \left(\frac{C}{T}\right)_T^{-1}$$

SI SE DISPONE DE UN TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS

DE 10 WATTS LE CORRESPONDERAN 2 WATTS A CADA CANAL (MULTIPLEX)

$$P = 2 \text{ WATTS} = 3 \text{ dBw}$$

SUPONGAMOS QUE LAS PERDIDAS SON DE 1.5 dB

$$PIRE_{SAT} = 3 \text{ dBw} - 1.5 \text{ dB} + 15.8 \text{ dB}$$

$$PIRE_{SAT} = 17.3 \text{ dBw}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_J = PIRE_{SAT} - 155.3 = 17.3 - 155.3$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = -138 \text{ dBw}/\text{°K}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a^{-1} = \left(\frac{C}{T}\right)_T^{-1} - \left(\frac{C}{T}\right)_d^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_T = -141.7 \text{ dB} = 6.76 \times 10^{-15}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = -138 \text{ dB} = 1.58 \times 10^{-14}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a^{-1} = \left(6.76 \times 10^{-15}\right)^{-1} - \left(1.58 \times 10^{-14}\right)^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = -139.3 \text{ dBw}/\text{°K}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = PIRE_{E.T.} - 215$$

$$PIRE_{E.T.} = 215 - 139.3$$

$$PIRE_{E.T.} = 75.7 \text{ dBw}$$

REPETIDOR # 2

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{E.T.} = 31.7 \quad (\text{STANDARD "B"})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_J = PIRE_{SAT} - ATD + 31.7$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_J = PIRE_{SAT} - 164.3$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{T 252} = -141.7 \text{ dBW/0K}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{T 96} = -146.3 \text{ dBW/0K}$$

PODEMOS OBSERVAR QUE LA DIFERENCIA ENTRE LAS PORTADORAS DE 252 Y 96 ES DE 4.6 dB Y COMO LA POTENCIA DEL TWT ES DE 10 WATTS ENTONCES:

$$3X + 4Y = 10$$

X = POTENCIA DE PORTADORAS DE 252 CANALES

Y = POTENCIA DE PORTADORAS DE 96 CANALES

$$\frac{X}{Y} = 10^{\frac{4.6}{10}} = 2.88$$

$$X = 2.88 Y$$

$$3(2.88 Y) + 4Y = 10$$

$$Y = 0.79 = -1 \text{ dBw}$$

$$X = (2.88)(0.79)$$

$$X = 2.28 = 3.6 \text{ dBw}$$

$$PIRE_{sat} = 3.6 - 1.5 + 34.1$$

PERDIJOS \uparrow

\uparrow GANANCIA DE LA ANTENA

$$PIRE_{sat} = 36.2 \text{ dBw}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{d_{252}} = PIRE_{sat} - ATD + \left(\frac{G}{T}\right)_{E.T.}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{d_{252}} = 36.2 - 164.3$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{d_{252}} = -128.1 \text{ dBw/°K}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{a_{252}}^{-1} = \left(\frac{C}{T}\right)_{T_{252}}^{-1} - \left(\frac{C}{T}\right)_{d_{252}}^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{T_{252}} = -141.7 \text{ dB} = 6.76 \times 10^{-15}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{d_{252}} = -128.1 \text{ dB} = 1.55 \times 10^{-13}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{a_{252}}^{-1} = (6.76 \times 10^{-15})^{-1} - (1.55 \times 10^{-13})^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{a_{252}} = -141.5 \text{ dBw/°K}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{a_{252}} = PIRE_{E.T.} - ATA + \left(\frac{G}{T}\right)_{sat}$$

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{sat} = -15 \text{ dBw/°K}$$

$$PIRE_{E.T.} = \left(\frac{C}{T}\right)_a + ATA - \left(\frac{G}{T}\right)_{sat} = \left(\frac{C}{T}\right)_a + 215$$

$$PIRE_{E.T.} = -141.5 + 215$$

$$PIRE_{E.T.} = 73.5 \text{ dBw}$$

RESUMIENDO:

PARA 252 CANALES

$$PIRE_{E.T.} = 73.5 \text{ dBw}$$

$$PIRE_{sat} = 36.2 \text{ dBw}$$

PARA 96 CANALES:

RESTANDO 4.6 dB
CON RESPECTO A LAS
DE 252 CANALES:

$$PIRE_{E.T.} = 68.9 \text{ dBw}$$

$$PIRE_{sat} = 31.6 \text{ dBw}$$

VII) Diagrama de la carga útil.

REPETIDOR # 1

$$\text{GANANCIA DE LA ANTENA DE RECEPCION} = 15 \text{ dB}$$

$$\text{GANANCIA DE LA ANTENA DE TRANSMISION} = 15.8 \text{ dB}$$
$$30.8 \text{ dB}$$

$$\text{SEÑAL LLEGANDO AL SATELITE} = PIRE_{E.T.} - \text{ATA}$$
$$= 75.7 - 200 = -124.3 \text{ dBw}$$

$$PIRE_{sat} = 17.3$$

$$\text{GANANCIA DEL SATELITE} = 17.3 - (-124.3)$$

$$= 141.6 \text{ dB}$$

REPETIDOR # 2

GANANCIA DE LA ANTENA DE RECEPCION = 15 dB

GANANCIA DE LA ANTENA DE TRANSMISION = 34.1 dB
49.1 dB

SEÑAL LLEGANDO AL SATELITE = $P_{IRE_{E.T.}} - A_{TA}$
 $= 73.5 - 200 = -126.5 \text{ dBW}$

$P_{IRE_{sat}} = 36.2$

GANANCIA DEL SATELITE = $36.2 - (-126.5)$
 $= 162.7 \text{ dB}$

GANANCIA DEL REPETIDOR # 1

$141.6 - 30.8 = 110.8 \text{ dB.}$

Ganancia del satélite ↑ ↓ Ganancia de las antenas

GANANCIA DEL REPETIDOR # 2

$162.7 - 49.1 = 113.6 \text{ dB.}$

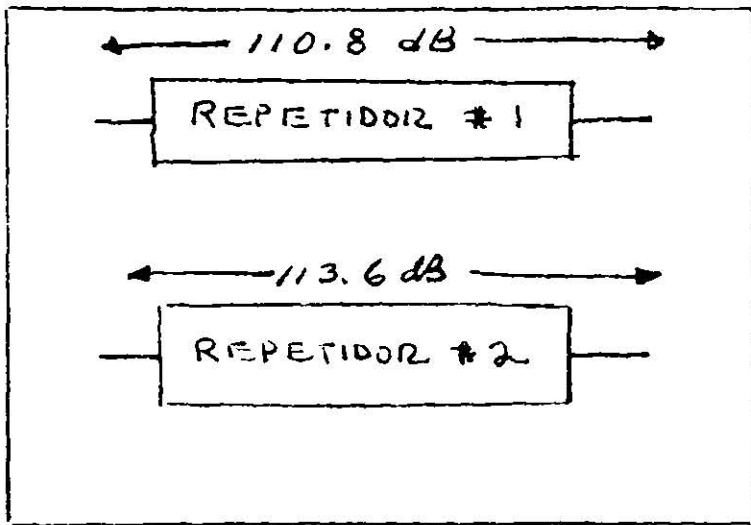


DIAGRAMA DE LA CARGA TTTII.

