

300617

5  
2 y



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA**  
incorporada a la UNAM

**“RECEPCION DE SEÑAL DE TELEVISION VIA SATELITE,  
POR MEDIO DE UN LENTE DE FRESNEL”**

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el título de  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICO**

**p r e s e n t a :**

**CESAR RAYMUNDO CANTU CAMARENA**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1987



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# INDICE

## CAPITULO I

### INTRODUCCION.

- I.1 LAS COMUNICACIONES POR SATELITE.
- I.2 CONCEPTOS INDISPENSABLES DE ASTRONOMIA,  
ESFERA CELESTIAL Y ORBITA.
- I.3 SISTEMA DE SATELITES MORELOS.  
SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES.  
    Antenas de comunicaciones.  
    Reflector parabólico.  
    Arreglo planar.  
SUBSISTEMA DE TELEMETRIA, RASTREO Y COMANDO.  
SUBSISTEMA DE CONTROL DE ORIENTACION.  
SUBSISTEMA DE PROPULSION.  
SUBSISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA.  
SUBSISTEMA DE CONTROL TERMICO.  
LANZAMIENTO Y COLOCACION EN ORBITA.  
CENTRO DE CONTROL DEL SISTEMA DE SATELITES MORELOS.
- I.4 LISTA DE ESTACIONES ESPACIALES GEOESTACIONARIAS  
CON FRECUENCIAS DE OPERACION EN BANDA C Y Ku.
- I.5 LISTA DE SATELITES LANZADOS ENTRE 1977 Y 1984.
- I.6 MAPAS DE PISADA DE LOS SATELITES.

## CAPITULO II

### DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.

#### II.1 ALIMENTADORES.

PATRON DE ILUMINACION Y RELACIONES f/D.

DISEÑO DE ALIMENTADORES.

SELECCION DE LA POLARIDAD.

Rotores mecánicos.  
Dispositivos de ferrita.  
Diodos PIN.  
Alimentadores dobles.

CONTROL DE POLARIDAD.

POLARIZACION CIRCULAR.

#### II.2 AMPLIFICADOR DE BAJO NIVEL DE RUIDO (LNA).

TEMPERATURA Y CIFRA DE RUIDO.

DISEÑO Y OPERACION DE LOS LNA.

EVALUACION DEL RENDIMIENTO DEL LNA.

Temperatura de ruido.  
Ganancia.

LNA, LNB Y LNC.

CONEXIONES ELECTRICAS.

#### II.3 CONVERTIDORES DE BAJADA.

METODOS DE CONVERSION DE BAJADA.

Conversión descendente individual.  
Conversión descendente doble.  
Conversión descendente en bloque.

#### II.4 RECEPTORES DE SATELITE.

FUNCIONAMIENTO DE LOS RECEPTORES.

Detector / demodulador.  
Procesadores de Video y de Audio.  
Modulador.

SELECCION DE CANALES.

EVALUACION DEL RENDIMIENTO DEL RECEPTOR.

Amplitud de banda de video.  
Umbral del receptor.

CONEXIONES ELECTRICAS.

CONTROLES Y REGULACIONES.

II.5 CABLE COAXIAL.

TIPOS DE CABLES COAXIAL.

EVALUACION DEL RENDIMIENTO Y USO DE LOS CABLES.

Impedancia caracteristica.  
Pérdidas de señal.

HUMEDAD Y ENVEJECIMIENTO.

CAPITULO III

CIRCUITO DEL RECEPTOR.

III.1 DIAGRAMA DE BLOQUE.

III.2 FUENTE DE ALIMENTACION.

III.3 CIRCUITO DE ENTRADA DEL RECEPTO  
Y CIRCUITO LIMITADOR.

III.4 CIRCUITO DE MEDICION DE SEÑAL Y CIRCUITO  
DETECTOR DE CUADRATURA.

III.5 CIRCUITO DE VIDEO.

III.6 CIRCUITO DE AUDIO.

III.7 CIRCUITO DE POLARIDAD.

CAPITULO IV

SISTEMA DE FRESNEL.

IV.1 INTRODUCCION.

IV.2 PRINCIPIOS OPTICOS RELACIONADOS.

PRINCIPIO DE HUYGENS.

PRINCIPIO DE HUYGENS FRESNEL.

IV.3 ZONAS DE FRESNEL.

IV.4 DIFRACCION DE FRESNEL POR OBSTACULOS SIMPLES.

DIFRACCION POR UN ORIFICIO CIRCULAR.

DIFRACCION POR UN DISCO CIRCULAR.

IV.5 DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL LENTE DE FRESNEL.

LENTE DE FRESNEL.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL LENTE DE FRESNEL.

CALCULO DE LA DISTANCIA FOCAL.

CAPITULO V

CONCLUSIONES.

APENDICE

GLOSARIO.

BIBLIOGRAFIA.

**I INTRODUCCION**

---

## 1.1 LAS COMUNICACIONES POR SATELITE.

---

En 1945, el escritor británico de ciencia ficción Arthur C. Clarke predijo las enormes posibilidades de tener estaciones de comunicaciones estacionarias de relevo en el cielo. En un artículo ignorado por mucho tiempo, Clarke propuso el uso revolucionario de cohetes espaciales para dejar satélites artificiales en una órbita de casi 36 000 Kms sobre la superficie terrestre. A esta altura el satélite parece sin movimiento en relación a la Tierra.

En Octubre de 1957 los satélites se convirtieron en una realidad cuando el satélite soviético Sputnik I fue lanzado y operado con éxito por 21 días. Poco después, los Estados Unidos lanzaron el Explorer I, que transmitió información exitosamente por casi cinco meses. La factibilidad de los satélites geosincrónicos fue finalmente verificada en Julio de 1963 cuando la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) lanzó el Syncom II (previamente se había lanzado el Syncom I que no había logrado alcanzar su órbita geosincrónica).

Desde entonces los satélites de comunicaciones han experimentado un gran crecimiento. Están en órbita más de 90 satélites de comunicaciones, y muchos más están en planes o construcción. Como resultado la órbita geostacionaria está muy congestionada, y las ranuras orbitales disponibles se agotan rápidamente.

La gran mayoría de estos satélites operan en rangos de frecuencia entre 3.9 y 6.2 GHz, conocida como banda C, que se usa también en sistemas terrestres de microondas. Por esto, la interferencia de otros satélites y los sistemas terrestres existentes se están convirtiendo en un problema significativo. Además, el ancho de banda disponible, y por tanto la capacidad potencial de comunicaciones, es inadecuado para servir al tráfico futuro. Por esta razón, es necesario encontrar medios para lograr un uso más eficiente del recurso órbita-espectro.

Una solución aparente para los problemas de interferencia y saturación espectral es usar una banda de frecuencia más alta para la comunicación vía satélite, como la banda Ku (11.7 a 14.5 GHz) y la banda Ka (17.0 a 36.0 GHz). Estas bandas tienen interferencia terrestre despreciable y permiten un espaciamiento orbital mayor, pero para esto se requiere mayor tecnología. Un problema es que al tener una longitud de onda comparable con las gotas de lluvia, sufrirían una atenuación cuando esto se presente. Estas dificultades no impiden el uso de frecuencias más altas. Actualmente la transmisión de televisión se realiza en ocasiones en banda Ku.



La capacidad de comunicaciones a través del satélite se limita tanto por la disponibilidad de la potencia como por el ancho de banda de radio frecuencia, y continuamente se investigan las posibilidades de aprovecharlo.

Se habla de accesos múltiple para lograr esta mayor y mejor utilización. Puede realizarse de dos formas:

a) Acceso múltiple por división de frecuencias (FDMA)  
al igual que en los sistemas convencionales de radioenlace los canales se acomodan para formar la banda de base. En cada estación se modula una portadora que es del uso exclusivo de esa estación. Dicha información ocupa una posición fija dentro del espectro disponible.

b) Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)  
En este sistema todas las estaciones usan una misma frecuencia de portadora, asignándose a cada una de ellas un intervalo de tiempo en el cual se transmiten. Las señales se transmiten periódicamente en forma de tramas digitales y cada estación receptora extrae de las tramas la información que le corresponde. Se requiere una correcta sincronización de las tramas, razón por la cual hasta el presente esta etapa está en desarrollo.

Otra parte de la solución es la reutilización de frecuencias. La evolución de la tecnología permite que un mismo satélite utilice la misma banda más de una vez. Por un lado, la frecuencias se reutilizan dos veces y se discriminan por medio de técnicas de polarización ortogonal. Por otro lado, cada frecuencia se reutiliza al usar diferentes haces, ya sea haces de cobertura hemisférica, zonal y pincel.

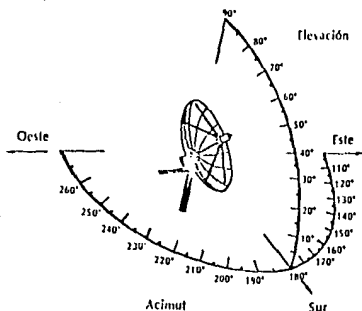
## I.2 CONCEPTOS INDISPENSABLES DE ASTRONOMIA.

### ESFERA CELESTIAL Y ORBITA,

Cuando se observa el cielo, los objetos astronómicos parecen descansar en una superficie de forma de domo con el observador en el centro. Este domo forma una media esfera, conocida como esfera celestrial. Y su conocimiento es de fundamental importancia al describir las posiciones astronómicas.

Aún cuando la luna, los planetas y las estrellas están en realidad a distancias muy diferentes de nosotros, aún el más cercano de los cuerpos está tan lejano que se pierde el sentido de perspectiva. La dirección de una estrella no cambia cuando el observador va de un lugar a otro de la tierra, a menos que se cuente con instrumentos de gran precisión. Existen tres movimientos que determinan la apariencia de la esfera celestrial, que nosotros percibimos como tiempo: rotación, traslación y la precesión. Este último es un movimiento cónico del eje terrestre, con una duración de 26 000 años, por lo que no es muy trascendente.

Para representar esta esfera existen diferentes sistemas de coordenadas. El más usual en el campo de satélites es el sistema del horizonte ó de elevación-acimut. En este sistema la distancia angular sobre el horizonte, conocida como elevación, se combina con el acimut, distancia angular a lo largo del horizonte, para apuntar directamente a un punto deseado. Usualmente el acimut se mide desde el punto sur hacia el oeste (ver figura I.2.1). El punto directamente sobre la cabeza, a una elevación de 90 grados, es el zenit, mientras que el punto opuesto, directamente bajo el observador es el nadir. Un círculo de referencia muy importante es el meridiano, que pasa sobre el zenit y sobre el norte y sur del horizonte.



(figura I.2.1)

A continuación se muestra una tabla de comparación entre este sistema y el sistema de coordenadas geográficas, usado para la ubicación de puntos sobre la esfera terrestre.

#### COMPARACION DE LOS SISTEMAS DE COORDENADAS

Característica	Sistema de Elevación-Acimut	Sistema Geográfico
Círculo fundamental de referencia	horizonte	ecuador
Polos	zenit, nadir	norte, sur
Distancia angular fundamental del círculo fundamental	elevación	latitud
Distancia angular fundamental alrededor del círculo fundamental	acimut	longitud
Punto de referencia en el círculo fundamental	sur del horizonte	cruce con el meridiano de Greenwich

(tabla I.2.1)

Se define como órbita al patrón que sigue un cuerpo en el espacio. Las órbitas descritas por estos son elípticas y en función de ellas se definen otros dos conceptos importantes. Al ser elípticas las órbitas de rotación alrededor de la tierra, existe un punto en el que el cuerpo se encuentra a su máxima distancia de la tierra, que se conoce como apogeo, y un punto en que la distancia es mínima, denominado perigeo. De esta misma manera, las órbitas descritas alrededor de la tierra se denominan afelio y perielio. Al hablar de satélites, se usan órbitas elípticas de transferencia, de las que se hablará luego, en que se emplean los términos apogeo y perigeo.

El uso de los satélites de comunicación es en órbitas geosincrónicas, que son órbitas circulares a una altura de casi 36 000 Kms. En esta órbita, el satélite se mantiene a una velocidad tal que para un observador terrestre parece estático, por lo que orientando a un solo punto la estación terrena se puede mantener una comunicación continua. De esta forma, puede usarse el término posición orbital, en que se determina la posición de un satélite respecto a la tierra sobre la órbita.

Al final de este capítulo se anexa un programa en BASIC para encontrar los ángulos acimutal y de elevación de cualquier satélite visible desde el continente americano.

---

### 1.3 SISTEMA DE SATELITES MORELOS.

---

El Sistema de Satélites Morelos es un proyecto del Gobierno Federal que permitió ampliar la infraestructura de las telecomunicaciones y además satisfacer las necesidades de servicio del país garantizando su autonomía e independencia en este ramo. Este sistema consta de dos segmentos fundamentales: el espacial y el terrestre. Se define como segmento espacial al conjunto de estaciones ubicadas en el espacio ó satélites de comunicaciones, el segmento terrestre lo constituye el conjunto de estaciones de comunicaciones que se enlazan entre sí por medio del segmento espacial y que están ubicadas en la superficie del territorio Mexicano, este proyecto permite también cubrir aquellas partes del territorio Nacional que por su accidentada orografía no habían podido recibir los servicios necesarios de telecomunicaciones.

Cada satélite del sistema Morelos mide 2.16 m. de diámetro y 6.60 m. de altura, tienen una masa inicial en órbita de 666 kg. de los cuales 145 kgs. son de hidracina (combustible), y darán servicio durante 9 años, aproximadamente. En cada caso, la fuente primaria de alimentación de energía eléctrica requerida para su operación consta de un arreglo de celdas solares, montadas sobre el cuerpo cilíndrico del satélite, que generan 940 watts de corriente directa. Además cuentan con baterías de almacenamiento capaces de generar 830 watts para casos de eclipse ó de escasa iluminación de las celdas solares.

Los dos segmentos espaciales están colocados en la órbita geostacionaria sobre el plano del Ecuador a una altura aproximadamente de 36 mil kms. El equipo adquirido a la empresa Hughes Aircraft incluye los dos satélites, el equipo e instalación de una estación de rastreo, telemetría y comando, servicio de transferencia de órbita y entrenamiento de personal.

El responsable del lanzamiento y colocación de los dos satélites fué la agencia Nacional Aeronautic and Space Administration (NASA) de los Estados Unidos, y la empresa COMSAT de supervisar y controlar la calidad y operatividad de los equipos adquiridos a la citada empresa.

Cada uno de los satélites está formado por diversos subsistemas tales como el de comunicaciones, telemetría, rastreo y comando, control de orientación, propulsión, el de energía eléctrica y el térmico. Desde el punto de vista de telecomunicaciones el subsistema más importante es el de comunicaciones, el resto de los subsistemas son básicamente para el control y supervisión del satélite.

## SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES.

Los dos parámetros más importantes de cada satélite desde el punto de vista de comunicaciones son la potencia de transmisión y el ancho de banda de sus transpondedores.

El subsistema de comunicaciones de microondas consiste de una sección de antena y 22 transpondedores (canales repetidores) que operan tanto en la banda C de 4 a 6 Ghz como en la banda Ku de 12 a 14 Ghz. Los transpondedores de la banda C utilizan tubos de onda progresiva TWT (Travelling Wave Tube) de 7 a 10.5 watts, que agregados a la alta ganancia producida por la antena parabólica del satélite, producen una señal de transmisión con intensidad efectiva de 36 y 39 dBW, respectivamente en polarizaciones cruzadas. Los transpondedores de la banda Ku emplean amplificadores TWT de 19.4 watts, considerando la ganancia de la antena a esa frecuencia, proveen señales con intensidades de 44.3 dBW.

En la banda C, cada satélite tiene 12 transpondedores de 36 Mhz de ancho de banda y seis de 72 Mhz, en la banda Ku cada uno tiene cuatro transpondedores de 108 Mhz. Un transpondedor de 72 Mhz tiene, respectivamente el doble ó triple de la capacidad de uno de 36 Mhz.

El ancho de banda de un transpondedor y la potencia de transmisión del mismo determinan la cantidad de información que puede enviarse por él con calidad aceptable. En general, un transpondedor de 36 Mhz tiene capacidad para hasta mil canales de telefonía, 1 ó 2 canales de televisión, ó la transmisión de datos de hasta 60 millones de bits por segundo.

Las señales de 6 Ghz se reciben en el reflector parabólico y se convierte a 4 Ghz en dos de los cuatro receptores redundantes. La ganancia de cada canal se selecciona en un atenuador de control remoto y los canales se enrutan a los TWTs por conmutadores redundantes.

Los multiplexores de salida combinan los diferentes canales y los enruta para la transmisión a través de la antena receptora. En la tabla 1.3.1 se presentan las principales características del subsistema de comunicaciones.

Para el caso de las señales de 14 Ghz, éstas se reciben en el arreglo planar y se convierten a 12 Ghz en uno de los dos receptores redundantes. Para la transmisión de esta banda se utiliza también la antena parabólica.

Descripción	Características	
	Banda C	Banda Ku
Número de canales.	12 (banda angosta) 6 (banda ancha)	4
Ancho de banda de los canales. (Mhz)	36 (banda angosta) 72 (banda ancha)	108
Espaciamiento del canal. (Mhz.)	40 (banda angosta) 80 (banda ancha)	124
Bandas de frecuencia :		
Recepción (Ghz).	5.925 a 6.425	14.0 a 14.5
Transmisión (Ghz).	3.7 a 4.2	11.7 a 12.2
Antenas :		
Recepción.	71" de diámetro del reflector	arreglo planar
Transmisión.	71" de diámetro del reflector	
Control de ganancia de canal.	0, 3, 6, 9 dB direccionable	

(tabla 1.3.1)

### Antenas de comunicaciones.

El subsistema de antenas para comunicaciones es en realidad un arreglo de varias antenas. Se forman 6 diferentes haces de comunicaciones, además de 3 haces para rastreo.

El corazón del subsistema de comunicaciones es un reflector parabólico dual ensamblado y localizado en el extremo de la plataforma no giratoria y apuntando nominalmente hacia el centro de México.

El reflector dual se ensambla con sus respectivos alimentadores formando 5 de los 6 haces de comunicaciones. Los 5 haces son ; La transmisión de la banda C con polarización vertical y horizontal, recepción de la banda C con polarización vertical y horizontal, y la transmisión de la banda Ku con polarización horizontal. El sexto haz está relacionado con la recepción de la banda Ku en el arreglo planar.

### Reflector parabólico.

El reflector parabólico se utiliza para la transmisión y

recepción de las señales de banda C y para la transmisión de las de banda Ku. Estas antenas también pueden utilizarse para enlaces de radio-frecuencia para el subsistema de telemetría, comando y rango, además de recibir señales de radiofaro (rastreo) para los subsistemas de control de orientación.

El reuso de frecuencia en la banda C se logra por medio de haces polarizados ortogonalmente, por consiguiente, el subsistema de antena recibe y transmite tanto en polarización vertical como en polarización horizontal. Se utilizan dos superficies reflectoras (una para cada polarización), las cuales forman una sola estructura física.

#### Arreglo planar.

La estructura de arreglo planar es la primera de su clase que se usa en un satélite comercial. Con este arreglo se opera la parte de recepción de señales de banda Ku en el satélite. El arreglo consiste de 32 segmentos planares idénticos. Se localiza directamente al frente de los radiadores que alimentan al reflector parabólico de 71 pulgadas de diámetro.

#### SUBSISTEMA DE TELEMETRÍA, RASTREO Y COMANDO.

El subsistema de telemetría, rastreo y comando provee la capacidad de comando desde Tierra así como el adecuado control y monitoreo del satélite tanto en su estado interno como en su posición orbital.

El subsistema también está provisto de antenas de comunicaciones de 2 ejes que transmiten información al subsistema de control de orientación al rastrear la señal de comando en el enlace de subida.

Este subsistema contiene receptores de rastreo y comando y transmisores de telemetría en banda C, los cuales se utilizan tanto en la órbita de transferencia como en la órbita estacionaria. La antena omnidireccional se utiliza para la órbita de transferencia y como respaldo en la órbita de operaciones. En la órbita de operaciones se ocupa la antena de comunicaciones.

#### SUBSISTEMA DE CONTROL DE ORIENTACION.

El subsistema de control de orientación provee el control de velocidad, control de giro y estabilización, y control de apuntamiento de la antena.

La información para determinar la orientación del satélite desde la Tierra se proporciona a través de los sensores de Sol y

de la Tierra durante las órbitas de transferencia y deriva. Las mediciones de orientación en estacionamiento se obtienen, para mayor precisión, de la historia del movimiento de rastreo del radiofaro norte-sur de la antena.

#### SUBSISTEMA DE PROPULSION.

El subsistema de control de reacción ejecuta las maniobras relacionadas con la velocidad y orientación del satélite en respuesta a los comandos emitidos.

Cuando se envía un comando, la válvula del propulsor se abre y la hidracina alimenta por presión al propulsor, el cual catalíticamente acciona a la hidracina para producir el empuje, el combustible está contenido en cuatro tanques cono esféricos.

Existen dos propulsores radiales y dos axiales y su aplicación dependerá del movimiento que se le desee imprimir al satélite.

#### SUBSISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA.

El subsistema de energía eléctrica provee tanto la potencia primaria como la secundaria. La potencia primaria se provee durante operaciones de luz solar a través de las celdas solares montadas en los paneles solares superior e inferior. La potencia secundaria durante lanzamiento y eclipses se obtiene de 2 baterías de Níquel-Cadmio.

#### SUBSISTEMA DE CONTROL TERMICO.

El control de temperatura desde un punto de vista pasivo se logra a través del uso de diversos materiales de gran emitancia en algunas partes específicas de la nave. El uso de limitadores térmicos ayudan a la disipación térmica.

#### LANZAMIENTO Y COLOCACION EN ORBITA.

La puesta en órbita de los satélites Morelos siguió el mismo procedimiento que la mayoría de los satélites, con pequeñas variantes que dependen de la situación particular de cada satélite en su desempeño orbital.

Meses antes de sus fechas de lanzamiento, los satélites se llevaron al Centro Espacial Kennedy, Florida, EUA, donde se



sometieron a una serie final de pruebas electromecánicas para asegurar que todas sus partes estuvieran en óptimas condiciones. Después de pasar estas pruebas, se colocaron dentro del orbitador; en las fechas de lanzamiento (junio y noviembre de 1985 para los satélites Morelos I y Morelos II respectivamente), los motores principales del propulsor del vehículo de la NASA se encendieron y así se inició el levantamiento del orbitador con su valiosa carga. Un minuto después del despegue, se alcanzó una altura de 12 500 m. durante el minuto siguiente su velocidad se acercó a los 4 800 km por hora. Aproximadamente ocho minutos después de haber dejado la superficie de la Tierra, la nave viajaba a una velocidad de casi 28 000 km por hora, a 110 km. de altura y alejada 1 800 km. de la plataforma de lanzamiento.

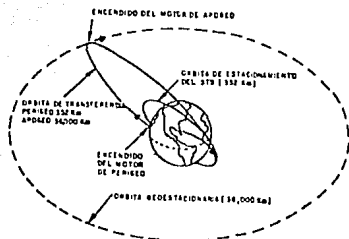
El orbitador llegó a su altura de operación (250 km.) después de unos 45 minutos contando desde el inicio del lanzamiento y giró durante varias horas alrededor de la Tierra en una órbita "de estancamiento", completando una vuelta cada 90 minutos.

El piloto del Lanzador Espacial orientó la nave adecuadamente para liberar el satélite de su compartimiento espacial, acción que debió efectuarse en punto preciso de tiempo y posición en el espacio.

Todos los satélites, llevan un motor de empuje de perigeo (PKM o Perigree Kick Motor), programado para encenderse precisamente 45 minutos después de desprenderse del orbitador, por lo que el orbitador debe alejarse a una distancia segura. Una vez que encendió el motor PKM, el satélite habrá viajado media vuelta al rededor de la Tierra. 85 seg. después de haberse encendido el motor de empuje colocó al satélite en una órbita elíptica de transferencia, el motor agotó su combustible y finalmente se separó del satélite.

La órbita de transferencia tuvo su apogeo a 36 800 km. de altura sobre la Tierra y su perigeo a 300 km. El satélite completaba una vuelta cada 10.7 horas y permaneció en esta órbita por tres días, aproximadamente, período en el cual el Centro de Control en Tierra reorientó al satélite para proceder al encendido del motor de apogeo. Este motor se encendió al pasar el satélite por el apogeo de la órbita y lo colocó en una nueva órbita de deriva, casi circular y muy parecida a la órbita final o geoestacionaria.

El satélite giró por varios días sobre su nueva órbita, en este tiempo, tanto la órbita como la orientación del cuerpo del satélite fueron ajustadas hasta obtener la órbita geoestacionaria (ver figura 1.3.1), en la cual completa una vuelta cada 24 horas y por lo que el satélite parece permanecer estático visto por un observador desde la Tierra.



(figura I.3.1)

En esta etapa se despliega la antena del satélite y se efectúan telemediciones para comprobar que todos los componentes estén en buenas condiciones de operación.

#### CENTRO DE CONTROL DEL SISTEMA DE SATELITES MORELOS.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha instalado en el Conjunto de Telecomunicaciones (CONTEL), ubicado en Iztapalapa, un Centro de Rastreo, Telemetría y Comando con objeto de mantener una comunicación permanente con los satélites mexicanos, recibiendo señales de telemetración de sensores a bordo de los mismos.

Las principales funciones del Centro de Control son:

- 1.- Procesar los datos de telemetría para determinar el estado interno de los satélites.
- 2.- Determinar la posición de los satélites a partir de los datos de rango (distancia, elevación y acimut) y datos generados por los sensores de los satélites.
- 3.- Calcular nuevos parámetros orbitales usando las computadoras.
- 4.- Enviar comandos al satélite para encender los cohetes impulsores y para configurar los equipos de los satélites.
- 5.- Obtener grabaciones y archivos que permitan establecer una historia detallada de la vida de ambos satélites.

El Centro cuenta con tres antenas (2 de 11 metros y otra de 12 metros) que reciben o transmiten información de o hacia los dos satélites. Cada antena de 11 metros está dedicada a un satélite ( Morelos I ó Morelos II ) una vez que éstos se encuentren en su posición estacionaria. La antena de 12 metros fué usada básicamente durante el tiempo que duró la puesta de los satélites en su lugar correspondiente en el arco orbital y actualmente se utiliza como soporte para las antenas de 11 metros como para funciones de telemetría y comando.

Las dos antenas de 11 metros tienen movimientos limitados, mientras que la de 12 metros es una antena más versátil, ya que posee un movimiento muy rápido en acimut y elevación que le permite lograr sus funciones durante la órbita de transferencia (la órbita que lleva al satélite desde el transbordador espacial hasta su posición geoestacionaria).

Para conocer el estado interno de los satélites se reciben cuatro flujos de información (telemetría, dos por cada satélite) que, después de ser procesados nos proporcionan valores en formato que pueden ser desplegados en pantalla para su análisis. Además de la información de telemetría se reciben los datos de rango que determinan con una exactitud de más ó menos 15 metros la distancia que existe entre la estación y el satélite.

Los flujos de telemetría contienen información analógica y digital que se utilizan para conocer respectivamente la salud y posición del satélite en algún instante dado. El procesamiento de la telemetría digital se lleva a cabo a través de las computadoras, mientras que el de la telemetría analógica es realizado a través de graficadores.

Cuando la información proveniente en las señales de telemetría indica que existe algún problema con la salud del satélite o cuando se determina que la posición es errónea, es necesario enviar al satélite cierto tipo de instrucciones para corregir el problema, siendo precisamente estas instrucciones las que se conocen como comandos.

Debido a que los satélites se encuentran sometidos a fuerzas de atracción del sol, de la luna y gravitacionales, éstos se desplazan ligeramente de su posición orbital y con los datos citados anteriormente se alimentan los programas de dinámica orbital, los cuales generan nuevos parámetros (orbitales) e indican las medidas necesarias para ajustar a su sitio en el arco ecuatorial.

Existen los comandos síncronos, los cuales son utilizados para corregir la posición del satélite ya que mediante ellos se controlan sus propulsores axiales y radiales. Los comandos asíncronos son utilizados para mantener la salud del satélite y a través de ellos se controlan los equipos electrónicos a bordo. Con los comandos síncronos se encienden, a control remoto los cohetes propulsores que posee cada satélite y debido a que es

preciso realizar estas acciones con frecuencia se tendrá un gasto de combustible (HIDRACINA).

El generador de comandos es el equipo encargado de generar este tipo de señales, pudiéndose operar en forma manual a través de la computadora.

El sistema de cómputo está formado principalmente por dos computadoras PDP 11-70, que procesan la telemetría digital misma que puede ser desplegada en pantalla (o registrada y archivada). En los computadores se cuenta con programas de biblioteca que son utilizados por el personal de dinámica orbital para hacer las estimaciones en órbita del satélite y así poder decidir el tipo de movimientos que se requieren y el momento en el que se deben de realizar. La computadora posee también la capacidad para controlar los generadores de comandos, los procesadores de tono de rango y los paneles de estado y control. Los dos computadores no se encuentran al mismo tiempo en línea, puesto que se utiliza como respaldo.

-----  
**1.4 LISTA DE ESTACIONES ESPACIALES GEOESTACIONARIAS  
 CON FRECUENCIAS DE OPERACION EN BANDA C Y Ku.**  
 -----

Posición orbital	Estación espacial	Bandas de frecuencias (GHz.)									
		<1	<3	4	6	7	11	12	14	>15	
170 W	STATSIONAR-10			4	6						
168 W	POTOK-3			4							
149 W	ATS-1	1		4	6						
145 W	ILHUICAHUA 4			4	6		11	12	14		
143 W	US SATCOM 5			4	6						
141 W	ILHUICAHUA 3			4	6		11	12	14		
139 W	US SATCOM 1-R			4	6						
136 W	US SATCOM 1			4	6						
134 W	USASAT 11D			4	6						
131 W	US SATCOM 3-R			4	6						
128 W	COMSTAR D1			4	6						
127 W	COMSTAR D4			4	6						
123.5 W	WESTAR-2			4	6						
123 W	WESTAR-5			4	6						
119 W	SPACENET 1			4	6			12	14		
119 W	US SATCOM 2			4	6						
116.5 W	MORELOS 11		3	4	6		11	12	14		
114 W	ANIK-A3			4	6						
114 W	TELESAT D2			4	6						
113.5 W	MORELOS 1		3	4	6		11	12	14		
109 W	ANIK-B1			4	6		11		14		
104.5 W	ANIK-D1			4	6						
99 W	WESTAR-1			4	6						
99 W	WESTAR-4			4	6						
95 W	COMSTAR D1			4	6						
95 W	TELSTAR 3A			4	6						
95 W	COMSTAR D2			4	6						
93.5 W	USASAT 12B			4	6						
91 W	ADV.WESTAR 1			4	6			12	14		
91 W	WESTAR-3			4	6						
88.5 W	USASAT 12D			4	6						
87 W	COMSTAR D3			4	6						
87 W	TELSTAR 3B			4	6						
86 W	USASAT 3C			4	6						
83 W	STSC-1			4	6						
83 W	USASAT 7B			4	6						
81 W	USASAT 7D			4	6		11		14		
79 W	USASAT 12A			4	6						
76 W	USASAT 12C			4	6						
75.4 W	SATCOL 1A			4	6						
75.4 W	SATCOL 1B			4	6						
75 W	SATCOL 2			4	6						
74 W	USASAT 7A			4	6						
72 W	USASAT 8B			4	6						
70 W	USASAT 7C			4				12	14		

Posición orbital	Estación espacial	Bandas de frecuencias (GHz.)												
		1	3	4	6	7	11	12	14	15				
70 W	SBTS A-1				4	6								
67 W	USASAT 8A				4	6								
65 W	SBTS A-2				4	6								
63 W	USASAT 14D				4	6								
62 W	USASAT 8B				4	6								
61 W	USASAT 14C				4	6								
60 W	INT 5A 300 E				4	6		11			14			
60 W	INT IBS 300 E				4	6		11		12	14			
58 W	USASAT 8C				4	6								
57 W	USASAT 13H				4	6								
56 W	INT 5A 304 E				4	6		11			14			
56 W	INT IBS 304 E				4	6		11		12	14			
55 W	USASAT 14B				4	6								
53 W	INT 5A CONT 1				4	6		11			14			
53 W	INT IBS 307 E				4	6		11		12	14			
53 W	INT 4 ATL 5				4	6								
53 W	INT 5 CONT 1				4	6		11			14			
50 W	INT IBS 310 E				4	6		11		12	14			
50 W	INT 5A CONT 2				4	6		11			14			
50 W	INT 5 CONT 2				4			11			14			
50 W	INT 4A ATL 2				4	6								
50 W	INT 4 ATL 1				4	6								
41 W	USASAT 14A				4	6								
40.5 W	INT 5A 319.5 E				4	6		11			14			
40.5 W	INT IBS 319.5 E				4	6		11		12	14			
34.5 W	INT 4 ATL 5				4	6								
34.5 W	INT 4A ATL 4				4	6								
34.5 W	INT MCS ATL E		3		4	6								
34.5 W	INT 5 ATL 4				4	6		11			14			
34.5 W	INT 5A ATL 3				4	6		11			14			
31 W	INT 5 ATL 6				4	6		11			14			
31 W	INT 5A ATL 6				4	6		11			14			
31 W	INT 4A ATL 4				4	6								
29.5 W	INT 4 ATL 2				4	6								
29.5 W	INT 4A ATL 3				4	6								
29.5 W	INT 5 ATL 3				4	6		11			14			
27.5 W	INT MCS ATL D		3		4	6								
27.5 W	INT 5 ATL 3				4	6		11			14			
27.5 W	INT 5A ATL 2				4	6		11			14			
27.5 W	INT 6 ATL 2				4	6		11			14			
26 W	INM. ACR-CENTR		3		4	6								
26 W	MARECS ATL 1	1	3		4	6								
25 W	STATSIONAR-8				4	6								
24.5 W	INT MCS ATL D		3		4	6								
24.5 W	INT 5A ATL 1				4	6		11			14			
24.5 W	INT 5 ATL 1				4	6		11			14			
24.5 W	INT 4A ATL 1				4	6								
24.5 W	INT 6 ATL 1				4	6		11			14			
24 W	PROGNOZ-1		3		4									
23 W	MARECS ATL 2	1	3		4	6								
21.5 W	INT 5A 338.5 E				4	6		11			14			
21.5 W	INT 5 ATL 5				4	6		11			14			

Posición orbital	Estación espacial	Bandas de frecuencias (GHz.)												
		1	3	4	6	7	11	12	14	15				
21.5 W	INT 4A ATL 1			4	6									
21.5 W	INT MCS ATL C		3	4	6									
19.5 W	INT 4 ATL 3			4	6									
19.5 W	INT 4A ATL 2			4	6									
18.5 W	INT 1BS341.5 E			4	6		11	12	14					
18.5 W	INT 4A ATL 2			4	6									
18.5 W	INT 5 ATL 2			4	6		11		14					
18.5 W	INT MCS ATL A		3	4	6									
18.5 W	INT 5A ATL 4			4	6		11		14					
16.5 W	INT 5A 343.5 E			4	6		11		14					
16.5 W	INT 1BS 343.5 E			4	6		11	12	14					
16.5 W	INT 5 343.5 E			4	6		11		14					
15 W	INM.AOR-EAST		3	4	6									
15 W	MARISAT-ATL	1	3	4	6									
14 W	STATSIONAR-4			4	6									
13.5 W	POTOK-1			4	6									
11.5 W	SYMPHONIE-2	1		4	6									
11.5 W	SYMPHONIE-3	1		4	6									
11 W	STATSIONAR-11			4	6									
8 W	TELECOM-1A		3	4	6	7	11	12	14					
5 W	TELECOM-1B		3	4	6	7	11	12	14					
4 W	INT 5 CONT 3			4	6		11		14					
4 W	INT 5A CONT 3			4	6		11		14					
4 W	INT 4A ATL 3			4	6									
4 W	INT 4A ATL 1			4	6									
4 W	INT 4 ATL 1			4	6									
1 W	INT 5A CONT 4			4	6		11		14					
1 W	INT 4A ATL 2			4	6									
1 W	INT 4 ATL 4			4	6									
1 W	INT 5 CONT 4			4	6		11		14					
7 E	F-SAT 1		3	4	6								20/30	
10 E	APEX		3	4	6								20/30	
12 E	PROGNOZ-2		3	4	6									
14 E	NAT.SYSTEM			4	6									
15 E	AMS			4	6		11		14					
19 E	ARABSAT 1		3	4	6									
20 E	NAT. SYSTEM			4	6									
26 E	ARABSAT 11		3	4	6									
35 E	PROGNOZ-3		3	4	6									
35 E	STATSIONAR-2			4	6									
40 E	STATSIONAR-12			4	6									
45 E	STATSIONAR-9			4	6									
53 E	STATSIONAR-5			4	6									
57 E	INT 6 IND 2			4	6		11		14					
57 E	INT 5A IND 2			4	6		11		14					
57 E	INT 5 IND 3			4	6		11		14					
57 E	INT 4A IND 2			4	6									
57 E	INT MCS IND C		3	4	6									
60 E	INT 5A IND 1			4	6		11		14					
60 E	INT 6 IND 1			4	6		11		14					
60 E	INT 4A IND 2			4	6									
60 E	INT 5 IND 2			4	6		11		14					

Posición orbital	Estación espacial	Bandas de frecuencias (GHz.)												
		1	3	4	6	7	11	12	14	15				
60 E	INT MCS IND B			3	4	6								
60 E	USGCSS 3 IND			3	4	6	7							
63 E	INT 5A IND 3				4	6			11			14		
63 E	INT 4A IND 1				4	6								
63 E	INT 5 IND 1				4	6			11			14		
63 E	INT MCS IND A			3	4	6								
64.5 E	INM.10R			3	4	6								
64.5 E	MARECS IND 1	1	3	4	6									
66 W	INT 5A 66 E				4	6			11			14		
66 E	INT 4A IND 1				4	6								
66 E	INT 5 IND 4				4	6			11			14		
66 E	INT MCS IND D			3	4	6								
70 E	STW-2				4	6								
72.5 E	MARISAT-IND	1	3	4	6									
73 E	MARECS IND 2	1	3	4	6									
74 E	INSAT-1B	1	3	4	6									
77 E	PALAPA-2				4	6								
80 E	POTOK-2				4									
80 E	PROGNOZ-4			3	4									
80 E	STATSIONAR-1				4	8								
80 E	STATSIONAR-13				4	6								
82.5 E	INSAT-1D	1			4	6								
83 E	PALAPA-1				4	8								
85 E	STATSIONAR-3				4	6								
90 E	STATSIONAR-6				4	6								
94 E	INSAT-1C	1	3	4	6									
95 E	STATSIONAR-14				4	6								
102 E	ISCOM	1			4	8								
108 E	PALAPA-B1				4	6								
113 E	PALAPA-B2				4	6								
118 E	PALAPA-B3				4	6								
125 E	STW-1				4	6								
128 E	STATSIONAR-15				4	6								
132 E	CS-2A			3	4	6							20/30	
135 E	CSE			3	4	6							18/29	
135 E	USGCSS 3 E PAC				4	6			11			14		
136 E	CS-2B			3	4	6							20/30	
140 E	STATSIONAR-7				4	6								
145 E	STATSIONAR-16				4	6								
150 E	CSE				4	8								
173 E	INT 5 PAC 1				4	6			11			14		
173 E	INT 5A PAC 1				4	8			11			14		
173 E	INT 4A PAC 1				4	6								
174 E	INT 4A PAC 1				4	6								
174 E	INT 5 PAC 1				4	6			11			14		
175 E	USGCSS 3 W PAC				4	6	7							
176 E	INT 4A PAC 2				4	6								
176 E	INT 5 PAC 2				4	6			11			14		
176 E	INT 5A PAC 2				4	6			11			14		
176.5 E	MARISAT-PAC	1	3	4	6									
177.5 E	MARECS PAC 1	1	3	4	6									
179 E	INT 4A PAC 2				4	6								



Posición orbital	Estación espacial	Bandas de frecuencias (GHz.)								
		<1	<3	4	6	7	11	12	14	>15
179 E	INT 5 PAC 2			4	6		11		14	
179 E	INT MCS PAC A		3	4	6					
179 E	INT 5A PAC 3			4	6		11		14	

1.5 LISTA DE SATELITES LANZADOS ENTRE 1977 Y 1984.

A continuación se proporciona una lista de los satélites de televisión y radiocomunicaciones que han sido lanzados desde 1977 a 1984, junto con algunos datos importantes.

NOMBRE: 17. Molnya-2 [1977-10-A \*]

MASA (toneladas): 1.250

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk 11 feb. 77

PERIGEO/APOGEO (km): 493 / 40 757

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 735 / 62.5

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Palapa-A2 [1977-18-A \*]

MASA (toneladas): 0.575

PAIS: Indonesia

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
10 mar. 77

PERIGEO/APOGEO (km): 35 915 / 36 250

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 451.2 / 0.1

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Satélite cilíndrico estabilizado por rotación. Diámetro 1.9 m, altura 3.7 m. Antena de disco parabólico. Similar a Anik (Canadá) y Westar (USA). Con 12 transpondedores de 4 000 circuitos telefónicos o 12 canales simultáneos de TV color.

NOMBRE: 36. Molnya-1 [1977-21-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 24 mar 77

PERIGEO/APOGEO (km): 484 / 40 816

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Bandas de 800 MHz 40 W emisión, 1 GHz recepción, 3.4-4.1 GHz retransmisiones de TV. Cilindro hermético de extremidades cónicas. 6 paneles solares.

NOMBRE: 7. Molnya-3 [1977-32-A \*]

MASA (toneladas): 1.5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk 28 ab., 77

PERIGEO/APOGEO (km): 467 / 40 807

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Banda de 1 cm.

NOMBRE: Intelsat-IVA F4 [1977-41-A \*]

MASA (toneladas): 1.515

PAIS: Internacional

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
26 mayo 77

PERIGEO/APOGEO (km): 35 346 / 35 755

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 425 / 0.28

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Satélite de forma cilíndrica  
estabilizado por rotación; diámetro 2.38 m; altura  
6.98 m; con células solares; satélite comercial de  
comunicaciones, contiene 650 circuitos telefónicos  
bidireccionales y dos canales de TV.

NOMBRE: 37. Molnya-1 [1977-54-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 24 junio 77

PERIGEO/APOGEO (km): 480 / 39 016

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 700 / 62.9

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Cilindro hermético y extremidades  
cónicas; 6 paneles solares.

NOMBRE: Raduga-3 [1977-71-A \*]

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 24 jul. 77

PERIGEO/APOGEO (km): 36 600 -

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 447 / 0.4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Satélite estabilizado en 3 ejes;  
células solares.

NOMBRE: 38. Molnya-1 [1977-82-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 30 Agosto 77

PERIGEO/APOGEO (km): 480 / 40 800

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Ekran-2 [1977-92-A \*]

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 20 sept. 77

PERIGEO/APOGEO (km): 35 560 / -

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 425 / 0.4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Satélite estabilizado en 3 ejes;  
células solares.

NOMBRE: B. Molnya-3 [1977-105-A \*]

MASA (toneladas): 1.5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 28 oct. 77

PERIGEO/APOGEO (km): 478 / 40 764

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 735 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: CS (Sakura) [1977-118-A \*]

MASA (toneladas): 0.671

PAIS: Japón

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
15 dic. 77

PERIGEO/APOGEO (km): órbita geostacionaria 135 E

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): órbita geostacionaria  
135 E

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Satélite estabilizado por  
rotación: diámetro 2.18 m; altura 3.51 m; antena de  
contrarotación; células solares de 500 W; fines  
experimentales: transmisión de telefonía y TV color a  
todas las islas del Japón en la banda 20-30 GHz  
(primero en esta banda).

NOMBRE: Intelsat-IV A F3 [1978-2-A \*]

MASA (toneladas): 1.515

PAIS: Internacional

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
7 enero 78

PERIGEO/APOGEO (km): 35 811 / 35 831

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 437.9 / 0.3

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Con 6 250 circuitos telefónicos  
bidireccionales y 2 canales de TV.

NOMBRE: 9. Molnya-3 [1978-9-A \*]

MASA (toneladas): 1.5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 24 enero 78

PERIGEO/APOGEO (km): 661 / 40 631

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: banda 1 cm.

NOMBRE: 39. Molnya-1 [1978-24-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 3 marzo 78

PERIGEO/APOGEO (km): 632 / 40 733

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 738 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Intelsat-IV A F6 [1978-35-A \*]

MASA (toneladas): 1.515

PAIS: Internacional

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
31 marzo 78

PERIGEO/APOGEO (km): 35 772 / 35 799

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 436.2 / 0.1

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: BSE [1978-39-A \*]  
MASA (toneladas): 0.35  
PAIS: Japón  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
7 abril 78  
PERIGEO/APOGEO (km): 35 772 / 35 806  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 436.2 / 1.4  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Satélite estabilizado en 3 ejes;  
2 paneles solares; satélite de radiodifusión directa de  
TV color experimental en banda de 12 a 14 GHz.

NOMBRE: 40. Molnya-1 [1978-55-A \*]  
MASA (toneladas): 1  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 2 junio 78  
PERIGEO/APOGEO (km): 457 / 40 837  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.5  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 41. Molnya-1 [1978-72-A \*]  
MASA (toneladas): 1  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 14 julio 78  
PERIGEO/APOGEO (km): 650 / 40 660  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 737 / 62.8  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Raduga-4 [1978-73-A \*]  
MASA (toneladas): 5  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 19 julio 78  
PERIGEO/APOGEO (km): 35 769 / 38 590  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 478 / 0.5  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 42. Molnya-1 [1978-80-A \*]  
MASA (toneladas): 1  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 22 agosto 78  
PERIGEO/APOGEO (km): 480 / 40 788  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.8  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 10. Molnya-3 [1978-95-A \*]  
MASA (toneladas): 1.5  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 13 oct. 78  
PERIGEO/APOGEO (km): 467 / 40 825  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.8  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: NATO-3 C [1978-106-A \*]  
MASA (toneladas): 0.34  
PAIS: Internacional  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
19 nov. 78  
PERIGEO/APOGEO (km): órbita geoestacionaria 50 W  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): órbita geoestacionaria  
50 W  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Satélite con forma cilíndrica  
estabilizado por rotación; diámetro 2.20 m, altura  
3.10 m; 3 antenas de bocina.

NOMBRE: Gorizont-1 [1978-118-A \*]  
MASA (toneladas): 4  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Balkonur, 19 dic 78  
PERIGEO/APOGEO (km): 22 581 / 48 365  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 420 / 11.3  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Nuevo tipo de satélite para las  
telecomunicaciones (transmisiones de telegrafía, TV y  
telefonía).

NOMBRE: 11. Molnya-3 [1979-4-A \*]  
MASA (toneladas): 1.5  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 18 enero 79  
PERIGEO/APOGEO (km): 474 / 40 808  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 717.6 / 62.8  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Ekran-3 [1979-15-A \*]  
MASA (toneladas): 5  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Balkonur, 21 feb. 79  
PERIGEO/APOGEO (km): 35 780 / 35 831  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 436 / 0.35  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 43. Molnya-1 [1979-31-A \*]  
MASA (toneladas): 1  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 12 abril 79  
PERIGEO/APOGEO (km): 656 / 40 590  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 735 / 82.9  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Raduga-5 [1979-35-A \*]  
MASA (toneladas): 4  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Balkonur  
PERIGEO/APOGEO (km): 36 000  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 442 / 0.4  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 12. Molnya-3 [1979-48-A \*]

MASA (toneladas): 1.5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 6 junio 79

PERIGEO/APOGEO (km): 473 / 40 769

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 735 / 62.5

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Gorizont-2 [1979-62-A \*]

MASA (toneladas): 4

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 5 julio 79

PERIGEO/APOGEO (km): 36 550 / 36 643

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 477 / 0.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 44. Molnya-1 [1979-70-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 31 julio 79

PERIGEO/APOGEO (km): 470 / 40 860

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 717.6 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Westar-3 [1979--72-A \*]

MASA (toneladas): 0.572

PAIS: EUA

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
10 agosto 79

PERIGEO/APOGEO (km): 35 779 / 35 796

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 436.2 / 0.0

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Satellite con forma cilíndrica  
estabilizado por rotación; diámetro 1.80 m, altura  
1.60 m; células solares y baterías; comunicaciones  
internas: 12 canales de TV policroma o 14 000 circuitos  
unidireccionales, a través de 5 estaciones terrenas.

NOMBRE: Ekran-4 [1979-87-A \*]

MASA (toneladas): 4

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 3 oct 79

PERIGEO/APOGEO (km): 35 557

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 424 / 0.45

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 45. Molnya-1 [1979-91-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 20 oct 79

PERIGEO/APOGEO (km): 640 / 40 640

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: RCA-Satcom-3 [1979-101-A \*]

MASA (toneladas): 0.895

PAIS: EUA

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
7 dic 79

PERIGEO/APOGEO (km): -

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): -

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Satélite estabilizado en ejes;  
1.62x1.20x1.17m; 2 paneles solares; 24 transpondedores  
c/u capaz de 1200 canales telefónicos, 1 TV color 0  
transmisión de 60 MBit/s de datos. Perdido 10 dic 79.

NOMBRE: Horizont-3 [1979-105-A \*]

MASA (toneladas): 4

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 28 dic 79

PERIGEO/APOGEO (km): 36 240/ 36 339

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 463 / 0.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 46. Molnya-1 [1980-2-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 11 enero 80

PERIGEO/APOGEO (km): 478 / 40 830

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 737 / 82.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: FLTSATCOM-3 [1980-4-A \*]

MASA (toneladas): 1.005

PAIS: EUA

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
18 enero 80.

PERIGEO/APOGEO (km): 35 745 / 35 829

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 436.1 / 2.6

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: 9 canales de 25 kHz, 12 de 5 kHz;  
1 de radiodifusión 25 kHz y 1 de 500 kHz.

NOMBRE: Raduga-6 [1980-16-A \*]

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 20 feb. 80

PERIGEO/APOGEO (km): 36 810

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 478 / 0.4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Ayame-2 [1980-18-A \*]

MASA (toneladas): 0.260

PAIS: Japón

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Centro Espacial de Tanegashima  
20 feb. 80

PERIGEO/APOGEO (km): 206.9 / 35 512

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 625.8 / 24.6

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Experimental. Se perdió antes de  
alcanzar la órbita.



NOMBRE: Gorizont-4 [1980-49-A \*]

MASA (toneladas): 2.88

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 14 junio 80

PERIGEO/APOGEO (km): 36 515

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 473 / 0.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 47. Molnya-1 [1980-53-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 21 junio 80

PERIGEO/APOGEO (km): 658 / 40 707

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 738 / 62.5

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Ekran-5 [1980-60-A \*]

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 14 julio 80

PERIGEO/APOGEO (km): 34 474

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 420 / 0.36

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 13. Molnya-3 [1980-63-A \*]

MASA (toneladas): 1.5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 18 julio 80

PERIGEO/APOGEO (km): 467 / 40 815

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Raduga-7 [1980-81-a \*]

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 8 oct. 80

PERIGEO/APOGEO (km): 36 000

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 444 / 0.4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: FLTSATCOM-4 [1980-87-A \*]

MASA (toneladas): 1.005

PAIS: EUA

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
31 oct. 80

PERIGEO/APOGEO (km): 35 033 / 36 237

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 428.4 / 2.5

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: 23 canales de ondas declínicas  
y 1 canal ascendente de ondas centimétricas. Cuarto de  
una serie de cinco satélites.

NOMBRE: 48. Molnya-1 [1980-92-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 16 nov. 80

PERIGEO/APOGEO (km): 640 / 40 651

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.3

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Intelsat-V F2 [1980-98-A \*]

MASA (toneladas): 1.95

PAIS: internacional

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
6 dic 80

PERIGEO/APOGEO (km): órbita geoestacionaria 333.5 E

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): órbita geoestacionaria  
333.5 E

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Con 2 canales de TV color, 12 000  
canales telefónicos, .

NOMBRE: Ekran-6 [1980-104-A \*]

MASA (toneladas): 2.7

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 26 dic 80

PERIGEO/APOGEO (km): 35 554

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 424 / 0.4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 14. Molnya-3 [1981-2-A \*]

MASA (toneladas): 1.5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 9 enero 1981

PERIGEO/APOGEO (km): 485 / 40 784

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.5

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 49. Molnya-1 [1981-9-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 30 enero 81

PERIGEO/APOGEO (km): 464 / 40 801

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Raduga-8 [1981-27-A \*]

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 18 marzo 81

PERIGEO/APOGEO (km): 36 590

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 477 / 0.4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 15. Molnya-3 (1981-30-A \*)

MASA (toneladas): 1.5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 24 marzo 81

PERIGEO/APOGEO (km): 641 / 40 655

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): 736 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Intelsat-V F1 (1981-50-A \*)

MASA (toneladas): 1.950

PAIS: Internacional

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
23 mayo 81

PERIGEO/APOGEO (km): 172 / 35 960

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): 633.9 / 24.1

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 16. Molnya-3 (1981-54-A \*)

MASA (toneladas): 1.5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 9 junio 81

PERIGEO/APOGEO (km): 471 / 40 837

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): 736 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 50. Molnya-1 (1981-60-A \*)

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 24 junio 81

PERIGEO/APOGEO (km): 645 / 40 640

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): 736 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Ekran-7 (1981-61-A \*)

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 26 junio 81

PERIGEO/APOGEO (km): 35 636

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): 1 426 / 0.4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Raduga-9 (1981-69-A \*)

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 31 julio 81

PERIGEO/APOGEO (km): 36 690

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): 1 477 / 0.4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Raduga-10 (1981-102-A \*1

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 9 oct. 81

PERIGEO/APOGEO (km): 35 900

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 442 / 0,4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 17. Molnya-3 (1981-105-A \*1

MASA (toneladas): 1,5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 17 oct 81

PERIGEO/APOGEO (km): 649 / 40 644

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 63

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 51. Molnya-1 (1981-113-A \*1

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 17 nov 81

PERIGEO/APOGEO (km): 472 / 39 117

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 702 / 62,8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: RCA-Satcom-3R (1981-114-A \*1

MASA (toneladas): 0,895

PAIS: EUA

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
20 nov 81

PERIGEO/APOGEO (km): órbita geoestacionaria 132 W

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): órbita geoestacionaria  
132 W

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Intelsat-V F3 (1981-119-A \*1

MASA (toneladas): 1,95

PAIS: Internacional

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
15 dic 81

PERIGEO/APOGEO (km): órbita geoestacionaria 15 E

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): órbita geoestacionaria  
15 E

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 52. Molnya-1 (1981-123-A \*1

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 23 dic. 81

PERIGEO/APOGEO (km): 485 / 38 990

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 699 / 63

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: RCA-Satcom-4 [1982-4-A \*]

MASA (toneladas): 0.895

PAIS: EUA

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
16 enero 82

PERIGEO/APOGEO (km): 35 791 / 35 794

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 436.2 / 0.1

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Ekran-8 [1982-9-A \*]

MASA (toneladas): 4

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 5 feb. 82

PERIGEO/APOGEO (km): 35 658

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 429 / 0.4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 53. Molnya-1 [1982-15-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 26 feb. 82

PERIGEO/APOGEO (km): 490 / 40 765

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 735 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Intelsat-V F4 [1982-17-A \*]

MASA (toneladas): 1.95

PAIS: Internacional

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
5 marzo 82

PERIGEO/APOGEO (km): 35 778 / 35 800

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 436.2 / 0.0

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Gorizont-5 [1982-20-A \*]

MASA (toneladas): -

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 15 marzo 82

PERIGEO/APOGEO (km): 36 320

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 463 / 0.7

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 18 Molnya-3 [1982-23-A \*]

MASA (toneladas): 1.5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 24 marzo 82

PERIGEO/APOGEO (km): 656 / 40 615

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.9

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

**NOMBRE:** Insat-1 A [1982-31-A \*]  
**MASA (toneladas):** 1.152  
**PAIS:** India  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Campo de pruebas del Este,  
 10 abril 82  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 689 / 35 787  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 433,6 / 0,3  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** Con forma de caja 1.42x1.55x2.18;  
 paneles solares; 12 transpondedores banda C, 2 banda S  
 y sistema para meteorología. Por fallas en encendido  
 de motor de encendido perdió 15% de su vida útil.

**NOMBRE:** 54. Molnya-1 [1982-50-A \*]  
**MASA (toneladas):** 1  
**PAIS:** URSS  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Plesetsk, 29 mayo 82  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 653 / 40 633  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 736 / 62,8  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** 54. Molnya-1 [1982-74-A \*]  
**MASA (toneladas):** 1  
**PAIS:** URSS  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Plesetsk, 21 julio 82  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 650 / 38 900  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 701 / 63,0  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** Anik-D1 [1982-82-A \*]  
**MASA (toneladas):** 0.730  
**PAIS:** Canada  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Campo de pruebas del Este,  
 26 agosto 82  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 781 / 35 793  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 436,1 / 0,0  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** transmisión de telefonía, datos  
 y TV.

**NOMBRE:** 19 Molnya-3 [1982-83-A \*]  
**MASA (toneladas):** 1,5  
**PAIS:** URSS  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Plesetsk, 27 agosto 82  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 494 / 40 814  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 736 / 62,8  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** Ekran-9 [1982-93-A \*]  
**MASA (toneladas):** 5  
**PAIS:** URSS  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Baikonur, 16 sep. 82  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 580  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 426 / 0,3  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** Intelsat-V F5 (1982-97-A \*1)  
**MASA (toneladas):** 1.95  
**PAIS:** Internacional  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Campo de pruebas del Este,  
 28 sep. 82  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 767 / 35 795  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 435.8 / 1.5  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** Gorizont-6 (1982-103-A \*1)  
**MASA (toneladas):** 4  
**PAIS:** URSS  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Baikonur, 20 oct. 82  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 746 / 35 800  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 437 / 0.8  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** RCA-Satcom-5 (1982-105-A \*1)  
**MASA (toneladas):** 1.082  
**PAIS:** EUA  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Campo de pruebas del Este,  
 28 oct. 82  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 237 / 4 218  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 132.4 / 26.7  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** Anik-C3 (1982-110-A \*1)  
**MASA (toneladas):** 0.6323  
**PAIS:** Canadá  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Campo de pruebas del Este,  
 12 nov. 82  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 781 / 35 795  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 436.1 / 0.0  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** Transmisión de telefonía y TV.

**NOMBRE:** Raduga-11 (1982-113-A \*1)  
**MASA (toneladas):** 5  
**PAIS:** URSS  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Baikonur, 26 nov. 82  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 790 / 36 640  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 480 / 1.3  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** CS-2A (Sakura) (1983-6-A \*1)  
**MASA (toneladas):** 0.350  
**PAIS:** Japón  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Centro Espacial de Tanegashima  
 4 feb. 83  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 752 / 35 822  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 436.2 / 0.1  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** Satélite estabilizado mediante  
 rotación; diámetro 2.18 m; altura 3.3 m; lleva 8  
 transpondedores de los cuales 6 operan en la banda  
 20-30 GHz.

NOMBRE: 20 Molnya-3 (1983-15-A \*)

MASA (toneladas): 1.5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 11 marzo 83

PERIGEO/APOGEO (km): 474 / 40 773

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 735 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Ekran-10 (1983-16-A \*)

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 12 marzo 83

PERIGEO/APOGEO (km): 35 619

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 428 / 0.1

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 56. Molnya-1 (1983-19-A \*)

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 16 marzo 83

PERIGEO/APOGEO (km): 488 / 40 821

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 90.3 / 70.0

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 57. Molnya-1 (1983-25-A \*)

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 2 abril 83

PERIGEO/APOGEO (km): 483 / 39 023

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 700 / 62.9

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Raduga-12 (1983-28-A \*)

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 8 abril 83

PERIGEO/APOGEO (km): 35 870

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 440 / 1.3

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Intelsat-V F6 (1983-49-A \*)

MASA (toneladas): 1.55

PAIS: Internacional

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
19 mayo 83

PERIGEO/APOGEO (km): 35 859 / 35 950

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 422.1 / 0.2

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Transmisi3n de telefonia y TV.  
Unidad de telecomunicaci3n de servicio maritimo.



NOMBRE: Anik-C2 [1983-59-B \*]  
MASA (toneladas): 1.238  
PAIS: Canadá  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Modulo Reutilizable ( NASA )  
STS-7, 18 junio 83  
PERIGEO/APOGEO (km): órbita geostacionaria 112.5 W  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): órbita geostacionaria  
112.5 W  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Palapa-B1 [1983-59-C \*]  
MASA (toneladas): 1.2  
PAIS: Indonesia  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Modulo Reutilizable ( NASA )  
STS-7, 17 junio  
PERIGEO/APOGEO (km): órbita geostacionaria 108 E  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): órbita geostacionaria  
108 E  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Galaxy-1 [1983-65-A \*]  
MASA (toneladas): 0.519  
PAIS: EUA  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Esta,  
28 junio 83  
PERIGEO/APOGEO (km): 35 256 / 36 373  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 437.5 / 0.1  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Relevador de TV con 24 canales  
banda C.

NOMBRE: Gorizont-7 [1983-66-A \*]  
MASA (toneladas): -  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 1 julio 83  
PERIGEO/APOGEO (km): 36 000  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 479 / 1.3  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 58. Molnya-1 [1983-73-A \*]  
MASA (toneladas): 1  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 19 julio 83  
PERIGEO/APOGEO (km): 480 / 39 025  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 700 / 62.8  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: CS-2B (Sakura) [1983-81-A \*]  
MASA (toneladas): 0.350  
PAIS: Japón  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Centro Espacial de Tanegashima  
5 agosto 83  
PERIGEO/APOGEO (km): 35 535 / 36 610  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 450.8 / 0.3  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Satélite estabilizado mediante  
rotación; diámetro 2.18 m; altura 3.3 m; lleva 8  
transpondedores de los cuales 6 operan en la banda  
20-30 GHz.

NOMBRE: Raduga-13 [1983-88-A \*]  
MASA (toneladas): 5  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 26 agosto 83  
PERIGEO/APOGEO (km): 36 617  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 478 / 1.3  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 21 Molnya-3 [1983-90-A \*]  
MASA (toneladas): 1.5  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 31 agosto 83  
PERIGEO/APOGEO (km): 497 / 40 815  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 736 / 62.8  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Galaxy-2 [1983-98-A \*]  
MASA (toneladas): 0.519  
PAIS: EUA  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
22 sep. 83  
PERIGEO/APOGEO (km): 35 787 / 35 789  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 436.2 / 0.0  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Ekran-11 [1983-100-A \*]  
MASA (toneladas): 5  
PAIS: URSS  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 29 sep. 83  
PERIGEO/APOGEO (km): 36 630  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 428 / 0.4  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Intelsat-V F7 [1983-105-A \*]  
MASA (toneladas): 1.55  
PAIS: Internacional  
SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Centro Espacial de Guayanas,  
19 oct. 83  
PERIGEO/APOGEO (km): 35 513 / 35 900  
PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 433.3 / 0.4  
DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

**NOMBRE:** 59, Molnya-1 (1983-114-A \*1)  
**MASA (toneladas):** 1  
**PAIS:** URSS  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Plesetsk, 23 nov. 83  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 465 / 39 150  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 702 / 62.8  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** Gorizont-8 (1983-118-A \*1)  
**MASA (toneladas):** -  
**PAIS:** URSS  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Baikonur, 30 nov. 83  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 850  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 439 / 1.4  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** 22 Molnya-3 (1983-123-A \*1)  
**MASA (toneladas):** 1.5  
**PAIS:** URSS  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Plesetsk, 21 dic. 83  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 645 / 40 635  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 736 / 62.8  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** BS-2A (1984-5-A \*1)  
**MASA (toneladas):** 0.35  
**PAIS:** Japón  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Centro Espacial de Tanegashima  
 23 enero 84  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 793 / 35 791  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 436.1 / 0.3  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** Para remediar la mala recepción  
 de TV en ciertas zonas y desarrollar la tecnología de  
 radiodifusión por satélite. 2 canales de TV.

**NOMBRE:** Raduga-14 (1984-16-A \*1)  
**MASA (toneladas):** 5  
**PAIS:** URSS  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Baikonur, 15 feb. 84  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 950  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 440 / 1.3  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

**NOMBRE:** Intelsat-V F8 (1984-23-A \*1)  
**MASA (toneladas):** 1.87  
**PAIS:** Internacional  
**SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO:** Centro Espacial de Guayanas,  
 5 marzo 84  
**PERIGEO/APOGEO (km):** 35 777 / 35 796  
**PERIODO (min)/INCLINACION(grados):** 1 436.1 / 0.0  
**DESCRIPCION/OBSERVACIONES:** -

NOMBRE: Ekran-12 (1984-28-A \*)

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 16 marzo 84

PERIGEO/APOGEO (km): 35 530

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): 1 423 / 0.1

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 60. Molnya-1 (1984-29-A \*)

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 16 marzo 84

PERIGEO/APOGEO (km): 646 / 40 579

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): 735 / 62.9

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Gorizont-9 (1984-41-A \*)

MASA (toneladas): -

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 22 abril 84

PERIGEO/APOGEO (km): órbita geoestacionaria 52 E

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): órbita geoestacionaria  
52 E

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Spacenet-1 (1984-49-A \*)

MASA (toneladas): 0.705

PAIS: EUA

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Centro Espacial de Guayanas,  
23 mayo 84

PERIGEO/APOGEO (km): 35 784 / 35 791

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): 1 436.2 / 0.0

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Para telecomunicación comercial,  
24 repetidoras banda C y Ku.

NOMBRE: Intelsat-V F9 (1984-57-A \*)

MASA (toneladas): 1.95

PAIS: Internacional

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Centro Espacial de Guayanas,  
9 junio 84

PERIGEO/APOGEO (km): 226 / 1 289

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): 99.2 / 28.7

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Fallo al no alcanzar su órbita  
geoestacionaria; desintegrado 24 oct. 84.

NOMBRE: Raduga-15 (1984-63-A \*)

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 22 junio 84

PERIGEO/APOGEO (km): 35 100

PERIODO (min)/INCLINACION(grades): 1 397 / 1.3

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Gorizont-10 [1984-78-A \*]

MASA (toneladas): -

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 2 agosto 84

PERIGEO/APOGEO (km): 35 785

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 435 / 1.5

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 61. Molnya-1 [1984-85-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 10 agosto 84

PERIGEO/APOGEO (km): 479 / 40 772

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 735 / 62.7

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 62. Molnya-1 [1984-89-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 24 agosto 84

PERIGEO/APOGEO (km): 467 / 40 877

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 737 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Ekran-13 [1984-90-A \*]

MASA (toneladas): 5

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Baikonur, 24 agosto 84

PERIGEO/APOGEO (km): 35 580

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 425 / 0.4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Telestar-3C [1984-93-D \*]

MASA (toneladas): 1.225

PAIS: EUA

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Modulo Reutilizable ( NASA )  
STS-41D, 1 sep. 84

PERIGEO/APOGEO (km): 34 776 / 36 573

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 430.3 / 0.4

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: Transmisi3n de TV, radiodifusi3n  
sonora, telefonia y datos a gran velocidad. Con 30  
repetidoras banda C.

NOMBRE: Galaxy-3 [1984-101-A \*]

MASA (toneladas): 0.519

PAIS: EUA

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Campo de pruebas del Este,  
21 sep. 83

PERIGEO/APOGEO (km): 3rbita geoestacionaria 93.5 W

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 3rbita geoestacionaria  
93.5 W

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Anik-D2 [1984-113-B \*]

MASA (toneladas): 1.238

PAIS: Canadá

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Modulo Reutilizable ( NASA )  
STS-51A, 9 nov. 84

PERIGEO/APOGEO (km): 35 518 / 36 274

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 437,1 / 1.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: Spacenet-2 [1984-114-A \*]

MASA (toneladas): 0.705

PAIS: EUA

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Centro Espacial de Guayanas,  
10 nov. 84

PERIGEO/APOGEO (km): 35 518 / 35 274

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 1 441.7 / 0.1

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

NOMBRE: 63. Molnya-1 [1984-124-A \*]

MASA (toneladas): 1

PAIS: URSS

SITIO Y FECHA DE LANZAMIENTO: Plesetsk, 14 dic. 84

PERIGEO/APOGEO (km): 461 / 40 900

PERIODO (min)/INCLINACION(grados): 737 / 62.8

DESCRIPCION/OBSERVACIONES: -

\* Número Internacional.

---

## 1.6 MAPAS DE PISADAS DE LOS SATELITE.

---

Las antenas de enlace descendente del satélite transmiten las señales de microondas procesadas hacia cualquier región geográfica escogida del planeta. La pisada del satélite es el resultado de la cobertura geográfica descendente de su antena y de la potencia de microondas generadas por cada uno de sus transmisores-respondedores (transpondedores). El nivel de potencia es mayor en las regiones que quedan más cerca del eje principal de las antenas descendentes.

Los mapas de pisadas de satélites son muy valiosos para dimensionar los componentes de una estación terrestre. Los niveles de potencia en estos mapas, son llamados potencia isotrópica irradiada efectiva (EIRP). Los EIRP se miden en unidades llamadas decibeles sobre un watt (dBw). La unión mediante líneas continuas de todos los puntos de un mapa que tienen el mismo nivel de EIRP permiten construir un mapa de pisada. Para cada satélite en órbita se publica su "pisada" característica, en la forma de una serie de líneas de contorno sobrepuestas en el mapa de la región servida.

La escala en decibeles fue concebida por Alexander Graham Bell para expresar con números relativamente pequeños, los enormes cambios de potencia que ocurren en diferentes etapas de la cadena de comunicación. Esto se hizo necesario porque ciertos componentes, como la antena y los amplificadores, pueden aumentar los niveles de potencia muchos cientos de miles de veces. Los decibeles se definen mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Diferencia en decibeles} = 10 \log_{10} (\text{señal A/señal B})$$

Las abreviaciones dBw y dBm representan el aumento de potencia en relación a un watt o un miliwatt respectivamente.

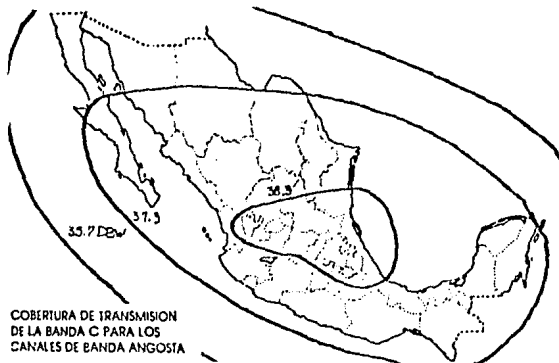
Los mapas de pisadas que muestran pequeños cambios en los decibeles, expresan lo mucho que cambia en realidad la potencia de la señal, en la figura 1.6.1 se presentan los mapas de pisada de los satélites Morelos.

Los satélites que transmiten a una región geográfica más limitada tiene también una pisada menor. Estos haces puntuales tienen, en proporción, EIRPs más altos que los de un satélite que apunte a un área mucho mayor, con haces ya sea "hemisféricos", "zonales" o "globales", por que la misma potencia se encuentra más concentrada. Los haces globales cubren un máximo de 42.4% de la superficie terrestre que alcanza a ver un satélite geosincrónico. Las antenas hemisféricas y zonales pueden cubrir

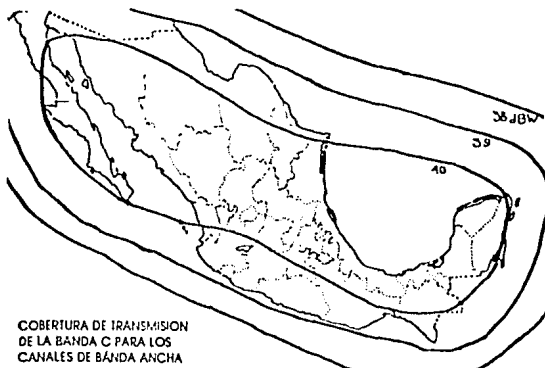
20% y 10% del planeta, respectivamente. Los haces puntuales son enfocados sobre áreas aún más pequeñas. Los mapas de pisadas están claramente determinados por la forma y orientación de las antenas descendentes, así como por la potencia generada por cada transpondedor.

Los niveles de EIRP se miden al dejar la antena descendente. Por ejemplo si dirigimos 2000 watts hacia cierto punto en la Tierra, esta señal se va abriendo en un haz cónico a medida que se acerca a la Tierra. Este debilitamiento ó disolución de potencia, a medida que se va alejando del satélite se llama "pérdida por trayectoria en el espacio libre" ó "perdida por esparcimiento". Mientras más larga sea la distancia que debe recorrer el haz ó mejor llamado "inclinación de alcance", mayor es la pérdida por trayectoria en el espacio libre. La absorción de las moléculas de la atmósfera, también contribuye a estas pérdidas en el viaje de regreso a la Tierra. El vapor de agua es el principal culpable de la atenuación de las señales descendentes. De hecho, durante aguaceros fuertes la potencia recibida en la superficie terrestre puede verse reducida hasta por 3 dB, lo que es aproximadamente 50 % de la potencia de las frecuencias más altas de la banda Ku.

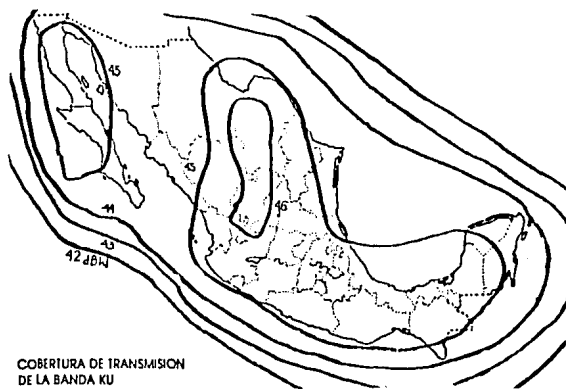
Estas pérdidas por trayectoria en el espacio libre, así como la absorción atmosférica, explican por qué un transpondedor, operando con sólo 5 a 9 watts de potencia total y enviando una señal descendente en un haz de 2000 watts por metro cuadrado, es captado en la tierra con una potencia de menos de un décimo de una mil millonésima de una mil millonésima de watt por metro cuadrado ( $10^{-16}$ ). Recibir un transpondedor de 5 watts, equivale a ver una lucecilla de las usadas en adornos de navidad a una distancia de 35,800 Km.







COBERTURA DE TRANSMISION  
DE LA BANDA C PARA LOS  
CANALES DE BANDA ANCHA



COBERTURA DE TRANSMISION  
DE LA BANDA KU

(figura I.6.1)

```

GOSUB 55000: REM inicializacion
GOTO 40000: REM PROGRAMA PRINCIPAL
DATA PUNTO DE ALINEACION, 180
DATA INTELSAT IVA-F3, 186
DATA INTELSAT IVA-F6, 181
DATA SATCOM V, 143, SATCOM IR, 139, GALAXY I, 135
DATA SATCOM IIIR, 131, TELSTAR 303, 125
DATA WESTAR V, 122.5, SPACENET I, 120
DATA MORELOS F2, 116.5, ANIK D2, 114, MORELOS F1, 113.5
DATA ANIK D1, 104, WESTAR IV, 99
DATA TELSTAR 301, 96, GALAXY III, 93.5, WESTAR III, 91
DATA TELSTAR 302, 86
DATA SATCOM IV, 83, WESTAR II, 79
DATA COMSTAR III, 76, GALAXY II, 74, SATCOM, 72, BRAZILSAT A2, 70
DATA SPACENET 2, 69
DATA BRAZILSAT A1, 65, INTELSAT V-FB, 53, INTELSAT IV-F1, 50,
DATA INTELSAT IVA-F1, 31, INTELSAT V-F4, 27.5, INTELSAT V-F3, 24.5
DATA INTELSAT IVA-F4, 21.5, INTELSAT V-F6, 18.5
DATA GORIZONT 7,14, TELECOM II,8, INTELSAT IVA-F2,4, INTELSAT IV-FB,1
DATA ECS-2, 350, ECS-1, 347
DATA GORIZONT 1, 307, INTELSAT V-F1, 303
DATA INTELSAT V-F5, 300, INTELSAT V-F7, 297
DATA PALAPA A2, 283, PALAPA A1, 279, RADUGA, 274
GOTO 5000
INTELSAT IVA-F36, 186
INTELSAT IVA-F3, 181
DATA SATCOM V, 143
DATA SATCOM IR, 139
DATA GALAXY I, 135
SATCOM IIIR, 131
DATA COMSAT IV, 127
DATA WESTAR V, 123
DATA ANIK C2, 116.5
DATA ANIK D2, 114
DATA ANIK C3, 112.5
DATA ANIK D1, 104
DATA WESTAR IV, 99
REM CALCULO E IMPRESION
T1=18: T2=41: T3=59: T4=79
CLS
PRINT TAB(15);"LISTA DE LAS COORDENADAS DE LOS SATELITES";PRINT
PRINT "PARA ";NM$;".....";
PRINT "CON LATITUD "AD"Y LONGITUD "HD
IF DV=1 THEN 5070
LPRINT TAB(15)"LISTA DE LAS COORDENADAS DE LOS SATELITES":LPRINT
LPRINT:LPRINT "PARA ";NM$;".....";
LPRINT"CON LATITUD "AD"Y LONGITUD "HD
LN=8
REM PRINCIPIO DEL CICLO I
FOR I=1 TO 44
READ SN$,SL
IF I=1 THEN SL=HD
SATLONG=FN RAD(SL):ANTLONG=FN RAD(HD): ANTLAT=FN RAD(AD)
DIFLONG=ANTLONG-SATLONG
IF ANTLAT=0 AND DIFLONG=0 THEN D=0: GOTO 5131
D=FN ACSN(COS(ANTLAT)*COS(DIFLONG))
XX= TAN(D): IF XX=0 THEN XX=1
X=-TAN(ANTLAT)/XX
IF X<-.999 OR X=>.999 THEN C=FN RAD(180): GOTO 5150

```

```

5140 C=FN ACSN(X)
5150 IF DIFLONG<0 THEN C=2*PI-C
5160 CD=FN DEG(C)
5163 IF AD<0 AND CD=180 THEN CD=360
5165 XX=SQR(1-COS(D)*COS(D)); IF XX=0 THEN XX=1
5170 X=(COS(D)-(1/K))/XX
5180 EL=ATN(X)
5190 Y=FN DEG(EL)
5200 IF Y<0 THEN GOTO 5310
5210 RG=RS*SQR(1-(.295*COS(1)*COS(ANTLONG-SATLONG)))
5212 SN=INT(SL*100)/100
5213 IF I<>1 THEN 5221
5214 DC=90-(Y+ABS(AD));DC=INT(DC*100)/100
5215 PRINT;PRINT "LA DECLINACION DE LA ANTENA ES "DC" GRADOS (*)"
5216 PRINT; IF DV=1 THEN 5222
5217 LPRINT;LPRINT "LA DECLINACION DE LA ANTENA ES "DC" GRADOS";LPRINT
5220 SL=INT(SL*100)/100
5221 IF DV=2 THEN 5230
5222 IF LN<95 THEN GOTO 5230
5224 PRINT;PRINT;PRINT;PRINT;PRINT;LN=0
5230 PRINT;PRINT SN$;TAB(T1-1);SL"GRADOS O";
5231 IF DV=1 THEN 5240
5232 LPRINT SN$;LPRINT; TAB(T1);SL"GRADOS O";
5240 CD=INT(CD*100)/100
5243 IF SL>270 AND HD<180 THEN CD=360-CD
5245 IF HD>270 AND SL<180 THEN CD=360-CD
5246 IF AD<0 AND CD=180 THEN CD=360
5250 PRINT TAB(T2-8)"AZ;"CD;
5251 IF DV=1 THEN 5260
5252 LPRINT TAB(T2)"AZ;"CD;
5260 Y=INT(Y*100)/100
5270 PRINT TAB(T3-13)"EL;"Y;
5273 IF DV=1 THEN 5280
5276 LPRINT TAB(T3)"EL;"Y;
5280 RG=INT(RG*100)/100
5290 PRINT TAB(T4-20)"RG;"RG"m."
5292 IF I=1 THEN PRINT
5295 IF DV =1 THEN 5310
5296 LPRINT TAB(T4)"RG;"RG"m."
5297 IF I=1 THEN LPRINT
5298 GOTO 5310
5302 IF LN<32 THEN GOTO 5310
5304 PRINT;INPUT "PARA CONTINUAR APRIETE EL RETURN";H9$
5306 LN=0; CLS
5310 NEXT I; REM FIN DEL CICLO I
5311 PRINT;PRINT;PRINT TAB(8)"AZ = AZIMUTH"
5312 PRINT TAB(8)"EL = ELEVACION"
5314 PRINT TAB(8)"RG = RANGO"
5330 PRINT TAB(8)"* PARA AJUSTE INICIAL DE SOPORTES POLARES "
5340 IF DV=1 THEN 5990
5341 LPRINT;LPRINT;LPRINT TAB(8)"AZ = AZIMUTH"
5342 LPRINT TAB(8)"EL = ELEVACION"
5343 LPRINT TAB(8)"RG = RANGO"
5360 LPRINT TAB(8)"* PARA EL AJUSTE INICIAL DE SOPORTES POLARES "
5990 RETURN
40000 REM PROGRAMA PRINCIPAL
40010 CLS
40020 PRINT TAB(15)"BUSCADOR DE SATELITES"

```

```

40030 PRINT:PRINT
40040 INPUT"INGRESE EL NOMBRE DE LA CIUDAD: ";NMS
40050 IF LEN(NMS)=0 THEN GOTO 50
40060 LOCATE 7,1,1
40070 INPUT "INGRESE LA LATITUD DE LA ANTENA: ";H9$
40072 IF LEN(H9$)=0 THEN GOTO 50
40074 AD=VAL(H9$)
40080 IF AD<-180 THEN GOTO 40060
40082 IF AD>180 THEN GOTO 40060
40090 LOCATE 9,1,1
40100 INPUT"INGRESE LA LONGITUD DE LA ANTENA: ";H9$
40110 IF LEN(H9$)=0 THEN GOTO 40090
40120 HD=VAL(H9$)
40130 IF HD<0 THEN HD=360+HD
40140 LOCATE 11,1
40150 INPUT "1=PANTALLA, 2=IMPRESORA: ";DV
40155 IF DV=0 THEN GOTO 40090
40160 IF DV<1 OR DV>2 THEN GOTO 40140
40180 GOSUB 5000
40190 END: FIN DEL PROGRAMA
55000 REM INICIALIZACION
55010 T1=0
55020 T2=0
55030 X=0
55040 EP=0
55050 DG=0
55060 LK=0
55070 BW=0
55080 TH=0
55090 TB=0
55100 NP=0
55110 NG=0
55120 AS=0
55130 EF=0
55140 FQ=0
55150 DI=0
55160 P=0
55170 DG=0
55180 LK=0
55190 BW=0
55200 TH=0
55210 TB=0
55220 NP=0
55230 NG=0
55240 AS=0
55250 EF=0
55260 FQ=0
55270 DI=0
55280 CH=0
55300 K=6.61
55310 PI=3.1415927R
55320 RS=26485
55330 AD=0; REM .....LATITUD DE LA ANTENA EN GRADOS
55340 HD=0; REM .....LONGITUD DE LA ANTENA EN GRADOS
55350 SL=0; REM .....LONGITUD DEL SATELITE EN GRADOS
55360 SATLONG=0; REM ...LONGITUD DEL SATELITE EN RADIANES
55370 ANTLONG=0; REM ...LONGITUD DE LA ANTENA EN RADIANES
55380 ANTLAT=0; REM ....LATITUD DE LA ANTENA EN RADIANES

```

```
55390 DIFLONG=C : REM ...DIF. ENTRE LA LONG.DE LA ANTENA Y DEL SATELITE
55400 D=0
55410 C=0
55420 CD=0
55430 EL=0
55440 RG=0
55450 I=0
55460 LN=0
55470 H9$=""
55480 NM$=""
55490 SN$=""
55500 DEF FN RAD(X)=X*PI/180
55510 DEF FN DEG(X)=X*180/PI
55520 DEF FN ACSN(X)=(-1)*ATN(X/SQR(-X*X+1))+PI/2
55530 WIDTH "LPT1:", 132
55600 RETURN
```

LISTA DE LAS COORDENADAS DE LOS SATELITES

PARA MEXICO DF.....CON LATITUD 18 Y LONGITUD 99

LA INCLINACION DE LA ANTENA ES 3.12 GRADOS

P. DE ALINEACION	P. ORBITAL grados	ACIUT grados	ELEVACION grados	ALTURA metros
	99	180	60.07	24202.72
SATCOM V	143	252.25	36.15	24920.47
SATCOM IR	139	249.78	40.12	24815.48
GALAXY I	135	246.95	44.06	24718.48
SATCOM IIR	131	243.68	47.94	24630.05
TELSTAR 303	125	237.64	53.50	24514.61
WESTAR V	122.5	234.59	55.83	24472.92
SPACENET I	120	231.16	58.01	24435.15
MORELOS F2	116.5	225.57	60.87	24389.04
ARIK D2	114	220.92	62.75	24341.04
MORELOS F1	113.5	219.92	63.11	24355.94
ARIK D1	104	195.8	66.1	24291.48
WESTAR IV	99	180	60.87	24282.72
TELSTAR 301	96	170.37	68.59	24285.88
GALAXY III	93.5	162.69	67.94	24293.32
WESTAR III	91	155.54	66.96	24305.12
TELSTAR 302	86	143.23	64.13	24341.65
SATCOM IV	83	137.14	62.02	24371.74
WESTAR II	79	130.33	58.85	24421.16
COMSTAR III	76	126.05	56.28	24465.05
GALAXY II	74	123.53	54.49	24497.47
SATCOM	72	121.23	52.66	24532.36
BRAZILSAT A2	70	119.13	50.79	24569.67
SPACENET 2	69	118.15	49.85	24589.22
BRAZILSAT A1	65	114.61	46.01	24673.16
INTELSAT V-FB	53	106.61	34.15	24975.77
INTELSAT IV-F1	50	105.03	31.16	25062.02
INTELSAT V-F2	34.5	98.38	15.79	25560.16
INTELSAT IVA-F1	31	97.11	12.57	25682.14
INTELSAT V-F4	27.5	95.9	9.97	25806.57
INTELSAT V-F3	24.5	94.89	6.07	25914.8
INTELSAT IVA-F4	21.5	93.91001	3.19	26024.14
INTELSAT V-F6	18.5	92.96	.32	26134.3

LISTA DE LAS COORDENADAS DE LOS SATELITES

PARA MONTERREY NUEVO LEON.....CON LATITUD 25.7 Y LONGITUD 100

LA DECLINACION DE LA ANTERA ES 4.34 GRADOS

P. DE ALINEACION	P. ORBITAL grados	ALINUT grados	ELEVACION grados	ALTURA metros
	100	100	59.95	24202.72
SATCOM V	143	245.05	34.02	24893.5
SATCOM IR	139	241.02	37.56	24790.46
GALAXY I	135	238.22	41.01	24695.55
SATCOM IIIR	131	234.18	44.35	24607.35
TELSTAR 303	125	227.07	49.06	24497.47
WESTAR V	122.5	223.68	50.87	24457.34
SPACENET I	120	220	52.58	24421.16
NORELOS F2	116.5	214.33	54.75	24377.34
ANIK D2	114	209.09	56.12	24351.01
NORELOS F1	113.5	208.96	56.37	24346.75
ANIK D1	104	189.15	59.62	24208.33
WESTAR IV	99	180	59.93	24203.07
TELSTAR 301	96	170.04	59.62	24208.33
GALAXY III	93.5	165.27	59.00	24257.52
WESTAR III	91	159.93	58.31	24311.05
TELSTAR 302	86	150.1	56.12	24351.01
SATCOM IV	83	144.01	54.46	24383.11
WESTAR II	79	138.48	51.91	24435.15
COMSTAR III	76	134.24	49.8	24480.95
GALAXY II	74	131.64	48.3	24514.61
SATCOM	72	129.2	46.76	24550.72
BRAZILSAT A2	70	126.91	45.17	24589.22
SPACENET 2	69	125.81	44.35	24609.35
BRAZILSAT A1	65	121.77	41.01	24695.55
INTELSAT V-FB	53	112.01	30.42	25004.09
INTELSAT IV-F1	50	104.99	27.69	25091.6
INTELSAT V-F2	34.5	101.17	13.48	25594.74
INTELSAT IVA-F1	31	99.45	10.27	25717.46
INTELSAT V-F4	27.5	97.78	7.08	25842.5
INTELSAT V-F3	24.5	96.39	4.36	25951.13
INTELSAT IVA-F4	21.5	95.04	1.65	26060.79

LISTA DE LAS COORDENADAS DE LOS SATELITES

PARA GUADALAJARA JALISCO.....CON LATITUD 21 Y LONGITUD 103.5

LA DECLINACION DE LA ANTENA ES 3.61 GRADOS

P. DE ALINEACION	P. ORBITAL grados	ACIUT grados	ELEVACION grados	ALTURA metros
	103.5	180	65.38	24282.72
INTELSAT IVA-F6	181	265.45	2.96	26024.14
SATCOM V	143	246.5	39.36	24802.9
SATCOM 1R	139	243.32	43.12	24706.95
GALAXY I	135	239.68	46.8	24619.63
SATCOM 111R	131	235.45	50.36	24541.46
TELSTAR 303	125	227.7	55.36	24442.39
WESTAR V	122.5	223.85	57.28	24407.82
SPACENET 1	120	219.57	59.06	24377.34
MORELOS F2	116.5	212.79	61.28	24341.65
ANIK 12	114	207.34	62.64	24321.24
MORELOS F1	113.5	206.19	62.88	24317.67
ANIK 11	104	180	65.38	24282.81
WESTAR IV	99	167.61	64.85	24289.82
TELSTAR 301	96	159.82	63.94	24302.41
GALAXY 111	93.5	153.8	62.88	24317.67
WESTAR III	91	148.25	61.57	24337.23
TELSTAR 302	86	138.65	58.36	24309.04
SATCOM IV	83	133.78	56.14	24428.08
WESTAR II	79	128.18	52.92	24489.13
COMSTAR III	76	124.54	50.36	24541.46
GALAXY 11	74	122.35	48.6	24579.37
SATCOM	72	120.31	46.8	24619.63
BRASILSAT A2	70	118.43	44.98	24662.10
SPACENET 2	69	117.53	44.05	24684.29
BRASILSAT A1	65	114.25	40.31	24778.13
INTELSAT V-FU	53	106.45	28.81	25106.55
INTELSAT IV-F1	50	104.85	25.91	25198.24
INTELSAT V-F2	34.5	97.83	11	25717.46
INTELSAT IVA-F1	31	96.44	7.68	25842.5
INTELSAT V-F4	27.5	95.1	4.37	25969.35
INTELSAT V-F3	24.5	93.98001	1.56	26079.14



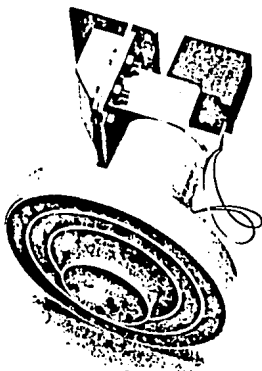
**II DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES  
DEL SISTEMA**

---

## II.1 ALIMENTADORES.

---

Los alimentadores tienen la importante función de recoger las microondas reflejadas en la superficie de la antena y de ignorar el ruido y las señales que vengan de direcciones excéntricas al eje. Esto debe lograrse con un mínimo de pérdida de señal y sin agregar una cantidad significativa de ruido. Un conjunto alimentador mal diseñado puede agregar hasta  $20^{\circ}$  K de ruido a un sistema doméstico vía satélite. Los alimentadores también escogen las señales de polaridad correcta y rechazan o discriminan las de polaridad opuesta.



(figura II.1.1)

### PATRON DE ILUMINACION Y RELACIONES f/D.

El término alimentador viene del área de las antenas ascendentes. Un alimentador rociaba o alimentaba microondas a la superficie del plato para que fueran reflejadas hacia el espacio. Antes de disponer de computadores poderosos, lo más fácil era diseñar un sistema de enlace descendente como si fuera uno

ascendente que funcionara al revés. El término alimentador a subaistido para describir el aparato recogedor de las ondas de la antena receptora.

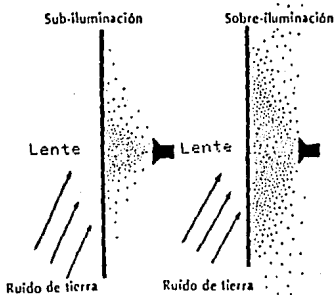
Por ello se dice que el alimentador ilumina el plato. El patrón de iluminación describe el campo visual del alimentador. Un sistema de iluminación perfecta captaría sólo radiación proveniente del plato de la antena; rechazaría toda radiación que viniera de cualquier otra fuente.

En la práctica, los alimentadores iluminan más fuertemente la parte central del plato y hacia los bordes pierde la capacidad de detectar microondas excéntricas.

Un alimentador que iluminara sólo la parte central de una antena recogería muy poco ruido ambiental, pero bajaría su ganancia al perder la parte de la señal recibida cerca de los bordes del plato. Por otra parte, un alimentador que sobreilumina el plato aprovecharía toda la ganancia disponible, pero introduciría demasiado ruido del suelo. Hay que recordar que en un día fresco de verano el suelo emite un cálido ruido de 290° K.

Los diseñadores de alimentadores han determinado que se puede optimizar la captación de señales y la reducción de ruidos, cuando el poder de captación en el borde del plato está fijado como para que la señal que reciba tenga una potencia de 14 a 16 dB menos que la que cae en el centro.

La relación  $f/D$  determina donde debe ubicarse el alimentador. Los alimentadores son optimizados para valores específicos de  $f/D$  pero operan bien en una gama centrada en tal valor óptimo.



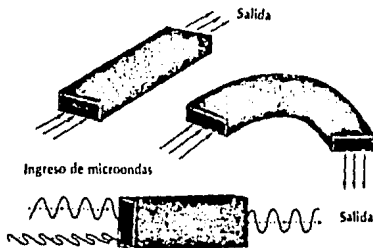
(figura II.1.2)

## DISEÑO DE ALIMENTADORES

Los alimentadores ven los campos eléctricos y magnéticos que les llegan de la superficie del plato. Para equilibrar la recepción de estos dos campos y, por ende, iluminar adecuadamente el plato, se usan anillos escalares.

Una vez que las microondas son captadas, se canalizan por una guía de onda a través de la garganta del alimentador. Las guías de onda son tubos huecos con sección circular, rectangular u otra que transmita microondas. Pueden ser comparados a los cables de fibra óptica que transmiten la luz. No se pueden transmitir señales de microondas por medio de guía de ondas a menos que su largo de onda sea menos de la mitad del tamaño de la guía de onda. La guía de onda de un alimentador debe tener medidas precisas para permitir la transmisión de la mayor cantidad de radiación posible.

Como se puede ver en la figura II.1.3, las guías de onda además de transmitir las microondas pueden separar las ondas con polarización horizontal y polarización vertical dependiendo de sus dimensiones.



(Figura II.1.3)

Una cantidad conocida como VSWR, o razón de onda estacionaria de tensión, mide la cantidad de la radiación que ingresa, rebota y se pierde. Los fabricantes de alimentadores deben diseñarlos para que tengan un VSWR mínimo. Un alimentador perfecto no debería devolver ninguna microonda al plato, con lo que tendría un VSWR de 1 a 1. Las razones de VSWR inferiores a 1.5 a 1 son aceptables, pero la de un alimentador de alta calidad debería ser por lo menos inferior a 1.3 a 1. Esta medida, mientras más baja sea, es mejor.

## SELECCION DE LA POLARIDAD.

Los alimentadores deben ser capaces de seleccionar la polaridad correcta y de rechazar todas las demás. Los satélites de transmisión de los E.E.U.U. emiten sus señales sólo con polarización vertical u horizontal. Las polaridades circulares son usadas por algunos satélites, como los soviéticos Gorizont y Molniya y por algunos vehículos INTELSAT. Los primeros alimentadores tenían un motor que simplemente giraba todo el cuerpo del mecanismo. Esto era engorroso y estaba expuesto a fallas mecánicas. En la actualidad se usan una serie de métodos más efectivos.

### Rotores mecánicos.

El tipo mecánico es el más común y consiste en un alimentador con un servomotor. Una pequeña sonda puede girar 180 grados para permitir la recepción y sintonización fina de la polaridad. Un tipo similar que usa un motor de corriente continua tiene una rotación de 360 grados, pero es más lento que el modelo con servo. La mayoría de los receptores disponibles en la actualidad incorporan controles para seleccionar polaridad de uno o ambos tipos. Estos dispositivos mecánicos agregan insignificantes cantidades de ruido a la señal del satélite.

### Dispositivos de ferrita.

Estos son instrumentos de estado sólido que escogen la polaridad al mandar una descarga eléctrica por un alambre enroscado alrededor de una barra de ferrita. El campo magnético así generado instantáneamente hace rotar el plano de polarización. Estos dispositivos no están sujetos a fallas mecánicas (con excepción de un probable corto circuito) y son preferibles para climas muy fríos, donde los dispositivos mecánicos están expuestos a trabamientos. Los dispositivos de ferrita a diferencia de los mecánicos, tienen algún ruido o pérdida de inserción, generalmente entre 15 y 30 grados Kelvin, o entre 0.2 y 0.4 dB.

### Diodos PIN.

La interrupción mediante diodos PIN es la menos usada ya que permite escoger solo dos direcciones de polaridad, dependiendo de la orientación de los dos diodos PIN. Además no se puede lograr una sintonización precisa y contribuyen un alto nivel de pérdidas y de ruido.

### Alimentadores dobles.

Los alimentadores de doble polaridad o juntas ortomodales

pueden escoger simultáneamente la polaridad vertical y la horizontal. La aceptación de tales dispositivos, comunes en las instalaciones comerciales de TV vía satélite se están extendiendo a las instalaciones domésticas también, porque permiten la captación simultánea de los 24 canales de cada satélite.

El funcionamiento de estos dispositivos se basa en la propiedad que tienen las guías de ondas de rechazar microondas con longitudes de ondas que excedan la mitad de su tamaño. Por ejemplo una guía de onda con sección de 2 por 0.3 cms, que reciba señales con un largo de 1 cm, dejará pasar sólo aquellas que estén polarizadas en la dimensión más ancha de los 2 cms. Ver figura II.1.3 .

Un alimentador doble usa dos guías de ondas del tamaño requerido perpendiculares entre sí. Un brazo transmite la polaridad horizontal y el otro la vertical. Se usan dos LNAs para amplificar las señales.

#### CONTROL DE POLARIDAD.

La selección de la polaridad generalmente se controla desde el receptor de video de tres maneras. Primero, cuando se cambia de un canal par a uno impar o vice-versa, el receptor responde automáticamente con un cambio de polaridad. Segundo, una vez que se ha escogido un canal, un regulador de sesgo permite una sintonización fina de la sonda. Tercero, ya que la mayoría de los satélites que transmiten en banda C usan dor diferentes formas de polaridad (todos los canales pares tienen la misma polaridad vertical u horizontal), casi todos los receptores tienen un selector de polaridad par/impar que permite cambiar la posición de la sonda con sólo presionar un botón.

#### POLARIZACION CIRCULAR.

Las señales de TV domésticas transmitidas por los satélites norte y sudamericanos tienen polarización horizontal o vertical. Por su parte, la mayoría de los satélites internacionales emiten sus transmisiones con polarización circular en lugar de lineal.

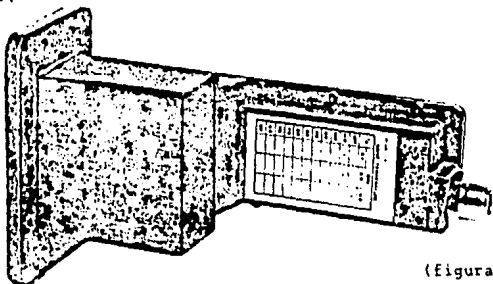
Un alimentador diseñado para captar señales de polarización lineal también puede recibir ondas de polarización circular, pero la potencia sufre una pérdida de aproximadamente 2 o 3 dB. Tal reducción de la potencia a la mitad resulta inadmisibles, especialmente cuando se sintonizan haces zonales que de por sí son débiles. Además, los alimentadores escalares normales no distinguen entre transmisiones RHCP (polarización circular derecha) y LHCP (polarización circular izquierda).

## II.2 AMPLIFICADOR DE BAJO NIVEL DE RUIDO (LNA).

Los amplificadores de bajo ruido, o LNA, desempeñan la importante función de detectar las microondas transmitidas desde el alimentador, convertirlas en corriente eléctrica y amplificar estas señales extremadamente débiles en 40 o 50 dB (de 10 000 a 100 000 veces). Las piezas más importantes para lograr que la recepción de una estación terrestre sea buena, son la antena y el LNA trabajando en conjunto. El LNA es el primer elemento electrónico o activo en la secuencia de procesamiento de una señal de satélite.

La potencia de la señal que ingresa en un LNA es increíblemente baja, de menos de una cien millonésima de mil millonésimas de watt. El LNA debe aportar muy poco ruido para que esta señal no se apague dentro del funcionamiento interno del amplificador. Esta proeza se logra gracias a recientes adelantos en la tecnología de los transistores.

Los primeros LNA que originalmente se usaron en radioastronomía, eran circuitos transistorizados paramétricos o comunes inmersos en baños de nitrógeno o de helio líquido. Se empleaba esta técnica porque a las bajas temperaturas así obtenidas, se lograba disminuir el movimiento molecular, y por ende, el ruido que éste genera. Los LNA modernos se hicieron posibles con el desarrollo del transistor de efecto de campo de arseniuro de Galio, conocido como GASFET. Estos transistores especiales inducen al LNA a comportarse como si se encontrara operando cerca del cero absoluto donde cesa todo movimiento molecular.



(Figura II.2.1)

### TEMPERATURA Y CIFRA DE RUIDO.

En la transmisión vía satélite es muy importante entender

bien el ruido, por que las débiles señales con las que se trabaja son solo levemente más fuertes que el infaltable ruido. El ruido es provocado por el movimiento de las moléculas, que generan corrientes eléctricas y como consecuencia, ondas electromagnéticas, algunas de las cuales están en la misma banda de frecuencia de microondas que las de las transmisiones via satélite. La escala empleada para medir el ruido se basa en el hecho de que a cero grados Kelvin, o cero absoluto (-273.18 grados centígrados), no hay ruido. Los LNA comunes tienen temperaturas de ruido que van desde 60 a 120°K.

También se considera como ruido a la interferencia, si bien generalmente son originadas por el hombre, a menudo mediante dispositivos de comunicación. Los LNA de mejor calidad, con menor temperatura de ruido, captan menos ruido aleatorio pero son más sensibles a otras señales organizadas, ya sea de satélites o de otras fuentes artificiales.

La potencia del ruido está en relación directa con el ancho de banda de la señal, así como con la temperatura interior del equipo y del ambiente. A medida que se aumenta la amplitud de banda, se detecta más ruido, el que se agrega a la señal. Por lo tanto, se puede disminuir la cantidad de ruido e interferencia que se puede detectar mediante la disminución del ancho de banda de las señales que se deja entrar al amplificador.

Las características de un LNA, o de cualquier otro aparato electrónico, en ocasiones se describe en términos del factor de ruido. Este valor está en relación directa a la cantidad de ruido aportada por el funcionamiento interno de tales aparatos. La cifra de ruido es, simplemente, el factor de ruido expresado en dB. En la tabla II.2.1 se muestran algunos valores típicos de estas cantidades.

EQUIVALENCIAS ENTRE CIFRAS Y TEMPERATURAS DE RUIDO	
Temperatura de ruido (°K)	Cifra de ruido (dB)
60	0.819
65	0.881
70	0.942
75	1.002
80	1.061
85	1.120
90	1.177
95	1.234
100	1.291
110	1.401
120	1.508

(tabla II.2.1)



## DISEÑO Y OPERACION DE LOS LNA.

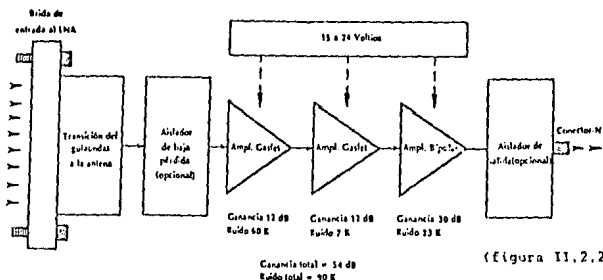
Todos los diseños de LNA tienen forma similar, porque la sección de la guía de onda debe tener las dimensiones de la banda C. La brida y la guía de onda de entrada miden 58.2 mm por 42.1 mm, y a veces se incorporan controles de sintonización fina para permitirle efectuar pequeños cambios en su dimensión interna. Esto permite que un LNA de fabricación muy precisa, sea sintonizado aún más precisamente para lograr su máximo rendimiento en equipos complejos. Tal regulación permite minimizar la pérdida de señal a su ingreso al LNA.

Todo LNA tiene una sonda interna, que es la verdadera antena de microondas. Esta pequeña antena metálica recibe las microondas y las convierte en corriente eléctrica. Una sonda de corriente continua cortocircuitada a tierra, evita que el alto voltaje de las descargas de los rayos que caigan cerca quemen los componentes internos. (Ningun LNA puede resistir el impacto directo de un rayo). La sonda está instalada en la posición correcta, precisa, para maximizar la recepción de la señal y nunca se debe tocar, aún si parece algo torcida.

Los componentes electrónicos de un LNA están cerrados en una caja hermética. Con ello se trata de evitar el efecto destructivo que el vapor de agua ejerce en el funcionamiento de los componentes electrónicos.

Cada LNA se compone de varias etapas de transistores GASFET (generalmente dos o tres) en cascada, seguidas por varias etapas de amplificación convencional. En el circuito también se incluye un regulador de voltaje. Los LNA generalmente consumen de 80 a 150 ma de corriente y funcionan con corriente continua de 15 a 24 volta.

Como se puede ver en la figura II.2.2 se presenta un esquema de un LNA, cada etapa del LNA contribuye no sólo con ganancia sino también con ruido.



(Figura II.2.2)

## EVALUACION DEL RENDIMIENTO DEL LNA.

El factor principal al juzgar el rendimiento y la calidad de un LNA, es la temperatura de ruido. Esto es asumiendo que la ganancia es suficiente y que los aspectos importantes de diseño han sido resueltos.

### Temperatura de ruido.

El LNA es la sección de entrada de un sistema receptor vía satélite. El ruido que aporta a la señal de entrada, constituye el ruido de fondo y tiene un gran efecto en determinar la calidad de la imagen. En la actualidad se puede obtener a precios razonables un LNA con temperatura de ruido de  $120^{\circ}\text{K}$  hasta tan sólo de  $60^{\circ}\text{K}$ . Llama la atención que un LNA de  $85^{\circ}\text{K}$  que en 1981 se vendía por 5000 dolares ahora se puede obtener por menos de 100 dolares. La temperatura de ruido del LNA varía a través de la banda de frecuencia de diseño. La mayoría de los fabricantes indican la temperaturas de ruido medida a 3.7, 3.95 y 4.2 GHz, en una placa metálica adjunta. La clasificación general deberá reflejar la temperatura de ruido más alta de esta gama.

El rendimiento del LNA en cierta medida también está determinado por la temperatura del ambiente en que opera. Así por ejemplo, un LNA que funcione con una cubierta negra a mediodía en el desierto, con una temperatura de 60 grados centígrados, generará mucho más ruido. La sensibilidad de la temperatura de ruido del LNA a la temperatura ambiental puede variar de 0.9 a  $0.5^{\circ}\text{K}$  por cada 10 grados centígrados de la elevación de la temperatura por encima de los 25 grados centígrados, por ejemplo, un LNA de  $90^{\circ}\text{K}$  podría funcionar como un dispositivo de 92 grados si la temperatura de operación se elevara en 20 grados centígrados. Por otra parte, el rendimiento mejoraría en igual medida si la temperatura de operación fuera menor. La mayoría de los fabricantes protegen sus productos de temperaturas extremas mediante el uso de una pintura de caucho o esmalte.

### Ganancia.

La ganancia de los LNA va desde 30 dB hasta más de 50 dB. Lo importante de la ganancia en esencia es simple, o es suficiente o no lo es. Pasado cierto punto, el añadir ganancia adicional no hace nada por mejorar el rendimiento del sistema. Aunque algunas pruebas han demostrado que ello ocurre en algún punto entre los 35 y los 40 dB, se debe considerar 40 dB como la ganancia mínima, esencialmente cuando se usa plato pequeño o subdimensionado y/o cables de 4 GHz con un tendido de más de unos 1.8 m entre el LNA y el convertidor de bajada.

La ganancia también varía con la temperatura ambiente y con la frecuencia. A medida que la temperatura aumenta, la ganancia disminuye, típicamente a razón de 0.6 dB por cada 10 grados

centígrados de elevación de la temperatura. Esta variación es de poca importancia, excepto cuando se opera en ambientes sumamente hostiles, como el espacio exterior. También se presentan pequeñas variaciones de ganancia a lo largo de la gama de frecuencias de banda C. Un LNA perfectamente lineal amplificaría cada frecuencia exactamente igual, en general, las variaciones son tan pequeñas que son insignificantes. Una desviación de la linealidad lo suficientemente grande como para provocar la inestabilidad y la oscilación de un LNA, es más posible a temperaturas ambientales extremadamente frías por debajo de los -40 grados centígrados.

Un LNA perfecto sólo amplificaría las señales en la banda de frecuencia de diseño y rechazaría las demás. Lo que ocurre en la práctica es una caída rápida, pero medible, de la ganancia en las frecuencias fuera de banda. El rechazo de las señales fuera de banda es esencialmente valioso cuando existe el riesgo de captar, involuntariamente, señales de comunicaciones locales en frecuencias cercanas. En este caso, el mayor riesgo lo presentaría algún aficionado en microondas o el radar de la Fuerza Aérea, a 3.5 y 4.5 GHz respectivamente. El rechazo de señal fuera de banda preocupa más en la conversión descendente en bloque, que para los sistemas de 70 MHz que transmiten en frecuencias de 450 y 1450 MHz más cercanas a la banda C. Algunos LNA han producido ganancia y ruido significativos en esta gama de 450 a 1450 MHz. La mayoría de los LNA bien construidos tienen filtros pasabanda para el rechazo de frecuencias bajo 3.7 GHz y sobre 4.2 GHz para minimizar el riesgo de ocurrencia de tales problemas. Los LNA, al igual que los alimentadores, tienen una valuación VSWR. Se encuentra esta relación de onda estacionaria de tensión, al dividir la potencia de la señal de entrada por aquella que entra al LNA efectivamente. En un equipo perfecto, donde nada de la señal se refleja, la razón es de 1 a 1. En la práctica, la razón es de 1.3 a 1 en los LNA de alta calidad.

#### LNA, LNB Y LNC.

Algunos LNA no sólo amplifican la señal del satélite, sino que además desempeñan algunas de las funciones de un convertidor de bajada. Los convertidores de bajada hacen lo que indica su nombre. Reducen toda o parte de la gama de frecuencia desde 3.7 a 4.2 GHz a la meta final de 70 MHz o a algún valor intermedio. En un sistema convencional se usa un tramo corto de cable o un conector entre el LNA y el convertidor de bajada que va montado junto al LNA o inmediatamente debajo del plato, para un mejor resultado.

Un LNC combina las funciones del convertidor de bajada y las del LNA en un solo conjunto. Este aparato reduce a 70 MHz la frecuencia de cada canal del satélite a medida que el receptor lo solicite.

Un LNB combina, en una unidad, las funciones del LNA con las del convertidor descendente en bloque. De un solo paso, reduce la

frecuencia de la totalidad de la banda de 500 MHz a una gama intermedia.

COMPARACION ENTRE EL LNA, LNB Y LNC			
	LNA	LNB	LNC
Amplificación	X	X	X
Conversión		X	X
Selección de canales			X

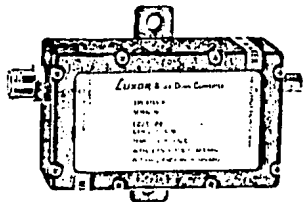
(tabla II.2.2)

#### CONEXIONES ELECTRICAS.

Las conexiones eléctricas de los LNA, LNB y LNC son sencillas. Los LNA tienen un conector-N hembra de salida que debe ser conectado a un convertidor de bajada, ya sea directamente o por medio de un cable coaxial RG-214 corto. Los LNB y LNC usan un conector-F y puede ser conectado por cable, directamente al receptor de video. Los primeros LNA necesitaban un segundo cable de poder. En la actualidad la energía casi siempre se transmite por medio del cable coaxial que también conduce las señales.

### II.3 CONVERTIDORES DE BAJADA.

Una vez que el LNA ha amplificado la banda de frecuencia de 500 MHz que le llega del satélite, ésta se envía a un convertidor de bajada mediante un cable coaxial o, generalmente, mediante un conector N de acople directo macho a macho. La señal entre 3.7 y 4.2 GHz se convierte, total o parcialmente, a una gama de frecuencias menor. La información contenida se mantiene idéntica. El propósito de este paso es de permitir el uso de cables más baratos y con pérdidas menores, como el RG-6 o RG-59, para enviar la señal al receptor que está puerta adentro.



(figura II.3.1)

#### METODOS DE CONVERSION DE BAJADA.

Actualmente se usan tres esquemas de conversión de bajada diferentes: conversión de bajada individual, conversión de bajada doble y conversión descendente en bloque. Para entender cómo funcionan estos, es necesario examinar la forma en que se seleccionan los canales.

Cada uno de los 24 canales transmitidos hacia la Tierra ocupa una amplitud de banda de 36 MHz. Uno de estos canales se

selecciona, cuando su banda de 36 MHz es convertida a una centrada en 70 MHz o a alguna otra IF final. Así, por ejemplo, si se desea el canal 10, el cual tiene una frecuencia centrada en 3900 MHz y una amplitud de banda de 36 MHz, el convertidor / receptor baja electrónicamente este bloque de frecuencias a uno centrado en 70 MHz. Si se selecciona el canal 22 centrado en 4140 MHz, la gama de 36 MHz que rodea esta frecuencia también es bajada a una central de 70 MHz. Todos los demás canales siguen un procedimiento similar.

La reducción se logra por un proceso llamado heterodinización, o mezclado. Por ejemplo, si se mezcla una señal de 1000 MHz con una de 900 MHz se crean la suma y la diferencia de las frecuencias de 1900 y 100 MHz respectivamente. De esta forma, cuando un filtro selectivo elimina las frecuencias más altas, lo que se consigue es bajar la señal de 1000 MHz a una que retiene toda la información original pero que está centrada en 100 MHz.

Cuando un receptor de satélite envía corriente a un oscilador sintonizable por tensión (VTO), se produce el mezclado de frecuencias deseado. Tanto en las unidades convertidoras individuales como en las dobles, el VTO se encuentra dentro del convertidor de bajada. En los sistemas de conversión descendente en bloque, el oscilador variable se encuentra dentro del receptor en la casa, y el oscilador convertidor se fija a una frecuencia determinada.

La elección de los 70 MHz como la IF estándar, es arbitraria. Se podría haber escogido otra frecuencia. Este estándar, de aceptación general, emergió porque cuando se estaban desarrollando los receptores de satélite, un circuito llamado detector de circuito de sintonización de fase (PLL) necesario en el receptor de video, sólo se ofrecía con una capacidad de funcionamiento máximo de 35 MHz. Este elemento ya había sido usado para las microondas telefónicas. La IF de satélites de 70 MHz se dividió por dos y se pudieron usar componentes más económicos. Actualmente, los detectores PLL operan a frecuencias tan altas como 612 MHz. Muchos fabricantes de receptores han conservado esta IF de 70 MHz porque así la pérdida de señal de los cables es menor que si se usara un detector PLL de frecuencia más alta.

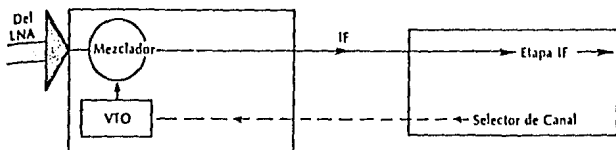
#### Conversión descendente individual.

Los convertidores de bajada individuales bajan el canal de satélite seleccionado a la IF de 70 MHz, en un solo paso. La perilla ó botón de selección de canal selecciona un determinado voltaje para ser enviado al VTO. Se produce una frecuencia de mezclado de 70 MHz más alta o más baja que la del centro de la frecuencia del canal. Después del mezclado se obtiene la frecuencia diferencial de 70 MHz como se deseaba. Por ejemplo, si se elige el canal 10 con una frecuencia de 3900 MHz, la frecuencia de mezclado del oscilador se fija en 3830 MHz, si se

elige el canal 17 con un centro de frecuencia de 4040 MHz, el VTO generará una frecuencia de mezclado de 3970 MHz.

Los convertidores individuales de frecuencia presentan un problema potencial porque también produce una frecuencia de imagen a 70 MHz encima o debajo del centro de frecuencia del canal deseado y es posible que ésta se filtre de regreso al sistema. Todos los receptores de video eliminan en parte este riesgo mediante el uso de un circuito llamado mezclador rechazador de imagen. Se puede lograr protección adicional instalando un aislador de ferrita en la entrada del convertidor, para que impida el ingreso al sistema de estas señales no deseadas.

#### Reducción Individual



VTO = Oscilador sintonizable por tensión.

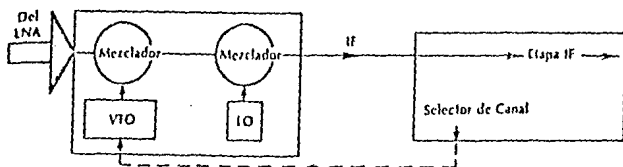
IF = Típicamente 70 MHz.

(Figura 11.3.2)

#### Conversión descendente doble.

Los convertidores dobles logran la IF final en dos etapas. A menudo, pero no siempre, se usan 810 MHz como frecuencia intermedia de selección de canal. Luego se mezcla un oscilador fijo, llamado oscilador local (LO), fijado a 70 MHz debajo de la frecuencia intermedia para producir los 70 MHz finales. Por ejemplo, si se escoge el canal 10 con un centro de frecuencia de 3900 MHz, el VTO lo mezcla con una frecuencia de 3900 menos 810 MHz, o sea de 3090 MHz. A continuación los 810 MHz intermedios se mezclan con los otros 740 MHz del LO, para reducir la señal a una que esté centrada a 70 MHz.

### Reducción Doble



VTO = Oscilador sintonizable por tensión.  
 LO = Oscilador local fijo.  
 IF = Típicamente 70 MHz.

(Figura II.3.3)

### Conversión descendente en bloque,

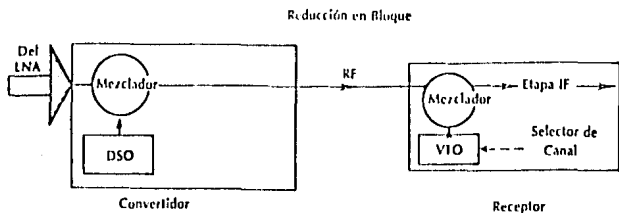
Los convertidores en bloque usan un DSO para reducir la banda de 500 MHz completa a una gama intermedia. Las dos gamas de frecuencia que se prefieren como norma son 950 a 1450 MHz y 440 a 940 MHz. Ambas tienen una amplitud de banda de 500 MHz y retienen toda la información original contenida en la banda de 3.7 a 4.2 GHz. Esta señal se envía al receptor de video. Entonces, en un segundo convertidor, un VTO mezcla esta banda con la frecuencia de selección de canal para producir la IF final, que típicamente es de 70 MHz.

Los sistemas de conversión descendente en bloques tienen una ventaja sobresaliente. Dos o más receptores pueden escoger canales independientes porque cada uno usando su mezclador interno y su VTO, puede escoger el canal que desee del bloque intermedio que a una frecuencia más baja contiene toda la información transmitida desde el plato. Los receptores de satélite con convertidores en bloque, también son menos susceptibles al desplazamiento del canal escogido, porque dicha selección ocurre bajo techo donde las piezas electrónicas están protegidas de las grandes fluctuaciones de temperatura y humedad.

Ambas gamas de frecuencias intermedias tienen ventajas y desventajas. La más baja, de 440 a 940 MHz, permite el uso de elementos de TV UHF que son de bajo costo y fácil de obtener, que son amplificadores y separadores. No obstante, existe la posibilidad de que se encuentre interferencia de transmisores UHF, radiomóviles celulares o sistemas de cable, ya que todos comparten la misma banda de frecuencia. Se pueden evitar estos riesgos de interferencia al usar la gama de frecuencia más alta entre 950 y 1450 MHz, pero para ello se necesitan componentes más costosos y con pérdidas más grandes en los cables.



También se puede lograr la conversión descendente en bloque mediante el uso de un LNB o de una combinación LNA/convertidor en bloque. La única diferencia consiste en que el LNB combina ambas funciones en una sola caja.



VCO = Oscilador controlable por tensión.  
 DSO = Oscilador fijo con estabilización dieléctrica.  
 RF = Típicamente 950 a 1450 MHz.  
 IF = Típicamente 70 MHz.

(figura 11.3.4)

---

## II.4 RECEPTORES DE SATELITE.

---

El receptor de video selecciona el canal deseado y procesa la señal del satélite a una forma aceptable para un televisor o monitor de TV. El convertidor, al que se considera parte integral de cualquier receptor, hace juego con el receptor aunque casi siempre está ubicado afuera, en una caja separada en el plato.

El receptor de satélites moderno, liviano, pequeño y de buena presentación, constituye la estación de control de un sistema doméstico de recepción de satélites. Todos los receptores de video tienen la misma tarea básica, que es preparar la señal captada por un plato de microondas para ser vista en TV o escuchada en equipo estéreo.

### FUNCIONAMIENTO DE LOS RECEPTORES.

Un receptor de video consiste de un convertidor de bajada, una etapa de IF final, un discriminador, un procesador de video y audio y, en la mayoría de los casos, de un modulador integrado. El convertidor de bajada así como la etapa de IF final, se estudiaron anteriormente en este mismo capítulo,

#### Detector / demodulador.

Este circuito procesa la señal de TV modulada en FM del satélite a una forma llamada señal de banda de base. Esta señal contiene toda la información original de audio y de video, en una amplitud de banda de aproximadamente 10 MHz. Esta señal de banda de base constituye la entrada de los procesadores y decodificadores de estéreo.

En la actualidad se usan dos tipos de demoduladores, cada uno con sus ventajas y desventajas. El circuito de sincronización de fase (PLL) es capaz de detectar señales más débiles y de discriminar entre la señal deseada y la interferencia. Algunos de los PLLs baratos, a veces tienden a producir una imagen levemente borrosa; en casos extremos los colores brillantes, o las escenas de alto contraste pueden desgarrarse o rayarse y la imagen puede parpadear. La línea retardadora coaxial no es tan efectiva como el PLL para distinguir entre señales de satélite y la interferencia, o de detectar señales de potencia marginal. Sin embargo, cuando la potencia de la señal es suficiente, este tipo de demodulador entrega imágenes claras y nítidas con colores bien definidos.

## Procesadores de Video y de Audio.

Los procesadores de video eliminan una señal de 30 MHz llamada "perfil de onda de dispersión de energía" y, en diseños más avanzados, rastrean y corrigen los niveles de blanco y negro de la señal de video. El perfil de dispersión se agregó a las transmisiones vía satélite en los E.E.U.U. por orden de la Comisión Federal de Comunicaciones. Le da a estas señales una identidad distinguible de las señales de las fuentes terrestres de microondas que comparten la misma banda de frecuencias.

El procesador de video entrega a un amplificador la información de la banda de base de video entre 0 y 4.2 MHz. El procesador de audio selecciona de una subportadora escogida, la información de audio con una variación de frecuencia entre 30 y 15 000 KHz. Las emisiones vía satélite transmiten las señales de audio en subportadoras entre 5.0 y 8.0 MHz. La información de audio necesaria para suplementar las imágenes de TV, generalmente es llevada por una subportadora de 6.8 MHz que puede ser seleccionada mediante una perilla del panel frontal.

## Modulador.

Se necesita el modulador para "retransmitir" las señales de audio y video, sin procesar, en AM para que pueda ser entendida por una TV convencional. La selección de la frecuencia de modulación determina el canal que recibirá la programación del satélite. Generalmente se seleccionan los canales 3 ó 4.

Todos los satélites son capaces de transmitir hasta 24 canales de TV más varias subportadoras de audio por cada canal. Para escoger un canal, el receptor de video primero dirige los circuitos de rotación de la sonda para que escojan la polaridad deseada.

## SELECCION DE CANALES.

El sintonizador envía corriente al VTO para seleccionar el canal, como ya se analizó en la parte correspondiente al convertidor de bajada.

## EVALUACION DEL RENDIMIENTO DEL RECEPTOR.

En última instancia, la calidad de un receptor se juzga por la claridad y fidelidad de la imagen de TV y la nitidez de su sonido. Estos se miden por la amplitud de la banda de video, el umbral del receptor y por el método de sintonización usado. Todos estos a su vez están determinados por la calidad de sus componentes, así como la atención puesta en su diseño y fabricación.

### Amplitud de banda de video.

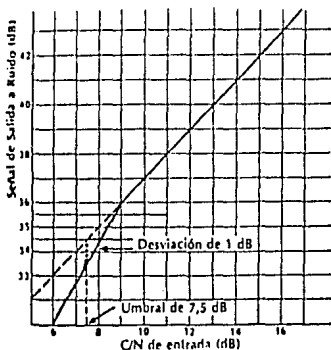
La mayoría de las emisiones vía satélite se transmiten en una banda completa de 36 MHz. Sin embargo, una imagen de TV aceptable se puede producir usando una amplitud de banda de tan sólo 15MHz.

Tanto la fidelidad como la claridad varían con la amplitud de banda. A medida que la amplitud de banda se reduce, la fidelidad de la imagen se deteriora. Los detalles de la imagen se pierden lentamente y las tonalidades de color comienzan a variar. No obstante, los receptores con amplitud de banda más angosta también captan menos potencia de ruido, con lo que se evitan los centellos no deseables. Por lo tanto, se puede intercambiar claridad por fidelidad de la imagen. Se ha podido establecer que no se puede distinguir la diferencia en la claridad de una imagen con una amplitud de banda de 28 MHz, de aquella con una de 36 MHz. Por ello, los fabricantes de receptores de satélites han adoptado esta amplitud menor como norma. Los receptores de satélites domésticos a menudo usan una amplitud de banda inferior a 28 MHz para minimizar el ruido. Algunos modelos incluyen en su panel frontal una perilla reguladora de la amplitud de banda, una característica muy útil.

### Umbral del receptor.

El umbral de un receptor de video determina cuán débil pueda ser una señal medida por la razón de potencia entre la portadora y el ruido (C/N), antes de que una imagen se torne inaceptable.

Si el C/N con que se alimenta un receptor se grafica contra su razón de potencia de señal de salida a ruido (S/N), se obtiene una línea recta. Esto significa que a un cambio dado de entrada, hay un cambio proporcional de la salida. Por ejemplo, si una entrada de 1 vatio produce una salida de 5 vatios, entonces una entrada de 2 vatios producirá una salida de 10 vatios.



(Figura II.4.1)

El umbral se mide en aquel punto en el cual la desviación de la linealidad, o la recta del gráfico, es de un decibel. Cerca o debajo del umbral es donde comienzan a aparecer las chispas (ver figura II.4.1). Estudios efectuados sobre valoración subjetiva de la calidad han mostrado que está se juzga como sigue:

CALIDAD DE IMAGEN Y UMBRAL DEL RECEPTOR. (Umbral escogido de 8 dB)	
Decibeles encima o debajo del umbral.	Calidad de la imagen
5	Extremadamente ruidosa; desgarramiento, ruido de audio.
6	Algo mejor, con chispas.
7	Contemplable, pero con chispas.
9	Muy buena imagen; con chispas [sólo en los colores saturados.]
8	Umbral escogido (pocas chispas)
10	Calidad de cinta de video.
11	Calidad de TV de cable.

(tabla II.4.1)

La mayoría de los receptores de satélites domésticos tienen umbrales con un C/N cercano a 8 dB, de acuerdo con la tabla es evidente que una señal de 5 dB produciría una imagen inaceptable.

Para reducir el umbral de video se cuenta con técnicas de extensión. El método más efectivo es el empleo de componentes de la mejor calidad posible que contribuyan con un mínimo de ruido a la señal que se procesa. Un segundo método consiste en reducir la amplitud de la banda, aunque con ello se produce alguna pérdida en la fidelidad de la imagen.

#### CONEXIONES ELECTRICAS.

La conexión de un receptor de video es relativamente sencilla. Todos los receptores tienen una terminal de entrada para recibir la IF del convertidor y uno de salida de RF a los televisores. Ambas terminales casi siempre usan conectores-F

estándar. Generalmente también tienen tres conexiones de tornillo para los alambres de selección de polaridad: tierra, pulso y 5.7 volts de CC. A veces también se incluye un juego separado de conectores de tornillos, apropiados para un dispositivo de selección de polaridad con motor de CC. Si además el receptor incorpora un actuador, habrá que conectar también cuatro o cinco terminales para el motor y los contadores. Las conexiones de potencia de los receptores no son siempre iguales. Algunos receptores envían la potencia del convertidor por la línea de IF, mientras que otros emplean conectores bialámbricos con rosca.

También hay otras terminales de salida disponibles. Generalmente se dispone de un acceso a la señal de banda de base no procesada, el video compuesto y sin filtrar, para su transmisión a un procesador de estéreo o decodificador.

### CONTROLES Y REGULACIONES,

Todos los receptores tienen algunos controles estándar, como interruptor principal, selector de canales, selector de subportadora de audio, regulación de la polaridad y del sesgo, y generalmente de sintonización fina de video. Hay muchos otros controles en las diferentes marcas. Estos incluyen interruptores o botones para seleccionar formato estéreo, filtros de banda de audio angosta/ancho y control de amplitud de la banda de video. Algunos receptores vienen equipados con medidores de potencia de la señal y ocasionalmente, con un medidor centrado de frecuencias.

---

## II.5 CABLE COAXIAL.

---

Tanto el LNA con el convertidor de bajada, como este último con el receptor, están unidos entre sí por un cable coaxial, que es una configuración especial de conductores. Los alambres individuales de cobre o aluminio, son adecuados para conducir la electricidad de baja frecuencia usada por el común de los aparatos electrodomésticos. Sin embargo, si se usan para transmitir microondas de frecuencias más altas, tienden a comportarse como antenas y a irradiar la mayor parte de la potencia. En el caso de señales de frecuencias excepcionalmente altas, como las de transmisión vía satélite, se requieren cables especialmente diseñados para evitar la pérdida o atenuación casi total de la señal transmitida.

Los cables coaxiales se componen de conductores concéntricos, separados por un material dieléctrico. Todo el conjunto va cubierto por una funda no conductora como protección contra los elementos. La señal viaja por la superficie del alambre central. El conductor cilíndrico exterior está conectado a tierra y reduce en gran medida las pérdidas por radiación o frecuencias de señal alta.

### TIPOS DE CABLES COAXIAL.

Hay una amplia variedad de cables coaxiales. Dependiendo del material de su funda dieléctrica, se les conoce como de línea dura, coaxial común o dieléctrico de espuma o aire. Los cables coaxiales tienen una o dos capas metálicas flexibles conectadas a tierra y envueltas alrededor de un dieléctrico de plástico. Los dieléctricos usados en los cables coaxiales de TV domésticos son de polipropileno, que es una sustancia dura y translúcida, o de espuma de polietileno, un material blanco y blando. El conductor exterior, generalmente una vaina trenzada de hilo de cobre o aluminio, frecuentemente es sustituida o reforzada con una envoltura sólida, para disminuir aún más las pérdidas y la posibilidad de ingresos de interferencia. La calidad del trenzado se evalúa según el porcentaje de la superficie interior que queda cubierta por él. Es común un trenzado de 98 %. Para las instalaciones expuestas al ingreso de interferencia causadas por otras comunicaciones locales en banda de frecuencia cercana a la banda C de los satélites, se recomienda el uso de cables con una protección de 100 %.

Los cables coaxiales con dieléctricos de espuma o de aire comprimido, aunque generalmente más costosos que los coaxiales comunes, tienen pérdidas menores. Los coaxiales de forro duro se parecen a los anteriores, con la excepción de que gracias a una

funda rígida de metal y a una cantidad mínima de dieléctrico de alta calidad tiene pérdidas aún menores. Estos cables de ferro duro se usan generalmente para las líneas troncales de TV de cable.

Los cables que a menudo se encuentran en las instalaciones de TV vía satélite son los tipos RG-6, RG-59, RG-214. Este último está aprobado para frecuencias de microondas y se le usa entre el LNA y el convertidor de bajada cuando es necesario. Los RG-6 y RG-59 conducen señales de IF de frecuencias más bajas, desde el convertidor de bajada o el LNB, a un receptor de satélite. La nomenclatura de los cables coaxiales es de origen militar y no tienen mayor significado en el mercado de TV doméstica vía satélite.

### EVALUACION DEL RENDIMIENTO Y USO DE LOS CABLES.

Entre los criterios de desempeño usados para evaluar un cable coaxial se incluyen los de impedancia característica, pérdida de potencia de la señal por unidad de distancia y composición del material. Estos factores determinan el tipo más adecuado para cada uso.

#### Impedancia característica.

Todo conductor opone cierta resistencia al flujo de corriente, causando con ello alguna pérdida de la señal. Así mismo, los voltajes de los conductores interior y exterior interactúan entre sí (lo cual se conoce técnicamente como capacitancia e inductancia). Estos dos factores determinan el valor llamado impedancia característica. Los valores más comunes de esta medida de los cables coaxiales usados en sistemas de distribución de TV son 50 y 75 ohms.

Es muy importante conocer la impedancia característica al diseñar un sistema electrónico. Todo artefacto electrónico tiene su propia impedancia característica. Si la impedancia del cable no corresponde con la del aparato al que alimenta, se producirá una pérdida importante de potencia por reflexión. Esta disparidad equivale a alimentar agua de una tubería grande a una pequeña y experimentar la consecuente resistencia al flujo. Así mismo, si la impedancia de salida de un amplificador no coincide con la impedancia del cable coaxial, ocurrirán reflexiones y pérdidas.

Esta idea es similar al concepto básico del VSWR, la medida de reflexión de una señal usada para alimentadores y LNA. Si corresponden las impedancias entre la antena y los componentes del alimentador, entre el alimentador y el LNA e internamente en el LNA, las pérdidas se mantendrán a un nivel aceptablemente bajo. No obstante, cualquier eslabón débil en esta cadena debilitará seriamente el rendimiento del sistema.



### Pérdidas de señal.

Los cables coaxiales también se clasifican de acuerdo a la pérdida en dB por unidad de distancia. Estas pérdidas por distancia dependen mucho de la frecuencia. Algunos cables, como el RG-6, con pérdidas perfectamente aceptables a 1 GHz se vuelven inútiles a 4 GHz. El RG-214 por ejemplo, tiene una atenuación de 21.5 dB por 30.5 m (100 pies) ó 0.705 dB/m (0.215 dB/pie) a 4 GHz. Así es que la transmisión de una señal de 4 GHz a 4.2 m (14 pies) por un cable coaxial RG-214, produce una pérdida de 3 dB lo que equivale a dividir la potencia de la señal por la mitad. Cuando se usan sistemas de conversión descendente en bloque de 950 a 1450 MHz, el cable RG-6 pierde 8.7 dB por 30.5 m (100 pies) al extremo superior de la frecuencia, con la que un tendido de 46 m (150 pies) producirá una atenuación de 13.1 dB. Resulta obvio que los tendidos de cables deben ser tan cortos como sea posible. Estas consideraciones determinan que si el cable tendido entre el convertidor de bajada y el receptor de satélites tiene más de 46 m (150 pies), se deberá usar el cable RG-6 en lugar del RG-59 de pérdida mayor.

En la tabla II.5.1 se detallan valores de pérdidas de señal por unidad de distancia, a frecuencias de 100 MHz, 1450 MHz y 4 GHz, en los cables de uso frecuente en las instalaciones de TV vía satélite

CARACTERISTICAS DE CABLES COAXIALES COMUNES				
Tipo de cable	Pérdida de señal (dB/100 pies)			Impedancia
	100 MHz	1450 MHz	4 GHz	
RG-59	3.40	11	N/A	75
RG-6A	2.70	8.7	N/A	75
RG-11	2.30	7.0	N/A	75
RG-8A	1.90		23.0	50
RG-213	1.90		21.5	50
RG-214	2.30		21.5	50
9913	N/A		11.00	50
9914	N/A		13.00	50

(tabla II.5.1)

En general, mientras más alta es la frecuencia de la señal, más alta es la pérdida. Mientras más alta la frecuencia de las señales empleada, los errores de instalación de cables y conectores causan un mayor deterioro del desempeño. Por ejemplo, cuando el cable coaxial no está correctamente conectado detrás del LNA, habrá 70 % más pérdidas a 12 GHz que a 4 GHz. Los

receptores de video modernos, con convertidores de bajada en el plato, tienen dos ventajas sobre los modelos anteriores que transmitían hacia el interior de la casa las frecuencias más altas de 4 GHz. Se gasta menos en cables coaxiales y se minimiza el riesgo de error en la instalación. Las pérdidas en cada tipo de cable también pueden depender de detalles de fabricación, como el diámetro del conductor central.

Por ejemplo, el alambre central de los cables ALPHA 9059 y 9803, ambos de tipo RG-59, es de diferente diámetro. Por ello sus atenuaciones a 900 MHz son diferentes; 10.7 y 10.2 por cada 100 pies respectivamente. La tabla II.5.2 muestra algunos ejemplos. Los valores de la atenuación a 400 y 900 MHz son aplicables a sistemas de conversión descendente en bloque.

PERDIDAS Y TIPO DE CABLE COAXIAL					
Tipo de cable	Modelo	Tipo de funda	Atenuación (dB/100 pies)		
			400 MHz	900MHz	
RG-6	8278	Lámina y alambre	4.5	6.9	
RG-6	9248	Lámina y trenzado de Cu	4.5	6.9	
RG-11	9230	Lámina y alambre	3.2	5.2	
RG-11	9292	Lámina y trenzado de Cu	3.2	5.2	
RG-59	8241	95% de Cu	7.1	10.9	
RG-59	9278	Lámina y alambre	5.4	8.4	

(tabla II.5.2)

Los cables coaxiales también pueden sufrir pérdidas que exceden los valores indicados. Si los cables se doblan en ángulos demasiado cerrados, la impedancia al extremo del doble cambiará y se pueden producir pérdidas por reflexión. Por ejemplo, el RG-6A usa dieléctrico de esponja y resulta difícil mantener al conductor central alineado dentro del eje de la funda conectada a tierra. El radio de giro mínimo que se sugiere es de unos 5 diámetros de cable.

También pueden ocurrir pérdidas importantes en las uniones de los cables con los conectores. Si los conectores no se unen correctamente, pueden ocurrir disparidades de impedancia, con las consecuentes pérdidas de señal. Es importante examinar el interior de cada conector antes de efectuar la unión. Esto garantizará que el conductor o aguja central no esté quebrado, y que asome lo suficiente como para que el conductor haga contacto eléctrico, pero no tanto que al ser enchufado pueda cortocircuitar al chasis y causar daños.

## HUMEDAD Y ENVEJECIMIENTO.

Los cables coaxiales pueden ser destruidos por la penetración de agua, especialmente si ésta es salada. Así mismo, cualquier intrusión de agua en los conectores o en cualquier otro punto del cable, puede cortocircuitar una señal y quizás dañar al receptor o al convertidor de bajada al circuitar a tierra la potencia del LNA.

La humedad subterránea puede oxidar muy rápidamente las partes metálicas de un cable con la que entre en contacto. Se sabe de conductores exteriores tubulares de aluminio que han sido completamente destruidos en 90 días. Las más pequeñas picaduras del forro pueden permitir que esto ocurra. Estas pueden deberse a maltrato durante la instalación o aún a roedorez.

La mayoría de los cables enterrables que se venden actualmente, son adecuados para su función. Pero sólo el tiempo dirá si además es necesario usar un conducto portable para protegerlos. Las instalaciones comerciales, cuando es necesario, usan un cable más caro que lleva bajo el forro un compuesto impermeabilizador como protección adicional en caso de inundación. Para una máxima protección contra roedores se sugiere un blindaje de cinta metálica con sobrefunda o un conducto rígido como el PVC eléctrico gris.

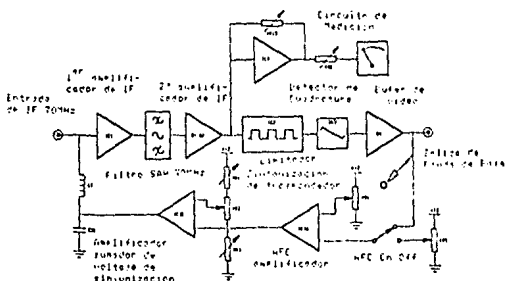
### III CIRCUITO DEL RECEPTOR

### III.1 DIAGRAMA DE BLOQUE.

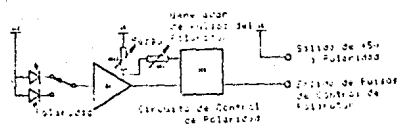
El receptor no contiene bobina de sintonización ni transformadores de IF convencionales, en realidad, los únicos ajustes necesarios son 10 resistencias variables (trimpots) y 2 capacitores (trimer). La mayoría de las bobinas y transformadores que se necesitarían son eliminados por 2 filtros monolíticos, FL1 y FL2.

El FL1 es un filtro SAW (onda acústica de superficie) el cual (con un ancho de banda de 27 Mhz.) quita el ruido y la interferencia del canal deseado. FL2 es un filtro de block integrado con un paso de banda de 5-8 Mhz, usado para eliminar todo menos, las subportadoras de audio de la salida de banda de base para el circuito de audio. Estos dos dispositivos eliminan decenas de componentes y muchos ajustes difíciles.

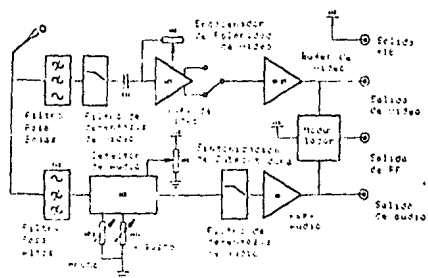
Por conveniencia, se partió el diagrama del receptor en partes, cada una de las cuales discutiremos por separado. En la figura III.1.1 se presenta el diagrama de bloque completo del receptor al cual se puede referir para seguir el circuito completo.



(figura III.1.1.a)



(figura III.1.1.b)

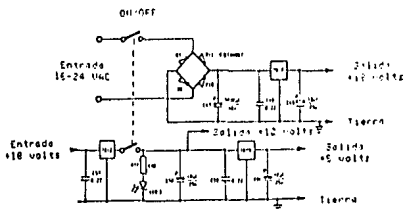


(figura III.1.1.c)

### III.2 FUENTE DE ALIMENTACION,

En la figura III.2.1 se muestra el abastecimiento de energía del receptor, este requiere ya sea 16-24 volts AC o 20-30 volts DC en su enchufe de entrada de energía y unos 500 mA. de abastecimiento de corriente en cualquiera de los dos (note que si se usa fuente de energía DC, la polaridad no es importante debido al puente rectificador formado por D8 a D11).

El voltaje de entrada después de ser rectificado, es filtrado por C47 y C48 y alimentado al regulador 7818 que produce 18 volts tanto para el circuito receptor como para el convertidor de bajada (via un enchufe del panel trasero). La salida del 7818 se manda al 7812, que produce 12 volts para el receptor, su salida se usa para abastecer el 7805, el cual produce 5 volts para el receptor y para el dispositivo de polarización del LNA. El 7812 también se usa para energizar el Led 3, el cual es indicador de encendido (localizado en el panel frontal).



(figura III.2.1)

---

### III.3 CIRCUITO DE ENTRADA DEL RECEPTOR Y CIRCUITO LIMITADOR.

---

La figura III.3.1 muestra la sección completa de entrada del receptor, incluyendo la primera y segunda sección de IF, el circuito sintonizador del transpondedor, y el circuito AFC (control automático de frecuencia). La salida de 70 Mhz del convertidor de bajada entra al receptor en la entrada IF, donde es acoplado en capacidad via C4 al primer amplificador IF, IC1 (MWA 120). Este IC provee unos 25 dB de ganancia a la señal de entrada neta, y su salida es acoplada en capacidad al FL1, el filtro SAW el cual quita el ruido y otras interferencias de la señal deseada.

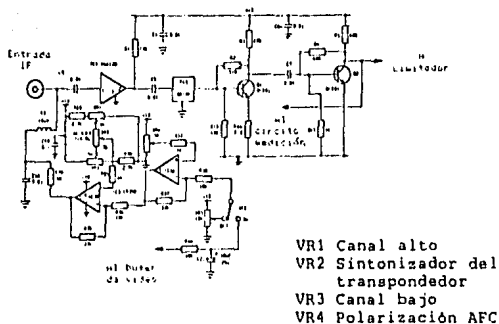
La salida del filtro se manda al segundo amplificador IF compuesto de dos transistores de RF (radio frecuencia) (NPN, Q1 y Q2). El segundo amplificador IF aumenta la señal lo suficiente para accionar al limitador y circuito del medidor de señal, el cual se discutirá posteriormente.

El voltaje de sintonización del convertidor de bajada, de 2-16 volts de DC es desarrollado por IC3B, la mitad de un op-amp dual (LM358). El voltaje real se establece por el control del panel frontal VR2 (sintonizador del transpondedor) con el limite de más alto voltaje establecido por el trimpot VR1 (canal alto) y el voltaje más bajo establecido por trimpot VR3 (canal bajo). El voltaje es alimentado al enchufe de entrada de 70 Mhz IF, el voltaje es aislado de la sección IF por C4, y la señal IF es aislada del voltaje de sintonización por L1 y C18.

La otra mitad del LM358 (IC3A), se usa como el amplificador AFC. El amplificador AFC obtiene su señal del filtro de video y la polarización del circuito se establece por el trimpot VR4. El circuito AFC puede ser vencido por medio del interruptor del panel frontal, el cual conecta la entrada AFC al VR5 en lugar del filtro de video. VR5 se usa para establecer un voltaje de compensación para que la sintonización apropiada se logre con el AFC apagado.

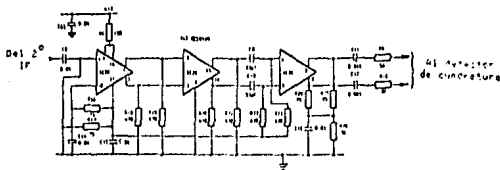
La salida del amplificador AFC es guiada al IC3B, el cual la suma al voltaje de sintonización del transpondedor para dar sintonización libre con el AFC encendido.





(figura III.3.1)

La figura III.3.2 muestra el circuito limitador, construido alrededor de un MC10116 (IC2), un transreceptor ECL (logica de emisor acoplado) balanceado. El limitador se usa para recortar la amplitud de la señal de 70 Mhz, quitando componentes de amplitud modulada de la señal, casi siempre ruido de impulso. Las salidas (patas 2 y 3 de IC2) dan señales idénticas con 180 grados fuera de fase de una a otra, las cuales se mandan al detector de cuadratura.



(figura III.3.2)

-----  
**III.4 CIRCUITO DE MEDICION DE SEÑAL Y CIRCUITO  
 DETECTOR DE CUADRATURA.**  
 -----

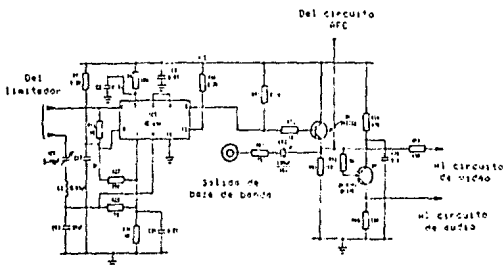
La figura III.4.1 muestra el circuito de medición de fuerza de señal. Toma su entrada de la segunda salida del amplificador IF y usa un medidor de 200uA en el panel frontal para indicar la fuerza de la señal relativa. El trimpot VR13 se usa para ajustar la sensibilidad, VR6 fija la deflexión del medidor.



(figura III.4.1)

La figura III.4.2 muestra el circuito detector de cuadratura del receptor. Las señales de la punta 2 del limitador IC se mandan directamente al IC5, un detector de modulación balanceado LM1496. La señales de la punta 3 del limitador son guiadas al IC5 via VC1 y L2, que aumentan otros 90 grados de cambio de fase. (El cambio de fase adicional se ajusta via VC1).

Las dos señales, ahora con diferencia de 90 grados o en cuadratura, se mezclan por el LM1496 con el resultado de que la frecuencia portadora de 70 Mhz se elimina, dejando sólo la señal de banda de base en la salida (pata 6). Esta señal es filtrada por Q4 y aparece en la salida de la banda de base.

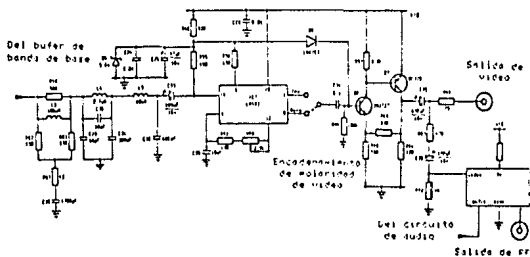


(figura III.4.2)

### III.5 CIRCUITO DE VIDEO.

La figura III.5.1 es el circuito de video del receptor. Los componentes entre R58 (en la figura III.4.2) y C33 forman un filtro de paso baja y un filtro de-énfasis de video, la señal de video filtrada se alimenta al IC7, una salida balanceada de amplificador de video LM 592. Ambas salidas de video, normal e invertida están disponibles del LM592, haciendo la selección via un alambre de enlace.

El nivel de video se fija via un trimpot VR8 y un diodo D6 se usa para aislar la señal de dispersión de 30 Hz que se agrega a la señal de video durante el encadenamiento de subida. Los transistores Q6 y Q7 se usan para proporcionar una salida filtrada de 1 volt de pico a pico. Esta misma señal se usa para llevar la entrada de video en el modulador de RF.



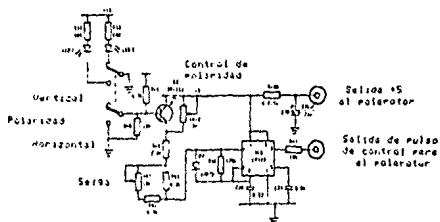
(figura III.5.1)



componentes C54, R80 y C55 forman el filtro de-énfasis del audio, y Q8 se usa como el filtro y amplificador del audio, proporcionando la señal de audio demodulada al jack de salida del panel trasero y a la entrada de RF del modulador del audio.

### III.7 CIRCUITO DE POLARIDAD.

La porción final de los circuitos del receptor es el circuito de control de polaridad de la figura III.7.1 Este circuito proporciona la señal modulada de ancho de pulso usada, para orientar el dispositivo de polaridad del LNA o "polarrotor". (Señales del transpondedor adyacente en cada satélite se polarizan ya sea horizontal o verticalmente, para permitir espaciamiento más cerrado de las frecuencias del transpondedor con menor interferencia del canal adyacente. El receptor debe tener algunos medios para controlar el dispositivo de polaridad del LNA).



(figura III.7.1)

El corazón del circuito de control de polaridad es un timer IC (LM 555) conectado como un multivibrador astable. Dos anchos de pulso separados se generan por el circuito, de acuerdo a la posición del interruptor "vertical-horizontal" del panel frontal. El mismo interruptor también hace que el led correcto se encienda, indicando la polaridad horizontal o vertical. El trimpot VR12 se usa para fijar el cambio entre las dos posiciones del interruptor exactamente a 90 grados.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Ya que dos satélites no son paralelos uno al otro, se proporciona un potenciómetro de sintonización fina, en el panel frontal o ajuste skew (VR7) . Este control skew se usa para retocar el ajuste de polarización y obtener una señal perfecta.

#### IV SISTEMA DE FRESNEL



---

#### IV.1 INTRODUCCION.

---

Se llama difracción al conjunto de fenómenos que se observan cuando la luz se propaga en un medio con bruscas heterogeneidades. La difracción, en particular, hace que las ondas luminosas bordeen los obstáculos y que la luz penetre en la región de la sombra geométrica. El rodeo de los obstáculos por las ondas sonoras se observa constantemente en la vida ordinaria. Para observar la difracción de las ondas luminosas hay que crear condiciones especiales. Esto se debe a la pequeñez de la longitud de esta onda.

Entre la interferencia y la difracción no existe una diferencia física esencial. Ambos fenómenos consisten en la redistribución del flujo luminoso debida a la superposición de las ondas. Por razones históricas, la redistribución de la intensidad que se produce como resultado de la superposición de las ondas excitadas por un número finito de fuentes coherentes discretas se llama interferencia de las ondas, y la redistribución de la intensidad causada por la superposición de las ondas excitadas por fuentes coherentes dispuestas de un modo continuo, se denomina difracción de las ondas.

La difracción se observa por lo general valiéndose del esquema siguiente. En el camino de la onda luminosa que se propaga desde una fuente, se interpone un obstáculo opaco que tapa parte de su superficie de onda. Detrás de este obstáculo se coloca una pantalla, en la cual aparece la figura de difracción.

Hay dos tipos de difracción. Si la fuente de luz S y el punto de observación P están tan lejos del obstáculo que los rayos que inciden sobre éste y los que van hacia el punto P forman haces prácticamente paralelos, se dice que la difracción es de rayos paralelos o de Fraunhofer. En el caso contrario se dice que la difracción es de Fresnel.



---

## IV.2 PRINCIPIOS OPTICOS RELACIONADOS.

---

### PRINCIPIO DE HUYGENS.

Proporciona un método geométrico para encontrar, a partir de la forma conocida de un frente de onda en un cierto instante, la forma que tendrá en otro instante posterior. El principio establece que cada punto de un frente de onda puede considerarse como manantial de pequeñas ondas secundarias, que se propagan en todas direcciones desde sus centros con la misma velocidad de propagación de onda. El nuevo frente de onda se encuentra entonces construyendo una superficie tangente a las ondas secundarias, o sea, es la envolvente de estas ondas secundarias. Si la velocidad de propagación no es la misma en todas las porciones del frente de onda, ha de utilizarse la velocidad adecuada para las diversas ondas secundarias. El principio de Huygens está interpretado en la figura IV.2.1, el frente de onda inicial S-S, se propaga como indican las pequeñas flechas. Deseamos encontrar la forma del frente de onda al cabo de un intervalo de tiempo  $t$ . Sea  $v$  la velocidad de propagación. Se construye cierto número de circunferencias de radio  $r = vt$ , cuyos



(figura IV.2.1)

centros se encuentran sobre S-S. La traza de la envolvente de estas ondas secundarias, que es el nuevo frente de onda, es la curva S'-S'. Se ha supuesto que la velocidad  $v$  es la misma en todos los puntos y en todas las direcciones.

### PRINCIPIO DE HUYGENS-FRESNEL.

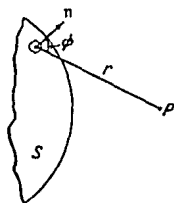
La penetración de las ondas luminosas en la región de la sombra geométrica se puede explicar por medio del principio de Huygens. Pero este principio no proporciona información sobre la amplitud y, por consiguiente, sobre la intensidad de las ondas que se propagan en distintas direcciones. Fresnel completó el principio de Huygens con la representación de la interferencia de las ondas secundarias (toma en consideración las amplitudes

en fases resultantes en cualquier punto del espacio } El principio de Huygens desarrollado por este procedimiento recibe el nombre de principio de Huygens-Fresnel.

Según el principio de Huygens-Fresnel, cada elemento de una superficie de onda  $S$  (ver figura IV.2.2) sirve de fuente de una onda esférica secundaria, cuya amplitud es proporcional a la magnitud del elemento  $dS$ . La amplitud de una onda esférica disminuye con la distancia  $r$  a la fuente según la ley  $1/r$ . Por consiguiente, desde cada parte  $dS$  de la superficie de onda llegará al punto  $P$ , que se encuentra delante de esta superficie, una oscilación :

$$dE = K \left( a \frac{dS}{r} \right) \cos (wt - kr + \alpha) \quad (\text{ec. IV.2.1})$$

En esta expresión  $(wt + \alpha_0)$  es la fase de la oscilación en el sitio en que se halla la superficie de onda  $S$ ;  $k$  es el número de onda;  $r$  la distancia desde el elemento  $dS$  de la superficie hasta el punto  $P$ . El factor  $a$  viene determinado por la amplitud de la oscilación luminosa en el sitio en que se encuentra  $dS$ . El coeficiente  $K$  depende del ángulo  $\phi$  entre la normal  $n$  a la superficie  $dS$  y la dirección que va desde  $dS$  hasta el punto  $P$ . Cuando  $\phi = 0$ , este coeficiente es máximo, y cuando  $\phi = \pi/2$ , se anula.



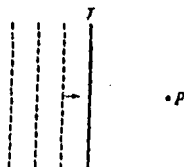
(figura IV.2.2)

La oscilación resultante en el punto  $P$  es la superposición de las oscilaciones tomadas para toda la superficie de onda  $S$ :

$$E = \int_S K(\phi) \left( a \frac{dS}{r} \right) \cos (wt - kr + \alpha) \quad (\text{ec. IV.2.2})$$

Esta fórmula es la expresión analítica del principio de Huygens-Fresnel. Para fundamentar el principio de Huygens-Fresnel se puede aducir los razonamientos siguientes. Supongamos que en el camino que sigue una onda luminosa (que para simplificar consideramos plana) se interpone una pantalla opaca delgada  $T$

(ver figura IV.2.3). Detrás de la pantalla la intensidad de la luz es en todas partes nula. Esto se debe a que la onda luminosa que incide sobre la pantalla excita oscilaciones de los electrones que hay en el material de que está hecha. Los electrones que oscilan radian ondas electromagnéticas. El campo que hay detrás de la pantalla es la superposición de la onda primaria que incide sobre la pantalla y todas las ondas secundarias. Las amplitudes y las fases de las ondas secundarias resultan ser tales que, al superponerse estas ondas a la



(figura IV.2.3)

primaria, en cualquier punto P detrás de la pantalla se obtiene una amplitud nula. Por lo tanto, si la onda primaria crea en el punto P la oscilación:

$$A_{\text{prim}} \cos(\omega t + \alpha)$$

la oscilación resultante excitada en este mismo punto por las ondas secundarias tiene la forma

$$A_{\text{sec}} \cos(\omega t + \alpha - \pi)$$

siendo

$$A_{\text{sec}} = A_{\text{prim}}$$

Esto significa que al calcular la amplitud de la oscilación originada en el punto P por la onda luminosa que se propaga desde una fuente real, se puede sustituir esta fuente por el conjunto de las fuentes secundarias situadas a lo largo de la superficie de onda. En esto consiste la esencia del principio Huygens-Fresnel.

Dividamos el obstáculo opaco en dos partes. Una de ellas, que llamaremos tapón, tiene dimensiones finitas y forma arbitraria (circular, rectangular, etc.). La otra incluye toda la

superficie restante del obstáculo infinito. Mientras el tapón esta en su sitio, la oscilación resultante en el punto P detrás de la pantalla es nula. Esta oscilación se puede representar como la suma de las creadas por la onda primaria, por la onda originada por el tapón y por la producida por la parte restante del obstáculo:

$$A_{\text{prim}} \cos(\omega t + \kappa) + A_{\text{tap}} \cos(\omega t + \kappa') + A_{\text{obst}} \cos(\omega t + \kappa'') = 0$$

(ec. IV.2.3)

Si se quita el tapón, es decir, si se deja que la onda pase por el orificio que queda en el obstáculo opaco, la oscilación en el punto P tendrá la forma:

$$\begin{aligned} E_p &= A_{\text{prim}} \cos(\omega t + \kappa) + A_{\text{obst}} \cos(\omega t + \kappa'') \\ &= -A_{\text{tap}} \cos(\omega t + \kappa') = A_{\text{tap}} \cos(\omega t + \kappa' - \pi) \end{aligned}$$

Hemos aplicado la ecuación IV.2.3 y supuesto que por quitar el tapón no varía el carácter de las oscilaciones de los electrones en la parte que queda del obstáculo, de este modo, se puede considerar que las oscilaciones en el punto P las crea el conjunto de las fuentes de ondas secundarias situadas en la superficie del orificio originado al quitar el tapón.

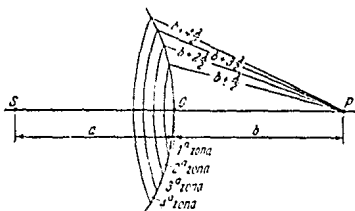
---

### IV.3 ZONAS DE FRESNEL.

---

Los cálculos por la fórmula IV.2.2 son en el caso general un problema muy difícil. Pero, como demostró Fresnel, en los casos que se caracterizan por su simetría, la amplitud de la oscilación resultante se puede hallar por medio de una simple suma algebraica o geométrica.

Para comprender la esencia del método elaborado por Fresnel vamos a determinar la amplitud de la oscilación luminosa excitada en un punto P por una onda esférica que se propaga en un medio homogéneo isótropo desde un foco puntual S.



(figura IV.3.1)

Las superficies de onda son en este caso simétricas con respecto a la recta SP. Aprovechando esto, dividimos la superficie de onda representada en la figura en zonas anulares construidas de tal modo que las distancias desde los bordes de cada zona hasta el punto P se diferencien en  $l.o./2$  ( $l.o.$  es la longitud de la onda en el medio en que se propaga). Las zonas que tienen esta propiedad se llaman zonas de Fresnel. En la figura IV.3.1 se ve que la distancia  $b_m$  desde el borde exterior de la  $m$ -ésima zona hasta el punto P es :

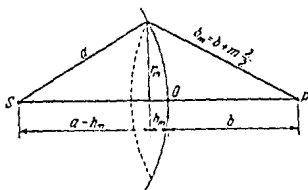
$$b_m = b + m (l.o./2) \quad (\text{ec. IV.3.1})$$

donde  $b$  es la distancia desde el vértice de la superficie de onda O hasta el punto P.

Las oscilaciones que llegan al punto P desde puntos análogos de dos zonas colindantes (es decir, desde puntos que se encuentran en la mitad de cada zona, en sus bordes, etc.), se hallan en oposición de fase. Por eso, entre la oscilación resultante creada

por cada zona en conjunto y las originadas por las zonas contiguas habrá una diferencia de fase igual a  $\pi$  ( $\pi$ ).

Calculemos el área de las zonas. El límite exterior de la  $m$ -ésima zona separa en la superficie de onda un segmento esférico de altura  $hm$  como se ve en la siguiente figura.



(figura IV.3.2)

El área de este segmento la designaremos por  $S_m$ . Entonces el área de la  $m$ -ésima zona se puede representar en la forma

$$\Delta S_m = S_m - S(m-1)$$

donde  $S(m-1)$  es el área del segmento esférico separado por el límite exterior de la  $(m-1)$ -ésima zona.

En la figura IV.3.2 se ve que :

$$r_m^2 = a^2 - (a-hm)^2 = (b + m (l.o./2))^2 - (b + hm)^2$$

donde  $a$  es el radio de la superficie de onda y  $r_m$  el radio del límite exterior de la  $m$ -ésima zona. Elevando al cuadrado las expresiones entre paréntesis, tendremos

$$r_m^2 = 2ahm - hm^2 = bm \text{ l.o.} + m^2 (l.o./2)^2 - 2bhm - hm^2$$

(ec. IV.3.2)

de aquí

$$hm = (bm \text{ l.o.} + m^2 (l.o./2)^2) / 2(a+b) \quad (\text{ec. IV.3.3})$$

Limitándonos a considerar los números  $m$  no demasiado grandes, en virtud de la pequeñez de  $l.o.$  se puede despreciar el sumando que contiene  $(l.o.^2)$ . En esta aproximación

$$hm = (bm \text{ l.o.}) / 2(a+b) \quad (\text{ec. IV.3.4})$$

El área del segmento esférico  $S = 2\pi R h$ , donde  $R$  es el radio de la esfera y  $h$  la altura del segmento. Por consiguiente

$$S_m = 2\pi a hm = ((\pi a b) / (a + b))(m \text{ l.o.})$$

y el área de la  $m$ -ésima zona

$$\Delta S_m = S_m - S_{(m-1)} = (\pi a b \text{ l.o.}) / (a+b)$$

la expresión que hemos obtenido no depende de  $m$ . Esto significa que cuando los números  $m$  no son demasiado grandes, las áreas de las zonas de Fresnel son aproximadamente iguales.

De la igualdad IV.3.2 se puede deducir los radios de las zonas. Cuando los números  $m$  no son demasiado grandes, la altura del segmento  $hm \ll a$ , por lo tanto se puede considerar que  $rm^2 = 2ahm$ . Sustituyendo  $hm$  por su valor en la ecuación IV.3.4, obtenemos para el radio del límite exterior de la  $m$ -ésima zona la expresión

$$r_m = ((a b)/(a+b)) (m \text{ l.o.})^{1/2} \quad (\text{ec. IV.3.5})$$

Si suponemos  $a = b = 1m$ , y  $\text{l.o.} = 0.5\mu m$ , para el radio de la primera zona (centro) se obtiene el valor  $r_1 = 0.5 \text{ mm}$ . Los radios de las zonas siguientes crecen como  $m^{1/2}$ .

Así, las áreas de las zonas de Fresnel son aproximadamente iguales. La distancia  $bm$  desde la zona hasta el punto  $P$  crece lentamente con el número  $m$  de la zona. El ángulo  $\phi$  entre la normal a los elementos de la zona y la dirección al punto  $P$  también crece con  $m$ . Todo esto conduce a que la amplitud  $A_m$  de la oscilación excitada por la  $m$ -ésima zona en el punto  $P$  decrece monótonamente al crecer  $m$ . Incluso cuando los números  $m$  son muy grandes y el área de la zona empieza a crecer apreciablemente con  $m$  (ver ec. IV.3.3), la disminución del factor  $K(\phi)$  es mayor que el crecimiento  $\Delta S_m$  de manera que  $A_m$  continúa disminuyendo. De este modo, las amplitudes de las oscilaciones que excitan en el punto  $P$  las zonas de Fresnel forman una sucesión monótonamente decreciente:

$$A_1 > A_2 > A_3 > \dots > A_{(m-1)} > A_m > A_{(m+1)} > \dots$$



Las fases de las oscilaciones excitadas por zonas vecinas difieren en  $\pi$ . Por lo tanto, la amplitud  $A$  de la oscilación resultante en el punto  $P$  se puede representar en la forma

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots \quad (\text{ec. IV.3.6})$$

En esta expresión todas las amplitudes correspondientes a las zonas impares figuran con un signo y las correspondientes a las zonas pares, con otro. Escribamos la ecuación IV.3.6 en otra forma

$$A = A_1/2 + (A_1/2 - A_2 + A_3/2) + (A_3/2 - A_4 + A_5/2) + \dots \quad (\text{ec. IV.3.7})$$

Como  $A_m$  decrece monótonamente, se puede considerar aproximadamente que

$$A_m = (A_{(m-1)} + A_{(m+1)}) / 2$$

Entonces las expresiones entre paréntesis serán iguales a cero y la fórmula IV.3.7 se simplificará del modo siguiente:

$$A = A_1 / 2 \quad (\text{ec. IV.3.8})$$

Según la fórmula IV.3.8, la amplitud creada en un punto determinado  $P$  por toda la superficie de onda esférica es igual a la mitad de la amplitud que crea la zona central sola. Si en el camino de la onda se interpone una pantalla opaca con un orificio que deje abierta solamente la zona centro de Fresnel, la amplitud en el punto  $P$  será igual a  $A_1$ , es decir, dos veces mayor que la amplitud (ecuación IV.3.8). Respectivamente, la intensidad de la luz en el punto  $P$  será en este caso cuatro veces mayor que en ausencia de obstáculos entre los puntos  $S$  y  $P$ .

Resolvamos ahora el problema de la propagación de la luz desde el foco  $S$  al punto  $P$  por el método de la composición gráfica de las amplitudes. Dividamos la superficie de onda en zonas anulares análogas a las de Fresnel pero de anchura mucho menor (la diferencia de marcha desde los bordes de la zona hasta el punto  $P$  constituye una pequeña fracción de  $\lambda$ , igual para todas las zonas). La oscilación que crea en el punto  $P$  cada una de las zonas la representaremos en forma de un vector de longitud igual a la amplitud de la oscilación y cuya dirección forme con la tomada como referencia un ángulo que de la fase inicial de la oscilación.



(figura IV.3.3)

La amplitud de las oscilaciones creadas por estas zonas en el punto P disminuye lentamente al pasar de una zona a otra. Cada oscilación siguiente está retrasada en fase respecto de la anterior una misma magnitud. Por consiguiente, el diagrama vectorial que se obtiene al componer las oscilaciones excitadas por las zonas aisladas tienen la forma que se muestra en la figura IV.3.3.

Si las amplitudes creadas por las zonas aisladas fueran iguales, el final del último de los vectores representados en la figura IV.3.3 coincidiría con el principio del primer vector. En realidad el valor de la amplitud disminuye, aunque muy débilmente, por lo que los vectores no forman una figura cerrada, sino una línea quebrada en espiral.



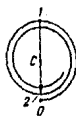
(figura IV.3.4)

En el límite, cuando la anchura de las zonas anulares tiende a cero (su número aumenta ilimitadamente en este caso) el diagrama vectorial toma la forma de espiral que se enrolla al punto C (ver figura IV.3.4). Las fases de las oscilaciones en los puntos 0 y 1 se diferencian en  $\pi$  (los vectores infinitamente pequeños que forman la espiral están dirigidos en estos puntos en sentidos opuestos). Por lo tanto, la parte 0-1 de la espiral corresponde a la primera zona de Fresnel. El vector trazado del punto 0 al punto 1 (ver figura IV.3.5) representa la oscilación que excita en el punto P esta zona. Análogamente, el vector trazado del punto 1 al 2 (ver figura IV.3.6) representa la oscilación que excita la segunda zona de Fresnel. Las oscilaciones de las zonas primera y segunda están en oposición de

fases; de acuerdo con esto, los vectores 0-1 y 1-2 están dirigidos en sentidos opuestos.



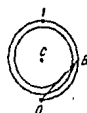
(figura IV.3.5)



(figura IV.3.6)



(figura IV.3.7)



(figura IV.3.8)

Las oscilaciones excitadas en el punto P por toda la superficie de onda viene representada por el vector 0-C (ver figura IV.3.7). En la figura se ve que la amplitud es en este caso igual a la mitad de la amplitud que crea la primera zona. Este resultado lo obtuvimos antes algebraicamente (ver ec. IV.3.8). Advertimos que la oscilación que excita la mitad interior de la primera zona de Fresnel se representa por el vector 0-B (ver figura IV.3.8). De este modo la acción de la mitad interior de la primera zona de Fresnel no es equivalente a la mitad de la acción de dicha primera zona. El vector 0-B es  $2^{1/2}$  veces mayor que el vector 0-C. Por lo tanto la intensidad de la luz creada por la mitad interior de la primera zona de Fresnel es dos veces mayor que la intensidad que crea toda la superficie de onda.

Las oscilaciones de las zonas de Fresnel pares e impares están en oposición de fase y, por consiguiente, se debilitan unas a otras. Si en el camino de la onda luminosa se interpusiera una lámina que tapara todas las zonas pares o impares, la intensidad de la luz en el punto P aumentaría bruscamente. Esta lámina llamada placa zonal, actúa de un modo semejante a un lente convergente. En la figura IV.3.9 se representa una placa que tapa las zonas pares. Un efecto todavía mayor se puede lograr, sin tapar las zonas pares o impares, cambiando en  $\pi$  la fase de sus oscilaciones. Esto se puede realizar por medio de una lámina transparente, cuyo espesor en los lugares correspondientes a las zonas pares o impares se diferencie en una magnitud debidamente elegida. Esta lámina se llama placa zonal fásica. En comparación

con la placa zonal de amplitudes que tapa las zonas, la fásica da un aumento adicional de la amplitud igual al doble, y de la intensidad de la luz, igual al cuadruple.

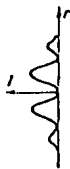
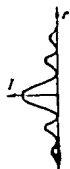
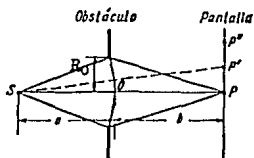


(figura IV.3.9)

-----  
 IV.4 DIFRACCION DE FRESNEL POR OBSTACULOS SIMPLES.  
 -----

DIFRACCION POR UN ORIFICIO CIRCULAR.

Pongamos en el camino de una onda luminosa esférica una pantalla opaca que tenga un orificio circular de radio  $R_0$ . La colocaremos de tal modo que la perpendicular bajada desde el foco de luz  $S$  incida sobre el centro del orificio. En la prolongación de esta perpendicular tomamos un punto  $P$ . Si el radio  $R_0$  del



(figura IV.4.1)

(figura IV.4.2)

(figura IV.4.3)

orificio es mucho menor que las longitudes  $a$  y  $b$  que se indican en la figura, la longitud  $a$  se puede considerar igual a la distancia desde el foco  $S$  hasta el obstáculo, y la longitud  $b$ , igual a la distancia desde el obstáculo hasta el punto  $P$ . Cuando las distancias  $a$  y  $b$  satisfacen la condición

$$R_0 = ((a b / (a+b)) m \lambda)^{1/2} \quad (\text{ec. IV.4.1})$$

en la que  $m$  es un número entero, el orificio deja descubiertas exactamente las  $m$  primeras zonas de Fresnel construidas para el punto  $P$ . Por consiguiente, el número de zonas de Fresnel descubiertas se determina por la expresión

$$m = (R_0^2 / \lambda) (1/a + 1/b) \quad (\text{ec. IV.4.2})$$

De acuerdo con la ecuación (IV.3.6), la amplitud en el punto P será

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots (+/-)A_m \quad (\text{ec. IV.4.3})$$

$A_m$  se toma con signo mas si  $m$  es impar y con signo menos si  $m$  es par. Representando la ecuación IV.4.3 de una forma análoga a la ecuación IV.3.7 y suponiendo que las expresiones entre paréntesis son iguales a cero, llegamos a las fórmulas

$$A = A_1/2 + A(m)/2 \quad (\text{si } m \text{ es impar}).$$

$$A = A_1/2 + A(m-1)/2 - A_m \quad (\text{si } m \text{ es par}).$$

Las amplitudes de dos zonas contiguas son prácticamente iguales. Por eso  $A(m-1)/2 - A_m$  se pueden sustituir por  $-A_m/2$ . Como resultado se obtiene:

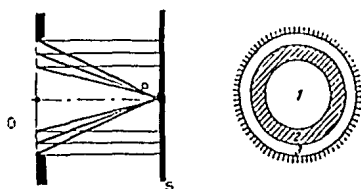
$$A = A_1/2 (+/-) A_m/2 \quad (\text{ec. IV.4.4})$$

donde el signo mas se toma para los  $m$  impares, y el menos para los pares.

Para números  $m$  pequeños la amplitud  $A_m$  se diferencia poco de  $A_1$ , por lo cual, cuando los números  $m$  son impares, la amplitud en el punto P sera aproximadamente igual a  $A_1$ , y cuando son pares, nula. Este resultado es fácil de obtener por medio del diagrama vectorial representado en la figura (IV.3.4).

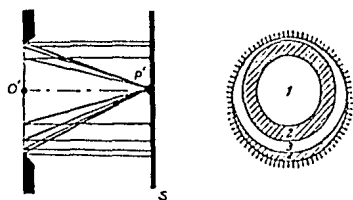
Si se quita el obstáculo, la amplitud en el punto P se hace igual a  $A_1/2$ . De este modo, un obstáculo con orificio que descubra un pequeño número impar de zonas, no sólo no debilita la iluminación en el punto P, sino que, al contrario, hace que aumente la amplitud casi dos veces y la intensidad casi cuatro veces.

Veamos el carácter que tiene la figura de difracción que se observa en una pantalla situada detrás del obstáculo (ver figura IV.4.1). Como el orificio está situado simétricamente con respecto a la recta SP, la iluminación en distintos puntos de la pantalla dependerá únicamente de su distancia  $r$  al punto P. En este mismo punto la intensidad alcanzará un máximo o mínimo dependiendo de que el número de zonas de Fresnel descubiertas sea par o impar.



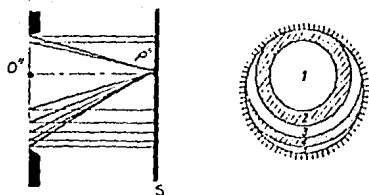
(figura IV.4.4)

La figura de las zonas de Fresnel para el punto P se da en la figura IV.4.4. Ahora nos desplazamos por la pantalla al punto P'. La figura de las zonas de Fresnel, limitada por los bordes del orificio, para el punto P' tienen la forma que muestra la figura IV.4.5, el borde del orificio cubre parte de la tercera



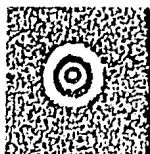
(figura IV.4.5)

zona y al mismo tiempo descubre parcialmente la cuarta zona. Como resultado, la intensidad de la luz disminuye y en cierta posición del punto P' alcanza un mínimo. Si nos desplazamos por la pantalla al punto P'', el borde del orificio cubre parcialmente no sólo la tercera zona de Fresnel, sino también la segunda, y al mismo tiempo descubre una parte de la quinta zona (figura IV.4.6). En definitiva la acción de las partes descubiertas de las zonas impares supera la acción de las partes descubiertas de las zonas pares y la intensidad alcanza un máximo, aunque más débil que el que se observa en el punto P.

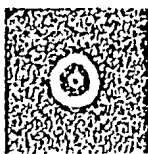


(figura IV.4.6)

De este modo, la figura de difracción por un orificio circular tiene la forma de anillos concéntricos, brillantes y oscuros, que se suceden unos a otros. En el centro de la figura habrá una mancha brillante (si  $m$  es impar) u oscura (si  $m$  es par) (ver figura IV.4.7). La mancha de la intensidad  $i$  con la distancia  $r$  al centro de la figura se representa en la figura IV.4.2 (para  $m$  impar) y en la figura IV.4.3 (para  $m$  par). Si la pantalla se desliza paralelamente a sí misma a lo largo de la recta  $SP$ , la figura representada en la figura IV.4.7 se reemplaza una a otra de acuerdo con la ec. IV.4.2, al variar  $b$ , el valor de  $m$  se hace unas veces impar y otras par.



( $m$  impar)



( $m$  par)

(figura IV.4.7)

Si el orificio sólo descubre una parte de la zona central de Fresnel, en la pantalla se obtiene una mancha brillante difuminada; en este caso no surge la sucesión de anillos brillantes y oscuros. Y si el orificio descubre un gran número de zonas, la sucesión de los anillos brillantes y oscuros sólo se observan en una región muy estrecha en el límite de la sombra geométrica; dentro de esta región la iluminación es prácticamente constante.

#### DIFRACCION POR UN DISCO CIRCULAR.



Coloquemos entre el foco de luz S y el punto de observación P un disco circular opaco de radio  $R_0$  (ver figura IV.4.8). Si el disco cubre las  $m$  primeras zonas de Fresnel, la amplitud en el punto P será:

$$A = A(m+1) - A(m+2) + A(m+3) - \dots$$

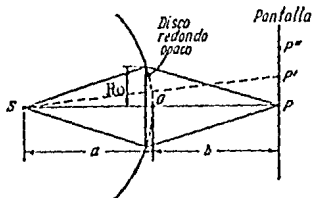
$$= A(m+1)/2 + (A(m+1)/2 - A(m+2) + A(m+3)/2) + \dots$$

Las expresiones que figuran entre paréntesis se pueden suponer iguales a cero, por consiguiente,

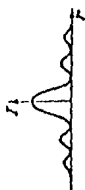
$$A = A(m+1)/2$$

(ec. IV.4.5)

Veamos el carácter de la figura que se obtiene sobre la pantalla (ver figura IV.4.8). Es evidente que la iluminación puede depender únicamente de la distancia  $r$  al punto P. Cuando el



(figura IV.4.8)

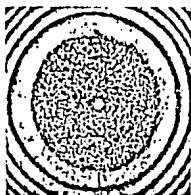


(figura IV.4.9)

número de zonas cubiertas es pequeño, la amplitud  $A(m+1)$  se diferencia poco de  $A$ ). Por eso la intensidad en el punto P será casi la misma que en ausencia del obstáculo entre el foco S y el punto P (ver ec. IV.3.8). Para el punto P', desplazado con respecto al P en cualquier dirección radial, el disco cubrirá parte de la  $(m+1)$ -ésima zona de Fresnel y al mismo tiempo descubrirá parte de la  $m$ -ésima zona. Esto hace que disminuya la intensidad. En cierta posición del punto P' la intensidad alcanza un mínimo. Si nos desplazamos del centro de la figura aún más, el disco cubrirá adicionalmente una parte de la  $(m+2)$ -ésima zona y al mismo tiempo descubrirá parte de la  $(m-1)$ -ésima. Como resultado la intensidad aumentará y en el punto P'' alcanzará un máximo.

De este modo, en el caso de un disco circular opaco, la figura de difracción tiene la forma de anillos concéntricos.

brillantes y oscuros, que se suceden. En el centro de la figura hay una mancha brillante (ver figura IV.4.10). La variación de la intensidad  $I$  de la luz con la distancia  $r$  al punto  $P$  se representa en la figura IV.4.9.



(figura IV.4.10)

Si el disco cubre solamente una parte pequeña de la zona central de Fresnel, no proyecta sombra en absoluto y la iluminación de la pantalla permanece igual que en ausencia del obstáculo y si son muchas las zonas de Fresnel que cubre el disco, la sucesión de los anillos brillantes y oscuros sólo se observa en una región estrecha en el límite de la sombra geométrica. En este caso  $A(m+1) \ll A_1$ , por lo que la mancha brillante central está ausente y la iluminación en la región de la sombra geométrica es en todas partes prácticamente nula.

Una mancha brillante en el centro de la sombra proyectada por el disco fue causa de un incidente entre S. Poisson y A.L. Fresnel. La Academia de Ciencias de París propuso la difracción de la luz como tema para el premio del año 1818. Los organizadores del concurso eran partidarios de la teoría corpuscular de la luz y esperaban que los trabajos que se presentasen a él contribuirían al triunfo definitivo de su teoría. Pero Fresnel presentó un trabajo, en el cual todos los fenómenos ópticos conocidos hasta entonces se explicaban desde el punto de vista de la teoría ondulatoria. Al examinar este trabajo, Poisson, que era miembro del jurado del concurso, advirtió que de la teoría de Fresnel se deducía una conclusión "absurda": ya que en el centro de la sombra proyectada por un disco circular pequeño debía haber una mancha blanca. D.F. Arago hizo inmediatamente el experimento y descubrió que, efectivamente, la mancha existía. Esto acarrió la victoria y el reconocimiento general de la teoría ondulatoria de la luz.

#### IV.5 DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL LENTE DE FRESNEL.

Casi todos los productos innovadores salen al mercado con precios altos. Pero una vez que el producto desarrolla un mercado, los competidores e imitadores aparecen pronto con productos a precios menores.

Considere los receptores de satélite por ejemplo. Años atrás, Nieman-Marcus introdujo por primera vez uno de estos artículos para uso público en un catálogo navideño con un costo de 25,000 US\$, pero alguien pronto encontró la forma de modificar antiguas unidades de radar para cumplir con la misma tarea por una fracción de su costo. En los años subsecuentes nuevos diseños y refinamientos han reducido el costo de los receptores de satélites por debajo de 500 US\$.

De la misma manera, el reflector tradicional parabólico o plato, usado en arreglos de receptores, ha sido cambiado por otros diseños, tal como platos esféricos o hiperbólicos, y arreglos Yagi, que son antenas por si mismas y no requieren de plato, en un esfuerzo por reducir el costo o mejorar la eficiencia. Hay rumores de nuevas alternativas, incluyendo el rumor persistente acerca de platos hechos de triplay.

Bien, este rumor tiene las bases en hechos reales. Sin embargo el "plato" no es en forma alguna un plato. El propósito de un plato es concentrar la señal y enfocarla a la antena, que está localizada en el alimentador. Pero un plato no es el único tipo de dispositivo capaz de concentrar y enfocar la señal. Otro es un lente, como un lente de Fresnel. Los lentes de Fresnel en recepción de satélite deben ser considerados en realidad como experimentales, a pesar de que existen unos pocos ejemplares aislados de lentes de Fresnel en uso actualmente en Canada (British Columbia).

#### LENTE DE FRESNEL.

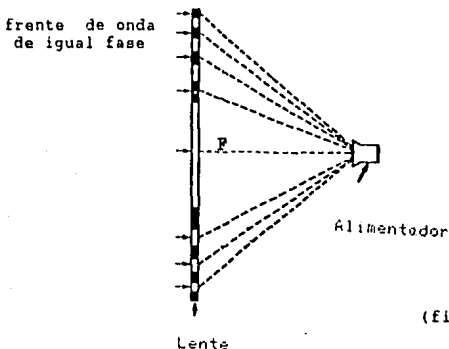
Inventados originalmente por el físico francés August Fresnel en 1815, los lentes son usados comunmente en faros, luces teatrales e incluso, en luces de flash. Pero despreciando varias ventajas, incluso el bajo costo, los lentes de Fresnel han encontrado muy pequeñas aplicaciones en microondas. En su lugar se han usado lentes de una clase u otra, incluyendo una aplicación comercial a principios de los 60's de lentes comerciales hechos de estireno.

Se requieren solo matemáticas simples para entender la teoría de los lentes Fresnel. Al centro de esta teoría están los conceptos de interferencia constructiva y destructiva. Si dos frentes de onda de la misma frecuencia y fase se combinan,

entonces la amplitud de la señal resultante puede calcularse fácilmente sumando las amplitudes de las ondas individuales, aquí se dice que las ondas tienen interferencia constructiva.

Por otro lado, si dos frentes de onda de la misma frecuencia, pero de diferente fase se combinan, la amplitud de la onda resultante tendrá una amplitud menor que las ondas originales en una cantidad dictada por las fases y amplitudes instantáneas. En el caso más simple, dos ondas iguales pero defasadas 180 grados se cancelaran una a la otra, es decir, la onda resultante tendrá una amplitud de cero. En este caso se dice que las ondas presentan una interferencia destructiva.

Veamos una aplicación real. Las señales de microondas de TV, dejan el satélite y crean lo que pudiera llamarse una onda plana uniforme en el alimentador. Si dibujamos una línea recta a la distancia  $F$  del alimentador (en que  $F$  es la distancia focal del alimentador), asumimos que todas las microondas que atraviesan la línea están en fase. Esta línea se llama frente de ondas de igual fase (ver figura IV.5.1).



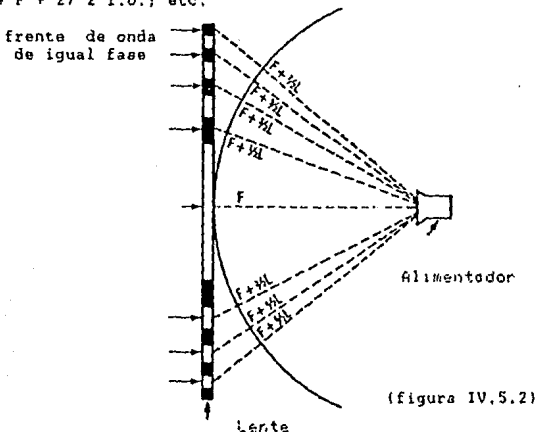
(figura IV.5.1)

Si la onda que entra al alimentador a lo largo del eje horizontal es tomada como referencia, entonces las ondas que entran al alimentador desde arriba y abajo del eje de referencia causarán interferencia destructiva, puesto que estarán en diferente fase. (Gracias al principio de Huygens podemos ver a este punto del frente de ondas como una onda secundaria). La diferencia de fase se debe a que se incrementa la distancia que la onda secundaria debe recorrer para alcanzar el punto focal. El resultado neto producido es que la señal recibida se ha reducido.

Estudieemos esto más de cerca, dividiendo el frente de onda en zonas, eligiéndolas de manera que de una zona a la siguiente la distancia del centro de cada zona al punto focal se incremente  $1/2$  de la distancia focal. Esto implica que las ondas que lleguen al punto focal de diferentes zonas consecutivas estarán separadas

por 180 grados de fase entre si.

En la figura IV.5.2 se muestran sobre la horizontal las zonas como múltiplos impares de  $1/2$  de longitud de onda del punto focal y abajo de la horizontal las múltiplos pares. De manera que al estar la zona horizontal a la distancia de  $F$ , la primera zona sobre ella estará a  $F + 1/2$  l.o. (donde l.o. es la longitud de onda) y la primera zona por debajo estará a una distancia de  $F + 2/2$  l.o.; etc.



(figura IV.5.2)

Examinar las contribuciones de amplitud de cada zona es muy revelador. Si la amplitud de la zona 1 es  $A_1$  y la amplitud de la zona 2 es  $A_2$ , etc., entonces la suma de todas las contribuciones de las primeras veinte zonas,  $A_t$ , está dada por la ecuación:

$$A_t = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + A_5 - \dots + A_{19} - A_{20}$$

Dado que definimos que cada zona está  $1/2$  l.o. más lejana del punto focal que la zona previa, las ondas que emanan de zonas sucesivas están defasadas 180 grados entre si. Entonces, para obtener la amplitud resultante en el punto focal, a la suma de las amplitudes de las zonas pares se resta la suma de las amplitudes de las zonas impares. Por otro lado, el incremento del ángulo que cada zona sucesiva forma respecto a la horizontal nos obliga a tomar en cuenta otro factor adicional. Ese ángulo causa que las ondas de zonas sucesivas sean más débiles que las de las zonas previas. Entonces, la amplitud resultante se describiría con la ecuación:

$$A_t = 1/2 A_1$$

La gran idea de Fresnel fué el darse cuenta que se podía construir una placa para bloquear las contribuciones de zonas alternadas, de manera que las ondas que se unieran en el punto focal interfirieran en forma constructiva y ninguna interfiriera en forma destructiva. Entonces la amplitud total estaría dada por la ecuación:

$$A_t = A_1 + A_3 + A_5 + \dots + A_{19}$$

A pesar de que la amplitud en el punto focal sin lente fué solo de  $1/2 A_1$ , la amplitud con lente es casi  $10 \times A_1$ , es decir veinte veces la ganancia sin placa. En decibeles, la ganancia teórica G para los lentes es mostrada en la ecuación siguiente, donde N es el número de zonas:

$$G = 20 \log N$$

En la tabla IV.5.1 se ve como la ganancia se incrementa con el número de zonas. Tan solo dos zonas dan una ganancia de 6 dB y 20 dan una ganancia de 26 dB.

número DE ZONAS	GANANCIA (dB)
2	6,0
4	12,0
6	15,6
8	18,1
10	20,0
12	21,6
14	22,9
16	24,1
18	25,1
20	26,0
22	26,9
24	27,6
26	28,3
28	28,9
30	29,5
32	30,1
34	30,6
36	31,1
38	31,6
40	32,0
.	.
80	38,0
.	.
160	44,0

(tabla IV.5.1)

Doblando el número de zonas a 40 se incrementa la ganancia a 32 dB y un lente con 160 zonas incrementa la ganancia a 44 dB. Entonces, cada incremento de 6 dB en la ganancia requerirá de que el número de zonas sea doblado.

Notese que la ganancia varía sin importar el diámetro del lente. Esta es una diferencia distintiva sobre el plato parabólico, en que la ganancia está relacionada específicamente con el diámetro del plato. Para un lente de Fresnel, variar el número de zonas, con un radio constante, causará un incremento de la ganancia, hasta que el ancho de la zona se aproxime a la longitud de onda de la señal, punto en que es esencialmente transparente a la señal.

Por otro lado, como en los platos parabólicos, el diámetro del lente afecta la resolución, que en este caso es la capacidad de distinguir la señal de uno de varios satélites que se encuentren espaciados muy poco.

#### DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL LENTE DE FRESNEL.

Para el propósito de esta tesis se diseñó y se construyó un lente de Fresnel de 40 zonas con una ganancia teórica de 32 dB, la cual equivale a la ganancia aproximada de un plato parabólico de 3.5 metros de diámetro. En la columna llamada radio de corte de la tabla IV.5.2 se muestran los radios de los círculos concéntricos para nuestro lente, con un diámetro exterior de 200 centímetros.

Radio Número	Radio Unitario	Radio De Corte en Cm.
1	1.0	15.81
2	1.414	22.35
3	1.732	27.38
4	2.0	31.62
5	2.236	35.35
6	2.449	38.72
7	2.645	41.82
8	2.828	44.71
9	3.0	47.43
10	3.162	49.99
.	.	.
.	.	.
38	6.164	97.45
39	6.244	98.73
40	6.324	99.99

(tabla IV.5.2)

En la tabla IV.5.2 se puede observar como dividiendo el radio máximo del lente (para nuestro caso 100 cm) entre la raíz cuadrada del número de zonas de nuestro lente (en este caso 40) se obtiene el factor de escala.

Entonces, si RM es el radio máximo y N es el número de zonas, el factor de escala puede ser calculado como:

$$F = RM / N^{1/2}$$

El factor de escala en nuestro caso es 15.811. Este factor de escala es el radio de la zona 1. Para encontrar los radios de las siguientes zonas es necesario multiplicar la raíz cuadrada del número de zona por el factor de escala. Así el radio de la segunda zona es igual a  $1.41 \times 15.81 = 22.29$ ; el radio de la tercera zona es igual a  $1.73 \times 15.81 = 27.35$ , y así sucesivamente. Note que las raíces y los radios se redondean a la centena más cercana para que el corte no sea más exacto que eso.

Como se puede observar es fácil calcular los radios de corte de lentes con diferentes diámetros o número de anillos, o ambos. Simplemente es necesario recalculer el factor de escala sustituyendo los valores adecuados de RM y N, para después recalculer el radio de cada anillo.

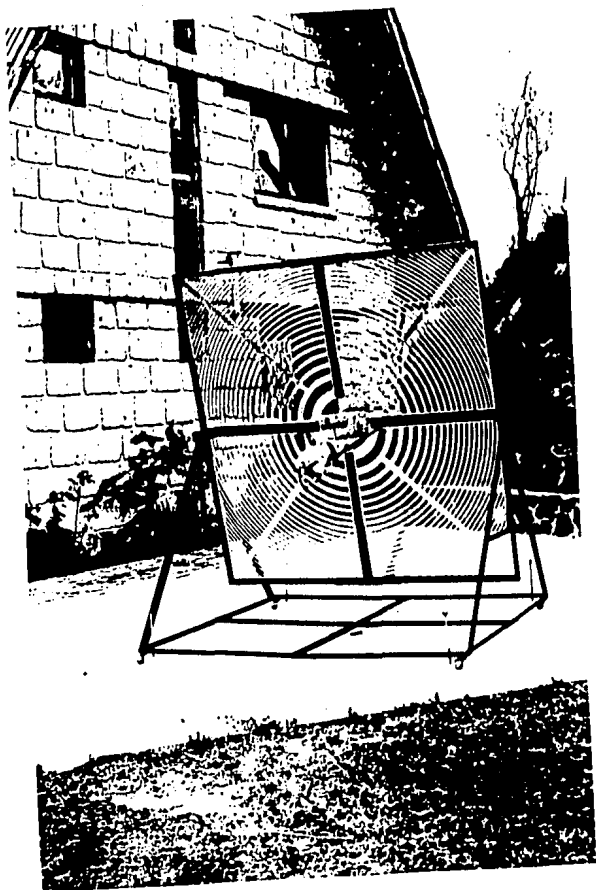
A pesar de que los cálculos no son difíciles de hacer a mano, para simplificar este proceso se ha incluido un pequeño programa en BASIC, mostrado al final del capítulo. Este programa tiene tres opciones a realizar:

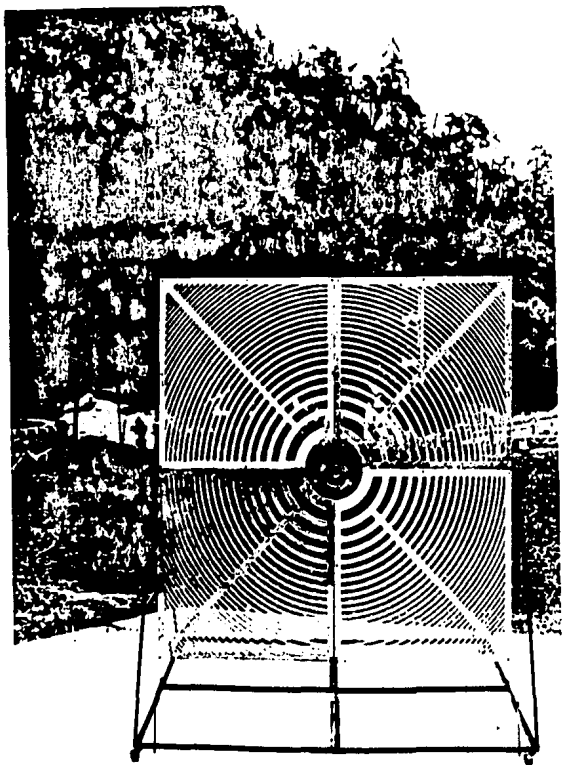
- a) Obtener la ganancia a partir del número de zonas.
- b) Obtener el número de zonas a partir de la ganancia.
- c) Obtener los radios de corte a partir del número de zonas.

En la línea 200 se realiza la operación para obtener la ganancia a partir del número de zonas, el factor 0.434295 es utilizado para convertir al logaritmo a base 10. En la línea 320 se realiza la operación para obtener el número de zonas a partir de la ganancia deseada, posteriormente en la línea 330 se hace entero el número de zonas y gracias al factor 0.9 se obliga a ser el entero inmediato superior. En la línea 600 el factor de escala es calculado y almacenado en la variable R1. Añadir 0.5, multiplicar por 100 y dividir entre 100 asegura que el valor de R1 ha sido redondeado correctamente. El mismo 'truco' se ha usado en la línea 630, que calcula la raíz cuadrada del radio en turno y en la línea 640 que calcula el radio de corte.

Después de checar los cálculos, se procedió a la fabricación del lente, para lo cual se utilizaron cuatro láminas de aluminio de 1 metro cuadrado con un espesor de 6 milímetros, en cada lámina se dibujó un cuadrante del lente de Fresnel y posteriormente se procedió a realizar los cortes utilizando una caladora manual. Una vez realizados se fabricó un soporte para montar las láminas y posteriormente ensamblarlas formando el lente.







Para la orientación del lente se construyó un soporte elevación-acimut como se puede observar en las fotografías antes mostradas. Para lograr el ajuste de elevación se montó el lente al soporte mediante un par de bisagras equipadas con tornillos para impedir el movimiento una vez ajustado. Mientras que para el movimiento de acimut se montaron ruedas y elevadores al soporte, los elevadores sirven para anclar al soporte y para corregir inclinaciones indeseadas en el piso.

#### CALCULO DE LA DISTANCIA FOCAL.

Asumiendo que estamos interesados en recibir señales de banda C, las frecuencias de bajada variarán entre 3.700 GHz y 4.180 GHz, dependiendo del transpondedor. Para calcular la distancia focal requerida se necesita conocer la longitud de onda de las señales de bajada. Esto puede ser encontrado dividiendo 30 por la frecuencia  $f$ , donde  $f$  es medida en GHz:

$$l.o. (cm) = 30 / f$$

La longitud de onda varía entre 7.18 y 8.11 cm para estas frecuencias. Para el lente de Fresnel la distancia focal, o distancia del lente al punto de alimentación, esta dada por la fórmula:

$$F = R1^2 / l.o.$$

donde  $R1$  es el radio del círculo central en el lente y  $F$  es la distancia focal. Puede calcularse en cualquier unidad, si se especifica  $l.o$  en cm, entonces  $R1$  deberá estar también en cm y por supuesto, el resultado final estará también en cm.

La distancia focal para nuestro lente está en el rango de 30.82 cm para el transpondedor 1 y a 34.812 cm para el transpondedor 24. Por lo cual utilizamos la distancia central que cae en 32.816 cm. Note que las variaciones en ambos lados del centro de la frecuencia a los extremos de la banda es 1.996 cm y la variación total es 3.992 cm. Las guías de onda comerciales tienen esa profundidad. Para asegurar que la distancia focal de cada transpondedor de en el área de la guía de onda.

```

10 PRINT:PRINT
20 PRINT TAB(10);"ESTE PROGRAMA SIRVE PARA REALIZAR LOS CALCULOS";
30 PRINT TAB(10);"DEL LENTE DE FRESNELL";
40 PRINT:PRINT
50 PRINT TAB(5);"1 QUIERES OBTENER LA GANANCIA A PARTIR DEL R DE ZONAS."
60 PRINT TAB(5);"2 QUIERES OBTENER EL R DE ZONAS A PARTIR DE LA GANANCIA."
70 PRINT TAB(5);"3 QUIERES OBTENER LOS RADIOS DE CORTE A PARTIR DEL R DE"
80 PRINT TAB(10);"ZONAS."
90 PRINT:PRINT
100 INPUT RR
110 IF RR=1 THEN 150
120 IF RR=2 THEN 270
130 IF RR=3 THEN 450
140 GOTO 40
150 PRINT:PRINT
160 AX=1
170 PRINT "CUANTAS ZONAS QUIERES TENER ?":PRINT
180 INPUT N
190 PRINT:PRINT
200 G=20*LOG(N)*.434295
210 PRINT TAB(5);"LA GANANCIA EN DECIBELES SERA ";G
220 PRINT:PRINT
230 PRINT "QUIERES REALIZAR OTRA OPERACION ? (SI/NO)":PRINT
240 INPUT TA$
250 IF TA$="SI" THEN 40
260 IF TA$="NO" THEN 730
265 GOTO 230
270 PRINT:PRINT
280 AX=1
290 PRINT "QUE GANANCIA DESEAS TENER EN DECIBELES ?":PRINT
300 INPUT G
310 PRINT:PRINT
320 H= 10^(G/20)
330 N=INT(N+.9)
340 PRINT TAB(5);"EL NUMERO DE ZONAS SERAN";N
350 G=20*LOG(N)*.434295
360 PRINT:PRINT
370 PRINT TAB(5);"COMO REDONDEAMOS EL NUMERO DE ZONAS LA GANANCIA";
380 PRINT TAB(15);"SERA ";G;" DECIBELES";
390 PRINT:PRINT:PRINT
400 PRINT "QUIERES REALIZAR OTRO OPERACION ? (SI/NO)":PRINT
410 INPUT TA$
420 IF TA$="SI" THEN 40
430 IF TA$="NO" THEN 730
440 GOTO 400
450 PRINT:PRINT
460 IF AX=1 THEN 480
470 GOTO 510
480 PRINT "QUIERES QUE TU NUMERO DE ZONAS SIGA SIENDO"; N ;" ? (SI/NO)":PRINT
490 INPUT BK$
500 IF BK$="SI" THEN 530
501 IF BK$="NO" THEN 510
502 GOTO 480
510 PRINT:PRINT "CUANTAS ZONAS ?":PRINT
520 INPUT N
530 PRINT:PRINT
540 PRINT "CUAL ES EL RADIO EXTERIOR EN CENTIMETROS ?":PRINT

```

```
550 INPUT RM
560 PRINT:PRINT
570 PRINT TAB(15);"RADIO";SPC(8);"RADIO";SPC(9);"RADIO";
580 PRINT TAB(15);"NUMERO";SPC(7);"UNITARIO";SPC(6);"DE CORTE EN cm.";
590 PRINT:PRINT
600 R1=INT(.5+100*(RM/SQR(N)))/100
610 PRINT TAB(15);"R 1";TAB(29);"1.00";TAB(42);R1
620 FOR X=2 TO N
630 SX=INT(.5+100*SQR(X))/100
640 RS=INT(.5+100*(R1*SX))/100
650 PRINT TAB(15);"R";X;TAB(28);SX;TAB(42);RS
660 NEXT X
670 PRINT:PRINT
680 PRINT "QUIERES REALIZAR OTRA OPERACION ? (SI/NO)";PRINT
690 INPUT TAŞ
700 IF TAŞ="SI" THEN 40
710 IF TAŞ="NO" THEN 730
720 GOTO 680
730 PRINT:PRINT
740 END
```

## V CONCLUSIONES

---

## V CONCLUSIONES

---

Para el estudio del lente de Fresnel se construyó un modelo experimental que, como ya se dijo, tiene una ganancia teórica de 32 dB. Esta ganancia es la que proporciona un plato parabólico comercial de 3.5 metros de diámetro. Un plato como este alcanza a recibir señal lo suficientemente buena de diferentes satélites en la Ciudad de México. En base a esta consideración fué que se eligió esta ganancia como meta en el lente experimental de Fresnel.

En cuanto se comenzaron las pruebas del lente experimental se llegó a la conclusión de que el lente de Fresnel es mucho más sensible al ruido que un plato parabólico, lo que se demostró al comparar la operación de estos dos sistemas de recepción vía satélite en condiciones iguales y de características teóricamente similares. Se empleó un plato parabólico de 3 metros de diámetro y un mismo equipo (receptor, alimentador, LNA y convertidor de bajada) además del lente experimental en el procedimiento siguiente:

1.- Medición de fuerza de señal (propia del receptor) y medición subjetiva a través de un televisor con el equipo orientado al satélite Morelos I.

2.- Medición de fuerza de señal (propia del receptor) y medición subjetiva a través de un televisor con el equipo orientado a un mismo punto ubicado lejos del arco geosincrónico.

Con el punto 1 se pretendía comparar si ambos sistemas captaban señales de la misma magnitud, mientras que con el punto 2, en que se captaba únicamente ruido e interferencia, se pretendía comparar la captación de ruido. En el punto 1 se observaron mediciones de fuerza de señal de diferente magnitud: 100% de la escala para el lente de Fresnel y 80% de la escala para el plato parabólico. Sin embargo, contra lo esperado, la señal en televisión era totalmente desalentadora. La señal lograda mediante el plato parabólico era clara y nitida mientras que en el caso del lente de Fresnel las siluetas eran apenas distinguibles. En cuanto al audio, con el sistema experimental no se logró percibir.

En cuanto al punto 2, usando el sistema convencional no se logró más que medir un 10% de la escala y ningún efecto en la televisión. Esto era lo esperado dado que se trataba de ruido e interferencia únicamente y no se esperaba señal. El sistema experimental mostró una diferencia impresionante: 75% de la escala de fuerza de señal. Es de aquí que se concluyó que en el lente de Fresnel se tiene una influencia negativa del ruido mucho mayor. En el televisor la influencia fué mínima. De aquí que el nivel de ruido en relación al de la señal es sumamente

desfavorable e impide la recepción.

Hay varios factores que afectan la calidad de un enlace de satélite. Uno de ellos es el ruido en el extremo receptor, la mayor parte del ruido producido por los equipos se genera en las primeras etapas del receptor, debido a los dispositivos electrónicos de los equipos como componentes resistivos, diodos, transistores, etc., y otra parte proviene de fuentes exteriores que producen energía o señales indeseables. Esta energía se introduce al sistema receptor junto con las señales de comunicación vía la antena, esta clase de ruidos provienen de fenómenos físicos que ocurren en el espacio, en las cercanías del sistema receptor o proceden de emisores de otros sistemas de comunicación (interferencia). Este ruido se superpone a la señal alterándola de tal forma que en ocasiones la información originalmente transmitida no puede ser recuperada. El daño que cualquier clase de ruido ocasiona a un sistema de comunicación no depende del valor del ruido en sí, sino de su nivel con respecto al de la señal que se desea captar. Cuando el nivel de ruido se acerca o sobrepasa al de la señal, la información que esta última porta quedará enmascarada y no es recuperable por el receptor. Notemos que la potencia del ruido total en el sistema ( $N_s$ ) está dada por la suma de la potencia del ruido generado en el receptor ( $N_r$ ) y la potencia del ruido externo ( $N_e$ ).

$$N_s = N_r + N_e$$

En la mayoría de los casos la potencia de ruido que entra por la antena y la potencia de ruido generado por el receptor del satélite tienen un comportamiento similar al del ruido térmico, por lo cual pueden ser considerados como este. El ruido térmico se produce por el movimiento aleatorio de los electrones en un conductor debido a su energía térmica.

El LNA es construido con transistores GaAsFET (transistores de efecto de campo de arseniuro de galio), puesto que estos transistores amplifican con muy bajo nivel de ruido durante su operación y posee por lo tanto bajas temperaturas de ruido. El uso de estos transistores para la fabricación del LNA son de suma importancia debido a que las señales transmitidas por los satélites llegan a la Tierra altamente atenuadas y dispersas. El nivel de la señal recibida por la antena es tan baja, que si el ruido generado por el dispositivo amplificador fuera comparable al nivel de la señal, sería imposible reconocerla porque el ruido la enmascararía por completo.

Para asegurar que un enlace vía satélite sea bueno es necesario asegurarnos que la potencia de la señal recibida se mantenga por encima de un nivel específico respecto al ruido, es decir, que la relación señal/ruido (S/N) nunca sea menor a un valor determinado. El valor mínimo permitido para un enlace se establece en función de la aplicación que se va a dar. Para establecer la relación señal/ruido propio de un enlace, es



necesario seleccionar adecuadamente los equipos y la ubicación de la estación terrena involucrada en el enlace, así como tomar en cuenta los niveles de ruido e interferencia existentes y de probable aparición en el enlace.

No fué posible mejorar la relación señal/ruido tan deficiente, por lo que de las consideraciones teóricas antes mencionadas se deduce la ineficiencia del sistema.

La fabricación de este modelo experimental involucró varios problemas que afectaron el costo, sobre todo a nivel prototipo. El grado de perfección requerida en el calado del aluminio implica el uso de herramientas profesionales y mano de obra calificada que encarecen notablemente la fabricación. Este alto costo de fabricación puede ser abatido si se utilizan otros medios de fabricación, como el uso de moldes, para lograr una producción en masa. Un punto interesante para estudiar es la posibilidad de usar materiales diferentes; un ejemplo serían los plásticos inyectados en moldes y recubiertos con pintura metálica o tal vez, lámina metálica delgada. Hablamos de varios problemas porque este proceso además de caro es sumamente lento. Un tercer problema, o al menos dificultad, es el trazado exacto de las curvas del lente en las láminas utilizadas.

Aunque este modelo no se puede considerar exitoso, vale la pena mencionar que el lente de Fresnel para recepción vía satélite es ya una realidad comercial. En Nashville, Tenn. U.S.A. se realiza anualmente una convención-exposición de los adelantos técnicos y comerciales en el campo de la recepción vía satélite. En la que se llevó a cabo a finales de 1986 se presentó a la venta un equipo de este tipo. Su éxito fué muy limitado (basado casi por entero en la curiosidad por un sistema tan diferente) pero no se debe considerar como un fracaso. Estos equipos se operarán en U.S.A. con lo que estarán sometidos a condiciones de ruido más aceptables y además casi en cualquier posición geográfica que sean instalados podrán recibir señales mucho más fuertes. Esto, aunado al hecho de que seguramente se diseñan para ganancias mayores a las deseadas en un plato parabólico adecuado para esas zonas, permite asegurar la operación adecuada.

Un comentario importante es que la imagen de televisión lograda en el punto uno antes descrito es comparable a la imagen que diferentes libros adjudica a una ganancia de -3dB con respecto a la señal que se recibe del satélite.

Creo que aún cuando este modelo no permitió la recepción vía satélite no debe ser considerado como un fracaso, puesto que sienta las bases para futuras modificaciones que posiblemente serán del todo exitosas e independientemente, permitió alcanzar un conocimiento sobre los sistemas de recepción vía satélite para televisión.

**APENDICE**

---

## GLOSARIO.

---

**Abertura (aperture) :** es la superficie o área de una antena.

**Acimut (azimuth) :** grados de rotación hacia la derecha a partir del norte geográfico.

**Aislador (isolator) :** dispositivo que permite el paso de las señales en un sentido, pero las atenúa en el sentido contrario.

**Alimentador (feedhorn) :** dispositivo que capta las señales de microondas concentradas por el lente. Se instala en el punto focal de la antena.

**Alineación (alignment) :** es el proceso de sintonización fina de una antena o de un circuito electrónico con el fin de lograr el máximo de sensibilidad y capacidad de recepción de señales.

**Amplificador (amplifier) :** dispositivo que se emplea para aumentar la potencia de una señal.

**Amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) (low noise amplifier) :** este dispositivo se usa para la recepción y amplificación de la señal débil del satélite reflejada por la antena y canalizada por un alimentador. La temperatura de ruido de los LNA se expresa en grados Kelvin.

**Ancho de banda (bandwidth) :** es la gama de frecuencia que se permite pasar a través de un circuito.

**Angulo de elevación (elevation angle) :** ángulo vertical medido desde el horizonte hasta el satélite objetivo.

**Antena únicamente receptora de televisión (TVRO) (television receive only) :** Estación terrestre diseñada solo para recibir, y no transmitir comunicaciones vía satélite.

**Atenuador (attenuator) :** dispositivo que reduce la potencia de la señal.

**Banda C (C-band) :** la banda de frecuencia de 3.7 a 4.2 GHz en que funcionan algunos satélites.

**Banda de base (baseband) :** la señal de audio o video pura sin onda portadora. las señales de satélites conducen información en banda de base de audio de frecuencia casi cero hasta 3400 hertz. La banda de base de video va desde cero hasta 4.2 MHz.

**Banda Ku (Ku band) :** la banda de frecuencias de microondas entre 11.7 y 12.2 GHz.

**Cable coaxial (coaxial cable)** : cable que se utiliza para la transmisión de señales eléctricas de alta frecuencia con bajas pérdidas. Se compone de un hilo conductor interno rodeado de un dieléctrico aislante recubierto con un blindaje metálico.

**Canal (channel)** : segmento de un ancho de banda que se emplea para un enlace de comunicaciones.

**Canal único por portadora (SCPC) (single channel per carrier)** : sistema de transmisión vía satélite en que se emplea una portadora separada para cada canal.

**CATV** : abreviatura del término en inglés Community Antenna Television que se usa para describir el sistema de televisión por cable.

**Cifra de ruido (noise figure)** : relación entre la potencia de ruido actual que se genera a la entrada de un amplificador y la potencia de ruido que se generaría en un resistor ideal. Mientras más baja sea la cifra de ruido, mejor es la calidad del amplificador.

**Cinturón de Clarke (Clarke belt)** : es la zona orbital circular a una altura de 35,816 km (22,247 millas) sobre el ecuador. En esta zona los satélites viajan a la misma velocidad de rotación de la tierra. También se denomina órbita geosincrónica u órbita geostacionaria.

**Codificación (scrambling)** : método que se emplea para alterar la identidad de las señales con el fin de impedir que sean recibidas por personas no autorizadas. Para la recepción correcta se necesita un decodificador.

**Coefficiente de mérito (G/T) (figure of merit)** : factor de calidad que compara la ganancia del plato al ruido del sistema. La temperatura se da en grados Kelvin y ganancia se da en decibeles.

**Control automático de frecuencia (AFC) (automatic frequency control)** : circuito que se enciava en una frecuencia determinada, sin desplazarse de ella.

**Control automático de ganancia (AGC) (automatic gain control)** : es un circuito electrónico diseñado para mantener una ganancia o amplificación constante.

**Convertidor de bajo nivel de ruido (LNC) (low noise converter)** : un LNA y un convertidor de bajada convencional instalados en una misma caja protegida contra intemperie.

**Convertidor descendente de bajo ruido en bloque de señales (LNB) (low noise block downconverter)** : LNA que también, en un solo paso, convierte todo el ancho de banda de 500 Mhz de las señales de satélite, reduciéndolas a una banda de frecuencia intermedia.

**Convertidor ascendente (upconverter) :** dispositivo que aumenta la frecuencia de una señal transmitida.

**Convertidor de bajada (downconverter) :** circuito relacionado con un receptor de satélite que reduce las señales de alta frecuencia a una gama intermedia más baja. Hay tres clases distintas de convertidores de bajada : conversión descendente individual, conversión descendente doble y conversión descendente de bloque de señal.

**Decibel (dB) :** término con que se expresa la relación de niveles de potencia, relación que sirve para indicar la ganancia o pérdida de las señales. La relación de decibeles a 1 vatio se abrevia dBw, mientras que la relación a 1 milivatio se abrevia dBm.

**Demodulador (demodulator) :** dispositivo que extrae la señal proveniente de la onda portadora transmitida.

**Destellos (sparkles) :** pequeños puntos blancos y/o negros que aparecen en una imagen de televisión, lo que indica una relación señal / ruido insuficiente.

**Diafonía (crosstalk) :** interferencia entre canales adyacentes.

**Disco ó plato (dish) :** expresión con que se designa a una antena.

**Doble alimentador (dual feedhorn) :** alimentador que puede recibir simultáneamente señales polarizadas tanto horizontal como verticalmente.

**Eficiencia de la antena (antenna efficiency) :** es el porcentaje de las señales provenientes del satélite que son efectivamente canalizadas hacia el alimentador y LNA.

**EIRP (potencia isotrópica irradiada efectiva) (effective isotropic radiated power) :** medida de intensidad de la señal que un satélite transmite hacia la tierra. EIRP tiene su mayor intensidad en el centro del haz y va disminuyendo al alejarse de esta mira de alimentación.

**Encadenamiento de subida (uplink) :** los circuitos y la antena de una estación terrestre que se emplean para transmitir información a un satélite de comunicaciones.

**Estación terrena (earth station) :** Una estación completa de transmisión y recepción vía satélite; consiste de la antena, dispositivos electrónicos y todos los equipos afines necesarios para recibir o transmitir señales vía satélite.

**Factor de ruido (noise factor) :** es la relación de salida S/N a entrada S/N.

**Filtro SAW (surface acoustic wave filter)** : dispositivo electrónico que permite una brusca transición entre regiones de frecuencias permitidas y atenuadas.

**Frecuencia intermedia (IF) (intermediate frequency)** : frecuencia de gama media que se genera después de la conversión descendente en un receptor de satélite.

**Ganancia (gain)** : es la cantidad de amplificación de la potencia de salida con respecto a la entrada. Generalmente se expresa como un factor de multiplicación o en decibeles.

**Guía de onda (waveguide)** : Línea de transmisión formada por un tubo conductor hueco (rectangular o tubular) a través del cual se propaga la onda electromagnética.

**Iluminación del plato (dish illumination)** : término con que se describe la forma en que un alimentador "ve" la superficie de una antena y el terreno circundante.

**Interferencia terrestre (TI) (terrestrial interference)** : señales de comunicación generadas en la tierra en la gama de frecuencias de microondas que interfieren con las transmisiones vía satélite.

**Inversión de video (video inversion)** : codificación en que la señal de video del encadenamiento de bajada es invertida.

**Grados Kelvin (K) (Kelvin grade)** : temperaturas por sobre el cero absoluto, temperatura a la cual se detiene todo movimiento molecular. La escala Kelvin está graduada en unidades de la misma magnitud que los grados Celsius. El cero absoluto equivale a -273 grados Centígrados ó -459 grados Fahrenheit.

**Latitud (latitude)** : medida de un punto de la superficie de la Tierra al norte o al sur del ecuador, expresada en grados de ángulo.

**Longitud (longitude)** : es la distancia al este o al oeste del primer meridiano (0 grados), medida en grados.

**Longitud focal (focal length)** : distancia desde la superficie reflectora de una parábola hasta el punto al que se enfocan las señales de entrada del satélite, el punto focal.

**Microondas (microwave)** : es la gama de frecuencias que abarca desde aproximadamente 500 Mhz hasta 30 Ghz.

**Modulación (modulation)** : procedimiento por el cual se agrega un mensaje a una onda portadora. Esta operación se puede efectuar mediante variación (modulación) de la amplitud (A.M.) ó variación de la frecuencia.

**Soporte polar (polar mount) :** soporte de antena que con el movimiento de un solo eje efectúa el rastreo de todos los satélites ubicados en el arco geosincrónico.

**Onda no guiada (unguided wave) :** onda de una trasmisora.

**Oscilador sintonizable por tensión (VTO) (voltage tuned oscillator) :** circuito electrónico que se usa en los receptores de satélites para generar una frecuencia destinada a la selección de canales.

**Pérdida de trayectoria (path loss) :** también conocida como pérdidas en espacio. Atenuación de la señal a través de su viaje por el espacio.

**Polarización (polarization) :** una característica de las ondas electromagnéticas. En las transmisiones vía satélite se emplean cuatro sentidos de polarización : horizontal, vertical, circular a la derecha y circular a la izquierda.

**Punto focal (focal point) :** es el punto en el cual toda la señal que es concentrada por el lente se unen o cruzan.

**Ranura (slot) :** es la posición longitudinal de un satélite en la órbita geosincrónica.

**Radiofrecuencia (radio frequency) :** banda de frecuencias de 10 Khz a 100 Ghz del espectro electromagnético usado en las comunicaciones por el hombre.

**Razón de ondas estacionarias de tensión (VSWR) (voltage standing wave ratio) :** es una medida del porcentaje de la potencia que es reflejada con respecto a la potencia total que llega a un dispositivo.

**Receptor de satélite (satellite receiver) :** equipo electrónico instalado bajo techo de una estación terrestre que se encarga de la conversión descendente, procesamiento y preparación de las señales procedentes del satélite para su presentación visual o audible.

**Relación f/D (f/D ratio) :** relación entre la longitud focal de una antena y el diámetro.

**Relación ganancia / temperatura de ruido (G/T) (gain to noise temperature ratio) :** cifra de mérito de una antena y un LNA. Mientras más elevada es la relación G/T, mejor es la capacidad de recepción de una estación terrestre.

**Relación portadora / ruido (C/N) (carrier to noise ratio) :** es la relación entre la potencia de la portadora recibida y la potencia del ruido en un ancho de banda determinado. Indica la forma en que se desempeña una estación terrena. Se calcula en base a los niveles de potencia del satélite, la ganancia de la antena y las temperaturas de ruido de la antena y del LNA.

**Relación portadora / ruido (G/KT) (carrier to noise ratio) :** es la relación C/N expresada en decibeles por hertz de ancho de banda de la señal. (también se denomina relación de ganancia / temperatura de ruido).

**Relación señal / ruido (S/N) (signal to noise ratio) :** razón entre la potencia de una señal y la potencia de ruido en un ancho de banda especificado. Esta relación generalmente se expresa en decibeles.

**Remodulación (remodulation) :** proceso de recuperación de la señal modulada. Demodulación.

**Resistencia a carga de viento (wind load survival) :** cuantificación de la presión de viento tolerada por el plato.

**Reuso de frecuencia (frequency reuse) :** método que permite que dos canales diferentes sean transmitidos simultáneamente al mismo transpondedor, polarizando un canal en forma vertical y el otro en forma horizontal. Otro método de reuso es espaciar los satélites cerca de 4 grados. Un TVRO recibe sólo una de estas señales.

**Ruido (noise) :** señal no deseada que interfiere la recepción de la señal de información deseada. Generalmente el ruido se expresa en grados Kelvin o en decibeles.

**Ruido de tierra (ground noise) :** señales de microondas perturbadoras generadas por el calor de la tierra y detectadas por la antena receptora.

**Ruido térmico (thermal noise) :** señales eléctricas aleatorias causadas por agitación moleculares. Se conocen comúnmente como ruido.

**Separador (splitter) :** dispositivo que toma una señal y la divide en dos o más señales idénticas pero de menor potencia.

**Seago (skew) :** término para describir los ajustes necesarios para sintonizar finamente la polaridad del alimentador al apuntar hacia un satélite diferente.

**Subportadora de audio (audio subcarrier) :** es la onda portadora que transmite información de audio entre 5 y 8.5 Mhz, en una transmisión vía satélite.

**Subportadora de color (color subcarrier) :** subportadora de 3.58 MHz de una señal compuesta de video. También se conoce como subportadora de crominancia.

**Temperatura de ruido (noise temperature) :** medida de la magnitud de ruido térmico presente en un sistema o dispositivo. Mientras más baja sea la temperatura de ruido, mejor es la calidad del sistema o dispositivo.



**Transpondedor o transmisor-respondedor (transponder) :** un repetidor, receptor, y transmisor de microondas, que se emplea en un satélite para amplificar y cambiar la frecuencia de un canal de comunicación de enlace ascendente.

**Umbral (threshold) :** la entrada mínima de señal con relación al ruido para que un video receptor pueda presentar una imagen aceptable.

**Ventana de recepción (reception window) :** rectángulo imaginario enfrente del disco que define los límites del movimiento del plato para la recepción vía satélite.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- S.C.T.  
"Sistema de Comunicaciones por Satélites"  
Programa Nacional de Comunicaciones Electricas 1983-1988
- 2.- Landeros Salvador  
"El Sistema de Satélites Morelos"  
MexCom 85 febrero de 1985
- 3.- I.E.E.E.  
"New horizons for communications satellites"  
Potentials, october 1984
- 4.- Ing. Rubén Carrillo  
"Comunicaciones por Satélites"  
Revista Telegráfica Electrónica 845, octubre 1983
- 5.- Collier's Encyclopedia  
"Astronomy", Tomo 3  
"Celestial Sphere", Tomo 5  
"Orbit", Tomo 18  
The Crowell-Collier Publishing Co. 1965
- 6.- Frank Baylin, Brent Gale  
"Televisión Domestica via Satélite"  
Baylin/Gale Productions, Diciembre de 1985
- 7.- U.I.T. ( Union Internacional de Telecomunicaciones )  
"Cuadro de Satélites Lanzados entre 1977 y 1984"  
Boletín de Telecomunicaciones, Vol.52, julio de 1985
- 8.- I.V. Savéliev  
Curso de Física General, Tomo 2  
"Principio de Huygens-Fresnel", "Zonas de Fresnel"  
Ed. Mir Moscú, 1984
- 9.- Dick Smith  
"Assembly Manual for the Australia 1 Satellite-TV Receiver"  
Kit número 6316, 1986
- 10.- Francis W. Sears  
Fundamentos de Física, Tomo de Optica  
"Difracción de Fresnel"  
Ed. Aguilar, 1971

- 11.- Radio Electronics  
"Aplywood Satellite-TV Dish"  
"Glossary of Commonly used Satellite-TV Terms"  
October 1985
- 12.- Radio Electronics  
"Satellite-TV Receiver", Part 1  
January 1986
- 13.- Radio electronics  
"Satellite-TV Receiver", Part 2  
February 1986
- 14.- Tesis " Ruido e Interferencia en la recepción de señales  
via satélite ".  
Universidad Iberoamericana, 1986  
Carolina Zavaleta Mancera