

## CAPÍTULO 4: SISTEMAS SATELITALES PARA TELEVISIÓN DIGITAL.

Un sistema satelital para televisión al igual que todo sistema satelital está dividido en tres partes: la etapa de transmisión, la etapa satelital, y la etapa de recepción.

La etapa de transmisión está conformada principalmente por la fuente de programación y el centro de radiodifusión. La fuente de programación utiliza diferentes medios para transmitir el contenido al centro de radiodifusión. El centro de radiodifusión es el encargado de hacer llegar la señal de televisión al satélite.

La etapa satelital está compuesta únicamente por el satélite. Las señales recibidas son tratadas y repetidas de regreso a la Tierra. Es por ello que el satélite se define algunas veces como repetidor punto multipunto. El destino de las señales puede ser diferente dependiendo de la forma en la que se entregan los contenidos al usuario.

Por último, está la etapa de recepción que, como se comentó puede estar definida de diferente manera. El satélite es capaz de entregar los programas de televisión directamente a los usuarios DTH o indirectamente por medio de redes de cable o redes de radiodifusión terrestre.

La figura 4.1 muestra una red convencional de televisión por satélite [48].

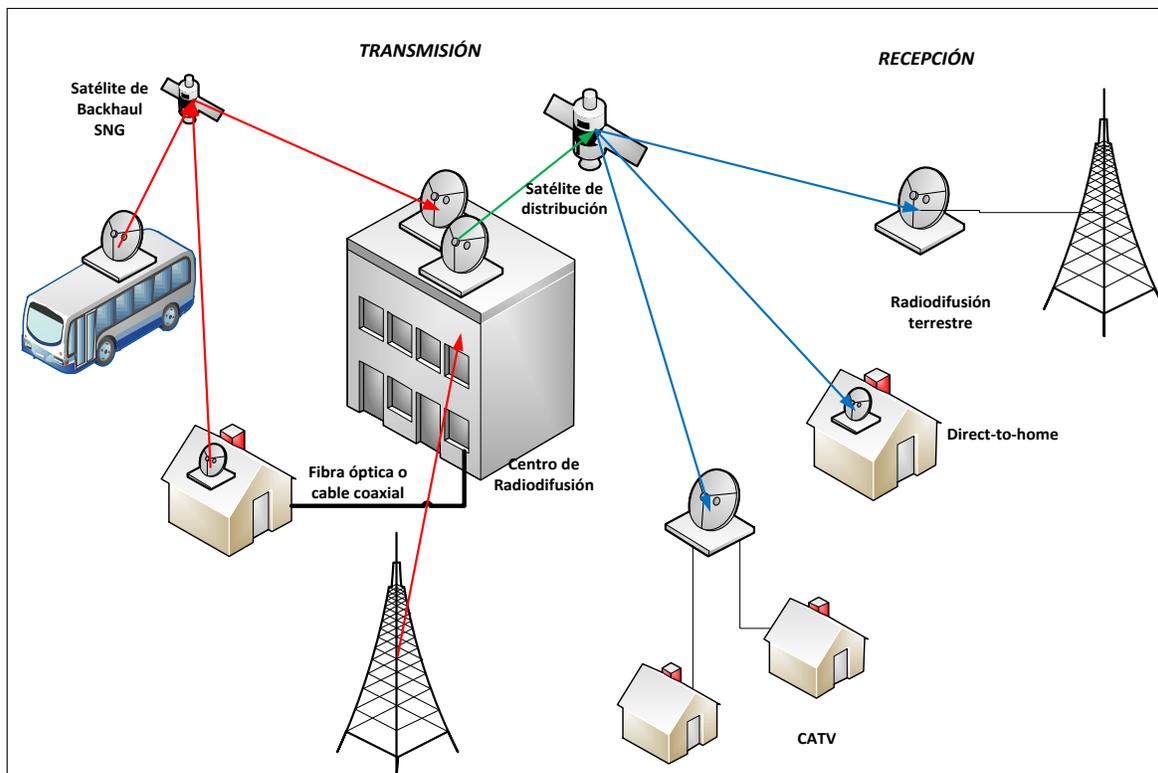


Figura 4.1. Red convencional de televisión por satélite.

## 4.1. Redes de televisión por satélite.

### 4.1.1. Transmisión de contenidos.

Esta etapa del sistema está conformada principalmente por la fuente de programación y el centro de radiodifusión. Se le llama fuente de programación a toda red proveedora de canales de TV y está encargada de entregar las señales de televisión al centro de radiodifusión.

La fuente de programación puede realizar la transmisión de contenidos de tres diferentes maneras: por medio de un sistema terrestre de microondas con línea de vista, por medio de fibra óptica y por SNG.

Hoy en día la transmisión de contenidos por fibra, es utilizada en este medio principalmente para la entrega de programas grabados dentro de un set de grabación.

SNG se utiliza generalmente cuando se trata de realizar una cobertura de algún evento deportivo o noticia en el exterior. En algunos casos se emplea una estación terrena móvil la cual tiene comunicación con el satélite de *backhaul* encargado de retransmitir la información al centro de radiodifusión.

La estación móvil va montada sobre una camioneta, camión o aeronave y es capaz de proveer servicios de datos, voz y video. Generalmente trabajan en las bandas de 6/4GHz, 14/12 GHz y 30/20 GHz. Aunque la tendencia es utilizar las bandas de frecuencia altas para reducir el tamaño del equipo. Estas estaciones móviles tienen la facilidad de montarse y desmontarse entre 15 y 30 minutos. El tamaño y peso del equipo permite una práctica transportación sin la necesidad de un gran número de personas.

El centro de radiodifusión es referido como el Hub o concentrador de todo el sistema. En este punto se reúnen los contenidos de diferentes fuentes de televisión. Después de procesar las señales de TV, se realiza la conexión con el satélite de distribución o satélite de radiodifusión. Además, el centro de radiodifusión es el encargado de agregar los comerciales y comentarios o datos al conjunto de programas, así como de realizar una encriptación especial a la señal para proteger los contenidos de carácter privado y/o prepago.

### 4.1.2. Recepción de contenidos.

La etapa de recepción de contenidos puede realizarse de tres maneras diferentes: por medio de radiodifusión terrestre, por una operadora de cable o por recepción directa del usuario.

La primera, se encuentra integrada por varios centros de radiodifusión terrestre, los cuales reciben la señal satelital y la transmiten hacia los usuarios en las bandas de VHF y UHF. El usuario final necesita de antenas Yagi direccionales para recibir la señal de televisión. Este método de recepción el predominante por años en todo el mundo, desde los inicio de la televisión hasta nuestros días.

En el caso de que se realice mediante una operadora de cable, la etapa de recepción estará conformada por el centro distribuidor, que contiene el equipo de recepción de la señal satelital y una red de distribución cableada a lo largo de la zona para la entrega del contenido.

Por último, si la recepción se realizara con un sistema DTH el cual es un servicio únicamente de recepción, cada usuario contará con una antena parabólica montada en su hogar, permitiendo la recepción individual del servicio [8, 9].

#### *CATV y radiodifusión terrestre.*

CATV (*Community antena televisión*), comúnmente conocido como *Cable TV*, es el término utilizado para la distribución de televisión por cable y hace referencia a la manera en que la red entrega los servicios de televisión a un conjunto de usuarios a través de un medio de transmisión guiado.

Las redes de televisión por cable, con el incremento de usuarios, están siendo más extensas y complicadas. Por lo tanto, se optó por la solución de que el centro de distribución recibiera los canales de programación tanto por satélite como por la red de radiodifusión local.

El uso de satélites para la recepción de programación en los sistemas de cable se conoce como televisión por Satélite-Cable. El centro de distribución se compone de varias estaciones terrenas únicamente receptoras. Estas son generalmente capaces de tomar señales de entre dos y seis satélites. Para ello, las estaciones terrenas pueden tener varias antenas parabólicas o una única antena de múltiples alimentadores, cada uno alineado o dirigido a un satélite diferente.

Los canales recibidos son distribuidos por medio de una típica red cableada a un número grande de suscriptores. Es en esta etapa donde se aplica el acceso condicional a los programas.

En cuanto a la radiodifusión terrestre o radiodifusión local, se tiene una estructura similar a CATV. Las señales satelitales son recibidas en un centro de radiodifusión local para luego ser distribuidas a los suscriptores. Estos centros, como se comentó, utilizan las bandas de UHF y VHF para la entrega del servicio por medio de antenas de línea de vista con un alcance de entre 50 y 150 Km.

#### *DTH*

*Direct-To-Home* se refiere a la recepción de televisión satelital directa en los hogares o ubicación de los suscriptores por medio de sus propias antenas parabólicas.

En un principio, esta forma de recepción era conocida como TVRO (*Television Receive-Only*). Cuyos sistemas eran para la radiodifusión de televisión analógica y empleaban la banda C de frecuencias, por lo que las antenas receptoras tendían a ser de gran tamaño (2-6 metros).

Esta fue una de las razones por la que se fuera haciendo menos común este servicio, además de la inevitable interferencia entre la señal satelital y la radiación de las microondas terrestres y el cambio inminente de la televisión analógica a digital.

Cada transpondedor de banda C era capaz de proveer un canal analógico, por lo que un satélite de 16 transpondedores era capaz de transmitir solamente 16 canales diferentes. Esto obviamente limitaba la cantidad de canales por satélite, por lo que se optó por implementar motores en las antenas para que permitieran una rotación o redireccionamiento para sintonizar canales provenientes de otros satélites.

TVRO surgió en los inicios de los 80s marcando el inicio de DTH. Pero el año 1994 TVRO alcanzó su máximo esplendor y a partir de esa fecha su uso ha tenido un declive rápido en favor de los sistemas DBS. A pesar de esto, TVRO sigue existiendo en algunos sitios y su desarrollo en la actualidad está siendo enfocado en una mejora que permita recibir canales de satélites de banda Ku.

En la actualidad, los servicios de DBS son los más utilizados a nivel mundial. La primera compañía en implementar el servicio fue *SKY Television* en el año 1989. DBS ocupa satélites en las bandas Ku y Ka lo que permite el uso de antenas parabólicas mucho más pequeñas, del orden de los 50 cm aproximadamente. Otro beneficio de este sistema, es la capacidad de canal por cada transpondedor (5-12 canales). Debido a este aumento de capacidad se ha reducido la necesidad de utilizar antenas con mecanismos de alineamiento.

DBS provee al suscriptor de múltiples servicios como una guía completa de programación, programación en HDTV, programas interactivos, video bajo demanda, y posibilidad de grabación de programas, entre otros.

Pero la principal limitante de estos sistemas se encuentra en la restricción del usuario para mandar información de retorno. Esto es debido al aumento en el costo y complejidad de los equipos en el hogar de los suscriptores.

## **4.2. Hardware en el segmento terrestre.**

### *4.2.1 Estaciones terrenas (transmisión y recepción).*

En la figura 4.2 se muestra un diagrama general del segmento terrestre de un sistema satelital. La imagen hace referencia a un sistema dúplex, muestra bloques tanto de transmisión como de recepción y ambas partes comparten el sistema de la antena. Es común que los sistemas terrestres o estaciones terrenas sean simplex, en este caso el sistema de la antena sería solamente de recepción o de transmisión respectivamente [24].

El diagrama está dividido en cuatro grupos de bloques principalmente, los bloques verdes corresponden a la etapa de transmisión, los rojos a la de recepción y los morados al sistema de la antena bidireccional. Los bloques amarillos corresponden al conjunto de procesos de la señal en banda base explicados en los capítulos anteriores, procesos como codificación y corrección de errores, multiplexación y modulación. Por lo anterior estos bloques solo quedan mencionados en la figura.

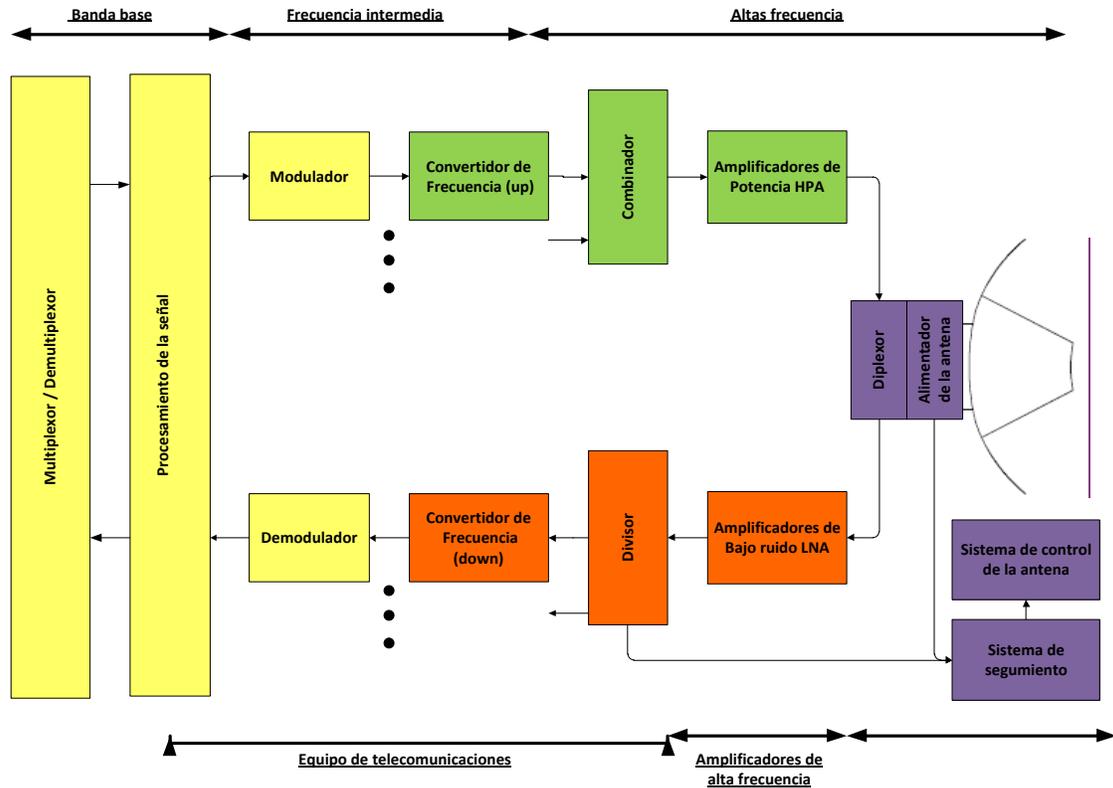


Figura 4.2. Diagrama a bloques del segmento terrestre.

### *Convertidor de frecuencias.*

Los convertidores de frecuencia están presentes tanto en los enlaces ascendentes como en los descendentes. En la primera etapa están encargados de trasladar la frecuencia de la señal desde la frecuencia intermedia (70 o 140 MHz generalmente) a la frecuencia de RF del satélite. En la segunda etapa se realiza el proceso inverso, bajando la frecuencia de RF hasta la frecuencia intermedia.

En estaciones terrenas de gran tamaño, los convertidores de frecuencia son equipos o unidades por separado, diseñadas especialmente para mantener estable el cambio de frecuencia. En el caso de los sistemas DTH, el equipo requiere de un bajo costo de manufactura e integración con el equipo de RF.

Los principales objetivos de los convertidores de frecuencia son:

- Realizar la transformación de frecuencia entre la frecuencia intermedia y la frecuencia de RF.
- Permiten la selección o el cambio entre transpondedores reemplazando la referencia del oscilador o cristal, o mediante un sintetizador de frecuencias.

- Proveen una respuesta en frecuencia satisfactoria en términos de reflexión y retardo de grupo.

#### *Amplificador de alta potencia o HPA*

La potencia de transmisión o de subida necesaria para alcanzar el satélite fluctúa entre valores mucho más grandes que los de la potencia de recepción. Para lograr alcanzar dichos valores las estaciones terrenas hacen uso de los HPA.

Se distinguen tres principales tipos de amplificadores de alta potencia: Klystrons, TWT (*Travelling Wave Tube*) y amplificadores de estado sólido SSPA (*Solid State Power Amplifier*).

#### *Klystrons.*

Los amplificadores de este tipo son esencialmente de banda angosta, 40 MHz para un amplificador de 6GHz y 80 MHz para uno de 14 GHz. Su uso implica el uso de un amplificador por portadora transmitida, además de la necesidad de tener un sistema de ajuste mecánico remoto con el cuál se selecciona la frecuencia de operación central.

Las principales características de los amplificadores Klystron son:

- Alta eficiencia (aproximadamente 39%).
- Sistema de alimentación simple.
- Gran robustez y larga vida útil (entre 30 000 y 40 000 horas).
- Consumo de potencia reducido.
- Sistema de enfriado aire que en lugar de sistemas de enfriamiento a base de líquidos.

En sus inicios los KPA eran de gran tamaño y costo, por lo que su uso era limitado a estaciones terrenas grandes. Hoy en día, con las mejoras tecnológicas el amplificador y el sistema de energía se han reducido a la mitad de tamaño y costo.

En la actualidad los HPA más utilizados en la industria satelital son los TWT debido al limitante en rango de frecuencias que presentan los KPA,

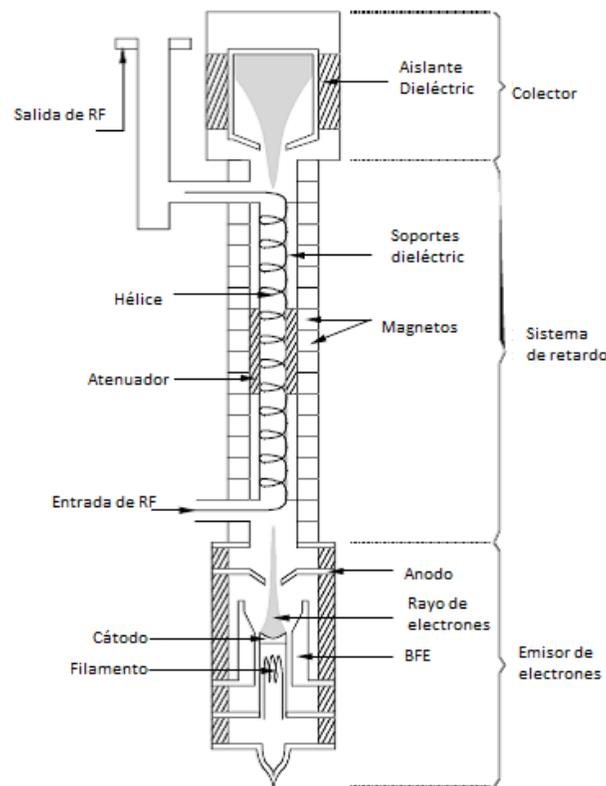
#### *TWT.*

El TWT es un amplificador de banda ancha, prácticamente cubre toda la banda satelital. Por ello, se ha impuesto como el amplificador ideal para las estaciones terrenas, esto a partir que los amplificadores permitieron múltiples portadoras independientes al número de repetidores y frecuencias de las mismas.

La banda ancha que posee el TWT permite flexibilidad en los siguientes aspectos:

- Cualquier cambio en la frecuencia de portadora es posible sin ningún mecanismo de ajuste o modificación del sistema, gracias al amplio ancho de banda que maneja el amplificador.
- Muchas portadoras con diferentes frecuencias pueden ser transmitidas simultáneamente con el mismo HPA.
- Por el punto anterior, la expansión de tráfico de una estación terrena es posible sin el aumento de TWT.

Amplificadores de potencia TWT para 14 GHz o incluso mayores frecuencias utilizan estructuras con concavidad acoplada y rayos lentos.



**Figura 4.3.** Tubo de onda progresiva o TWT.

Las estaciones terrenas de gran tamaño necesitan usar más de un amplificador de potencia ya sea Klystron o TWT conectados en cascada.

En el caso de que se utilicen KPA, la estación requerirá tantos amplificadores como transmisores, se prefiere el uso de KPA generalmente cuando se desean transmitir pocas portadoras, en especial portadoras FDMA.

Si se utilizan TWT en la estación terrena, serán necesarios varios amplificadores para alcanzar la potencia deseada. Además generalmente se utiliza un amplificador extra “en espera” proporcionando una redundancia 1+1. En el caso de transmisiones con múltiples portadoras, no es posible utilizar toda la potencia disponible, pues se presentan efectos grandes de intermodulación y distorsión de fase.

#### *Amplificadores de estado sólido.*

Estos amplificadores están enfocados principalmente a las estaciones pequeñas de baja capacidad o portátiles. Gracias a los avances tecnológicos en circuitos y el desarrollo de transistores de Arseniuro de Galio (GaAs), los amplificadores de estado sólido desarrollados en la actualidad alcanzan potencias de hasta 1 kW para banda C , hasta 200 W para banda Ku y 50W para banda Ka. Los amplificadores de estado sólido son implementados por medio de transistores FET y HEMT.

#### *Amplificadores de Bajo Ruido.*

Para lograr la recepción de las señales provenientes del satélite, las estaciones terrenas deben de valerse de receptores de alta sensibilidad, es aquí donde se emplean los LNA.

La principal característica de los amplificadores que les permite tener alta sensibilidad es el bajo ruido térmico, el cual dentro de un receptor es caracterizado por su figura de ruido.

La sensibilidad de una estación terrena está asociada a la relación G/T, en donde G corresponde a la ganancia de la antena y T al a temperatura de ruido equivalente del sistema receptor. Los LNA deben de ser ubicados cerca del diplexor del alimentador de la antena, para evitar pérdidas extras a causa de las guías de onda o conectores coaxiales empleados. Los amplificadores de bajo ruido son de banda ancha, uno solo puede amplificar todas las portadoras emergentes de un puerto del diplexor de la antena. Además al igual que los TWT, generalmente se coloca un amplificador de bajo ruido en “espera” para obtener una redundancia 1+1.

Los LNA actuales están basados en transistores de bajo costo. Un ejemplo de ellos son los transistores HEMT, un tipo de transistor FET basado en GaAs, el cual proporciona un gran ancho de banda, y presenta un buen desempeño en cuanto a la temperatura de ruido.

#### *Sistema de la antena*

Es importante diferenciar entre los dos tipos de sistemas de antenas que podemos tener en las en la etapa terrestre, por un lado se encuentran las de las estaciones terrenas de los centros de radiodifusión, en donde generalmente las antenas son comunes para la transmisión y la recepción y por otro las antenas de los sistemas DTH que son antenas de solo recepción.

Las antenas comunes de transmisión y recepción deben de tener la siguiente configuración:

- El tamaño de las antenas puede ir desde 0.45 a 33 metros.
- Alta ganancia tanto en transmisión como en recepción.
- Bajo nivel de interferencia en la transmisión y de sensibilidad en la recepción.

El sistema de la antena está compuesto por los siguientes subsistemas:

- El sistema mecánico compuesto del reflector principal, el pedestal y el motor de alineamiento.
- La fuente principal compuesta por la corneta transmisora, elementos reflectores y componentes no radiantes (polarizadores, diplexores, sensores etc.).

Las estaciones terrenas son generalmente clasificadas dependiendo del tamaño de sus antenas:

- Estaciones grandes: antenas de dimensiones mayores a 15 m.
- Estaciones medianas: antenas de aproximadamente 7m a 15m.
- Estaciones pequeñas: antenas de 3m a 7 m o menos.
- Micro estaciones: Donde se emplean las VSAT

En la actualidad las antenas mayores a nueve metros en banda Ku ya no son muy comunes. Las antenas más utilizadas son las antenas que cuenta con un reflector. Estas a su vez se pueden clasificar de acuerdo a su configuración en axisimétrica o de offset y de uno o dos reflectores.

A continuación se presentan dos tablas (figura 4.4 y figura 4.5), una de ellas para las principales antenas configuradas con simetría axial y la otra con las antenas configuradas como de offset.

Antenas axisimétricas

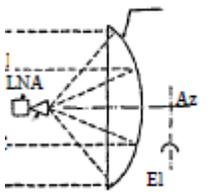
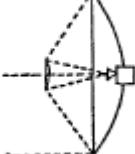
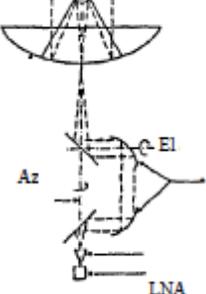
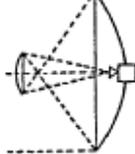
Tipo de antena	Antena parabólica	Antena Cassegrain	Antena Cassegrain alimentada con 4 rayos reflectores	Antena Gregoriana
Esquema				
Características	<p>Simple configuración. Baja eficiencia de apertura. Alta temperatura de ruido. El alimentador y LNA deben de ir junto a la corneta.</p>	<p>Sub reflector convexo. Alta eficiencia y baja temperatura de ruido. El alimentador y LNA pueden ir en el compartimento del equipo. Rango de frecuencias angosto comparado con la antena alimentada con 4 rayos reflectores. Patrón de radiación deseable.</p>	<p>Alta eficiencia y baja temperatura de ruido. El alimentador y LNA pueden instalarse en el compartimento del equipo. Patrón de radiación deseable.</p>	<p>Sub reflector cóncavo. Alta eficiencia y baja temperatura de ruido. El alimentador y LNA pueden instalarse en el compartimento del equipo. Rango de frecuencias angosto comparado con la antena alimentada con 4 rayos reflectores Patrón de radiación deseable.</p>
Aplicaciones	Estaciones terrenas pequeñas	Estaciones terrenas medianas	Estaciones terrenas grandes ( $D/\lambda = 500$ )	Estaciones terrenas medianas.

Figura 4.4. Antenas axisimétricas.

Antenas de offset

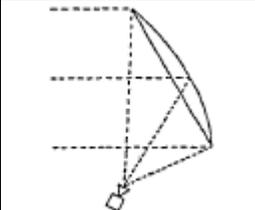
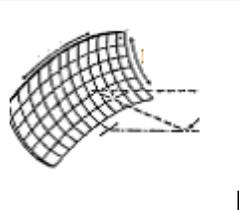
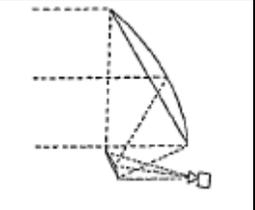
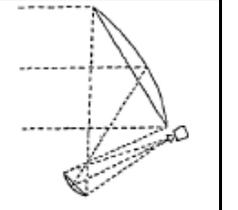
Tipo de antena	Antena parabólica	Antena toroidal	Antena Cassegrain	Antena Gregoriana
Esquema				
Características	Excelente patrón de radiación. Baja temperatura de ruido. Excelente VSWR.	Capaz de seguir a un satélite cuasi-estacionario sin mover el reflector principal. La dirección del haz puede cambiarse moviendo el radiador principal. Baja eficiencia de apertura. Patrón de radiación poco deseable. Posible capacidad de multi-haz con múltiples radiadores principales	Excelente patrón de radiación. Alta eficiencia y baja temperatura de ruido. Bajo VSWR. El alimentador y LNA pueden ir en el compartimento del equipo. Baja carga de viento.	Excelente patrón de radiación. Alta eficiencia y baja temperatura de ruido. Bajo VSWR. El alimentador y LNA pueden ir en el compartimento del equipo. Baja carga de viento.
Aplicaciones	Estaciones terrenas pequeñas, TVRO	Antena para recepción multi-satélite	Estaciones terrenas medianas y pequeñas.	Estaciones terrenas medianas y pequeñas.

Figura 4.5. Antenas de offset.

#### 4.2.2 Etapa de recepción de sistemas DTH.

Un sistema de recepción individual o DTH (figura 4.6) está formado principalmente por 3 elementos:

- La antena parabólica, encargada de la recepción de canales provenientes del satélite.
- El alimentador con el LNB (*Low Noise Block*), el cual selecciona los canales con la polarización adecuada, amplifica la señal y la convierte a las frecuencias intermedias. Recibe la energía del receptor o IRD. Se observa al LNB por separado en la figura 4.7.
- IRD (*Integrated Receiver and Decoder*), este componente es el encargado de sintonizar el canal deseado en la primera frecuencia intermedia, y de decodificar los programas asociados al paquete de suscripción.

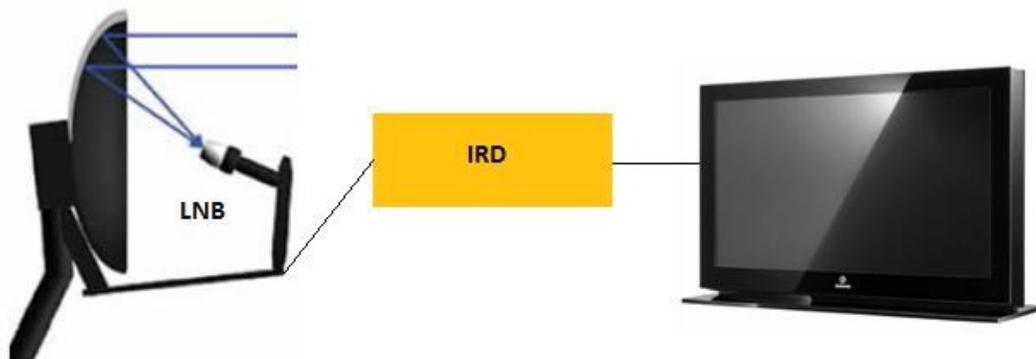


Figura 4.6. Etapa de recepción DTH.

Las antenas parabólicas están conformadas por dos elementos, el plato o superficie reflectora y el alimentador. Las ondas provenientes del satélite son reflejadas en el plato y recolectadas por el alimentador. Las antenas parabólicas con construidas de metal y de malla recubierta de material sintético.

El alimentador de la antena además de recolectar las ondas radioeléctricas es encargado de seleccionar la polarización mediante el control del IRD. Algunos alimentadores son capaces de soportar dos polarizaciones al mismo tiempo, a lo que se le conoce como ortomodo, esto se logra con dos salidas independientes o dos alimentadores.

Las principales antenas parabólicas utilizadas para los sistemas de recepción DTH son la antena simétrica y la de *offset*.

Las antenas simétricas son sencillas de diseñar y construir pero presentan desventajas en cuanto a la eficiencia alcanzada, la cual no supera el 60%, además de que la posición del alimentador hace que capte ruido proveniente de la superficie terrestre.

La principal ventaja de las antenas de *offset* es que el alimentador y LNB son colocados fuera de la línea de vista del lóbulo principal, permitiendo alcanzar eficiencias del 70% y 75%.

Los principales parámetros a considerar en la instalación y diseño de antenas parabólicas son:

- La ganancia máxima de la antena, en sistemas DTH se necesitan valores mayores a 20 dBi. Los valores de ganancia están fijos y estandarizados por los proveedores de servicios, basados en las características técnicas de los satélites empleados.
- El ángulo de abertura o ancho del lóbulo principal a la mitad de potencia o a -3dB.
- Aislamiento de polarización cruzada.
- Orientación de la antena. Definida por el ángulo de elevación y el acimut.

Las antenas de los sistemas DTH suelen ir montadas de dos maneras diferentes. La primera de ellas es un montaje fijo, la antena es ajustada con buena exactitud con los ángulos de elevación y acimut correspondientes, apuntando la antena a la posición orbital deseada. El otro tipo de montaje utilizado es el montaje polar, el cual permite movimiento de la antena para poder realizar un seguimiento de la órbita geoestacionaria que sigue el satélite.

Por otro lado el LNB se puede considerar como un pre-amplificador de la antena, cuyas principales funciones son:

- Amplificar las señales que se reciben con un amplificador de bajo ruido.
- Convertir las señales de microondas recibidas a una frecuencia baja o frecuencia intermedia, la cual es del orden de los 950-2150 MHz.

Los parámetros fundamentales para el diseño o la elección de un LNB son la temperatura de ruido la ganancia de conversión y el ruido de fase.



**Figura 4.7.** Bloque de bajo ruido o LNB

El IRD, receptor / decodificador integrado, esa compuesto por el receptor, el decodificador y la solución propietaria de software y hardware asociada al proveedor de servicios de TV.

El receptor, es encargado de sintonizar el canal deseado, con la señal en frecuencia intermedia proveniente del LNB. El sintonizador funciona bajo el concepto de un receptor superheterodino y permite obtener a la salida la portadora del canal deseado.

Después la señal es demodulada y descifrada basándose en procesos inversos a los hechos en la etapa de transmisión. Estos procesos dependen del estándar utilizado.

### **4.3. Hardware del segmento espacial.**

Se han descrito los elementos principales tanto de la etapa de transmisión como de recepción de un enlace satelital. Sin embargo, gran parte de las características de las antenas y equipos utilizados para comunicarse de un punto a otro dependen del repetidor en órbita.

En análisis previos, se observaron algunos de los parámetros necesarios para considerar a un enlace como factible. De igual forma, hay otros factores involucrados en un análisis que provienen de los elementos físicos de los transpondedores.

Para los satélites de comunicaciones tenemos 2 tipos de transpondedores: transparentes o regenerativos,

#### *4.3.1 Transpondedores transparentes*

Se aplican procesos de amplificación y filtrado de las señales recibidas sin modificar de manera lógica el contenido de estas. La potencia de portadora se amplifica y se convierte a una frecuencia menor. La ganancia en la etapa satelital varía entre 100 y 130dB, tomando en cuenta que el satélite recibe señales del orden de picowatts. La potencia es limitada tanto por la capacidad de los amplificadores, que son por lo general TWTs o SSPAs, como por la capacidad total de generación de energía del satélite. Debido a estas limitaciones, el ancho de banda disponible total de la carga útil es dividido en sub-bandas con un amplificador asociado a ellas.

La cadena de amplificación asociada a cada sub-banda es el transpondedor. El ancho de banda total del satélite se logra a través de grupos de filtros denominados multiplexores de entrada y de salida.

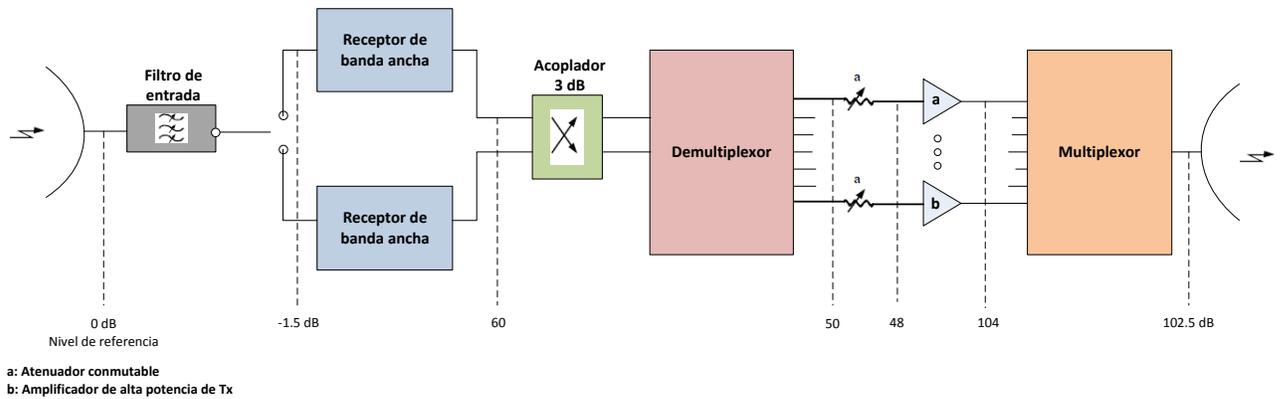


Figura 4.8. Diagrama a bloques de un transpondedor transparente o bent-pipe.

#### 4.3.2 Transpondedores regenerativos

En este tipo de configuraciones, las portadoras del enlace ascendente son demoduladas, procesadas a bordo y enrutadas hacia el enlace ascendente de manera inteligente. La frecuencia de bajada se logra mediante la re-modulación de las señales procesadas en banda base. Con esta disposición se hace más factible y eficiente el uso de haces puntuales que concentren la potencia en puntos de interés para los enlaces, pudiendo minimizar los efectos debidos a la lluvia [43]. El costo de implementación y complejidad de esta tecnología limita a muchos operadores en la utilización de estas técnicas.

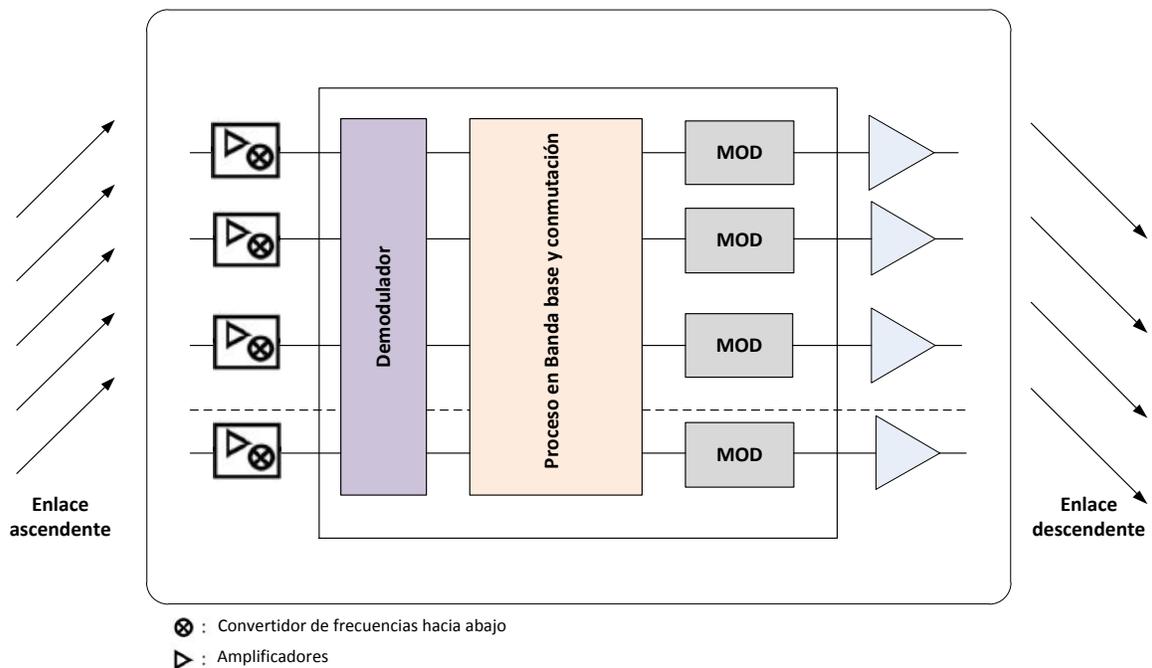
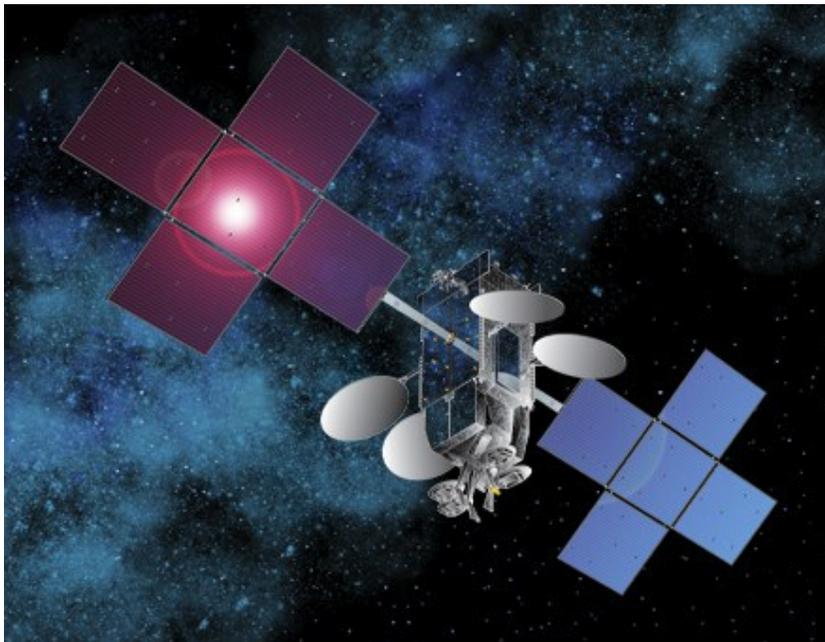


Figura 4.9. Diagrama a bloques transpondedor regenerativo.

#### 4.4. Satélites por tipo de servicio.

La siguiente clasificación de los satélites es en base al tipo de servicio al que serán dirigidos [48].

Los satélites de servicio fijo cuentan por lo general con la opción de trabajar en varias bandas de frecuencia, por lo tanto, la potencia disponible es distribuida en cada banda dependiendo de la demanda esperada. Los satélites de servicio fijo en banda C y Ku son lo más comunes, pero a su vez son los que resultan más caros de construir al incluir elementos diversos y requerir de mayor espacio y disponibilidad de potencia. El incluir bandas adicionales como Ka, X, S o L encarece y aumenta la complejidad del diseño. La figura 4.10 muestra un ejemplo de este tipo de satélite. En sistemas de televisión se puede utilizar para contribución y distribución de video. Así como enlaces bi-direccionales.

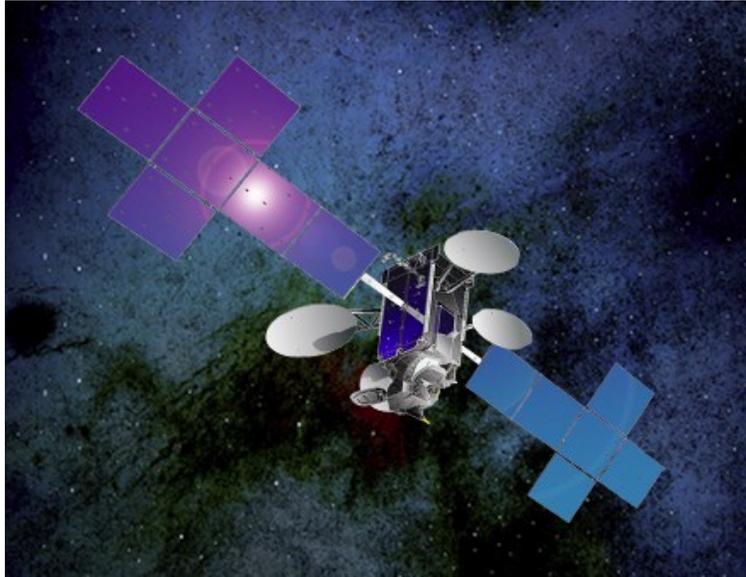


**Figura 4.10.** Satélite Júpiter de servicio fijo fabricado por SS/Loral.

Los satélites de Radiodifusión cuentan con diseños más simples, generalmente utilizan una sola banda de frecuencias (Ku), lo que los hace ligeramente menos complejos. Con esto, se busca optimizar al máximo el ancho de banda y potencia disponible por cada transpondedor. En la figura 4.11 se encuentra el satélite *Echostar XIV*, el cual es un ejemplo de satélite de radiodifusión utilizado para DTH.

Mientras más potencia sea capaz de producir un satélite de este tipo, mejores condiciones se tendrán a la recepción. Un adecuado balance de los parámetros de diseño, permitiría reducir el tamaño y el costo de las antenas para servicios DTH. Los satélites en banda Ka para ofrecer este tipo de servicios requerirían de una exagerada cantidad de potencia para lograr niveles de calidad y cobertura similares a un sistema DTH en banda Ku. Es por eso que tanto para servicios fijos, como de broadcast se utilizan haces concentrados en potencia que aseguran niveles de

disponibilidad aceptables combinados con equipo en Tierra de tamaño reducido, pero solamente en regiones geográficas limitadas.



**Figura 4.11.** Satélite Echostar XIV de Broadcast con 103 transpondedores de banda Ku.

#### *4.4.1 Consideraciones de diseño aplicables a satélites en las bandas de frecuencias superiores a 17GHz.*

Se sabe que la absorción atmosférica y la atenuación debida a la lluvia en las bandas de satélite a partir de 17.3 GHz son mucho mayores que en la banda de 12 GHz, ampliamente utilizada. Además, la atenuación de propagación puede reducir enormemente la disponibilidad del servicio y la fiabilidad del sistema. Es por esto que en el diseño de un satélite se tienen que tomar en cuenta la banda en la que va operar.

Existen 3 técnicas de reducción de la atenuación debida a la lluvia para el diseño de un satélite [34]:

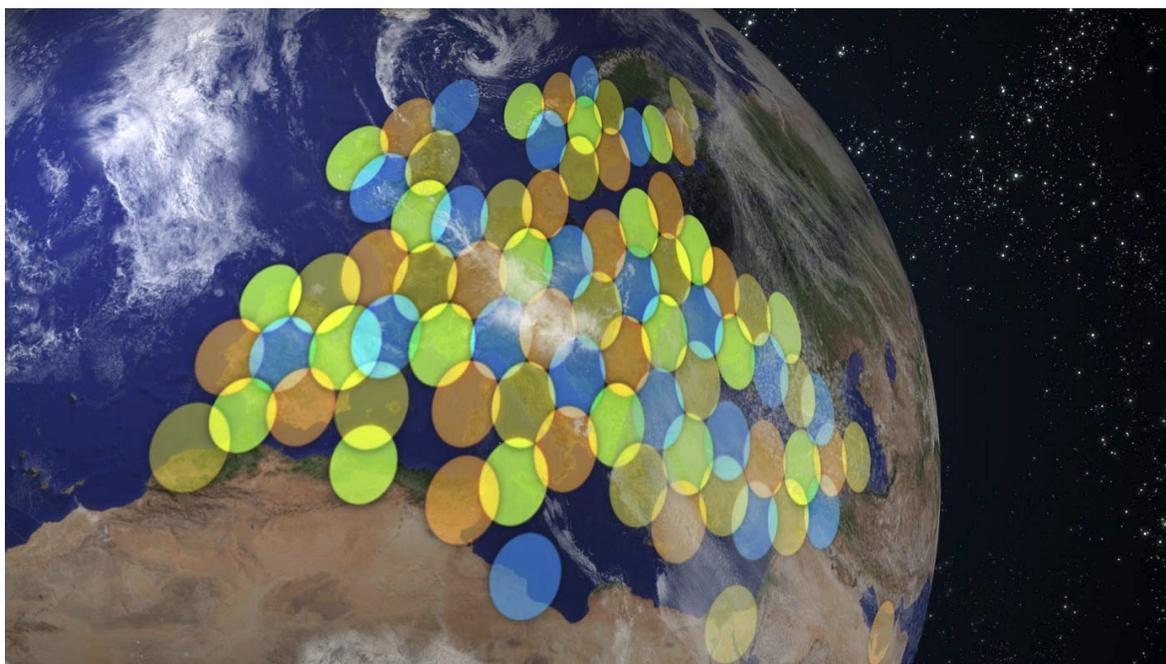
##### *Aumento de la PIRE*

El control adaptativo de potencia es un método eficaz y sencillo para mejorar la disponibilidad del servicio cuando hay atenuación debida a la lluvia, y a la vez reduce la interferencia causada a otros servicios cuando el cielo está despejado.

Normalmente los sistemas abarcan una zona de servicio amplia con un solo haz. Los sistemas de PIRE variable se clasifican según permitan o no variar localmente la PIRE dentro de la zona de servicio. La PIRE puede ser uniformemente o localmente variable. En el sistema local, la potencia de radiación total necesaria del satélite es menor que la de un sistema uniformemente variable

con la misma disponibilidad del servicio. Esto se logra a través de un sistema multi-haz (figura 4.12). Además se las emisiones no deseadas se pueden limitar en mayor grado.

El sistema uniforme de compensación de potencia puede llegar a aumentar las emisiones no deseadas, lo cual no es deseable. Por otro lado se tiene que contar con amplificadores de muy alta potencia a también altas frecuencias. Este diseño es el utilizado en satélites de frecuencias menores a 17GHz. Para el caso de satélites en banda Ka, se utiliza el sistema localmente variable.



**Figura 4.12.** Haces múltiples del satélite KA-SAT de Eutelsat cubriendo el continente europeo.

### *Transmisión Jerárquica*

Para formar una señal de transmisión jerárquica se multiplexan en el tiempo dos o más esquemas de modulación de requisitos de relación  $C/N$  diferentes. La información fundamental, por ejemplo la mínima calidad de la señal de vídeo y de audio, se transmite a una velocidad de datos baja utilizando un esquema robusto de modulación/codificación del canal con un requisito de relación  $C/N$  bajo. Por otro lado, la parte de la señal de alta velocidad de datos, se transmite con un esquema de modulación más eficaz y con un requisito de relación  $C/N$  mayor. El receptor elige el flujo de datos adecuado en función de la condición de relación  $C/N$  de recepción real. Por consiguiente, la transmisión jerárquica se puede utilizar para realizar una degradación gradual en el sistema digital de modo que la calidad de la imagen vaya disminuyendo paulatinamente según se reduce el valor de la relación  $C/N$  en recepción.

Esta consideración de diseño aplica hoy en día para el diseño de sistemas en Tierra principalmente. Aun no se han desarrollado sistemas espaciales que hagan este procesamiento.

*Sistema de radiodifusión con almacenamiento en el receptor.*

En términos estadísticos, la lluvia intensa capaz de producir interrupción de la señal se produce únicamente durante un breve instante en el día. Mediante el almacenamiento, es posible transmitir programas por anticipado y almacenarlos en el receptor para evitar interrupciones del servicio durante la presentación.

Suponiendo la recepción con almacenamiento, es inevitable un gran retardo de transmisión. Dicho retardo dependerá del esquema que se adopte y de la capacidad de superar interrupciones de la señal. Es posible que para los programas en tiempo real, no sea adecuado el almacenamiento en los sistemas.

En el caso de satélites, la opción de incorporar sistemas de almacenamiento en el espacio no ha sido incorporada. En el segmento terreno, existe incorporación de sistemas de almacenamiento a la recepción, pero estos no han considerado como opción que remplace a lo ya existente.