

Universidad de Oriente
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Telecomunicaciones



TRABAJO DE DIPLOMA

**Mejora a la red que transporta las señales de
radiodifusión en el municipio Santiago de
Cuba.**

Autor: Orlando Lalé Argüello.

**Tutores: MSc. Egberto Caballero Rosillo.
MSc. Arbelio Vera Castillo.**

Santiago de Cuba
Junio, 2015

Universidad de Oriente
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Telecomunicaciones



TRABAJO DE DIPLOMA

**Mejora a la red que transporta las señales de
radiodifusión en el municipio Santiago de
Cuba.**

Autor: Orlando Lalé Argüello.

Tutores: MSc. Egberto Caballero Rosillo.

Prof. Asistente, Departamento de Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería Eléctrica,
ecaballero@fie.uo.edu.cu

MSc. Arbelio Vera Castillo.

Especialista en planta interior, ETECSA, arbelio.vera@etecsa.cu

Santiago de Cuba

Junio, 2015



COMPROMISO DEL AUTOR

Hago constar que el presente trabajo de diploma es de mi autoría exclusivamente, no constituyendo copia de ningún trabajo realizado anteriormente y las fuentes usadas para la realización del trabajo se encuentran referidas en la bibliografía. Doy mi consentimiento a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización del Tutor o Institución.

Firma del Autor

PENSAMIENTO

“He visto más lejos, porque me he subido en hombros de gigantes”

I. Newton

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a los que conviven conmigo.

También a mis compañeros, amigos y quienes me ayudaron en momentos oportunos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

A mi familia, en especial a mis padres.

A mi hermano Lioldis, a Adis y mis sobrinos Wilfre y Elías.

A mis tutores Arbelio Vera y a Egberto Caballero por su apoyo y confianza para trabajar conmigo.

A mis amigos Eric, Albertico, Arnaldo, Héctor, Andrés, Bello, Aguilera y Julio quienes compartieron conmigo largas jornadas de estudio, sacrificio y diversión.

A los profesores que han protagonizado mi formación profesional.

Al profesor y amigo Héctor Daniel Rivas.

A los compañeros y amigos de Radio-Cuba Eddy y Nereida por su ayuda.

RESUMEN

En este trabajo se analiza la red que transporta las señales de radiodifusión en el municipio Santiago de Cuba, para ello se profundiza en los fundamentos teóricos básicos de los medios de transmisión para las diferentes vías de acceso. Se valoran todas las alternativas existentes para los enlaces desde los estudios de radio hasta los transmisores correspondientes en el municipio ya sea por fibra óptica, par de cobre u ondas de radio. Se caracterizan los equipos que procesan las señales que son transmitidas en las emisoras de radio. Partiendo de la experiencia en el año 2012 con el huracán Sandy se proponen distintas variantes que garantizan vías de respaldo alternativas ante este tipo de eventualidades.

Palabras clave: señales de radiodifusión, medios de transmisión, transmisores.

ABSTRACT

In this work the network transporting broadcast signals in the municipality of Santiago de Cuba, for it delves into the basic theoretical fundamentals of the means of transmission for different paths are analyzed. All alternatives for links are valued from the studios to the corresponding radio transmitters in the municipality either by fiber optics, copper pairs or radio waves. Computers that process the signals that are transmitted in the radio stations are characterized. Based on the experience in 2012 with Hurricane Sandy they variants alternative routes ensuring support to such eventualities are proposed.

Keywords: broadcasting signal, means of transmission, transmitters.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 . PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA RADIODIFUSIÓN	5
1.1 Introducción a la radiodifusión.	5
1.2 Particularidades de los cables de cobre.	6
1.2.1 Características físicas de los cables de cobre.....	6
1.2.2 Parámetros eléctricos de calidad del par de cobre.	7
1.3 Importancia de la presurización.	11
1.4 Principios básicos de la transmisión por ondas de radio.	11
1.4.1 Generación y propagación de las ondas.....	11
1.4.2 Transmisión a larga distancia.	12
1.5 Parámetros de calidad de los receptores de radio.....	14
1.6 Transmisión por medio de fibra óptica.	16
1.6.1 Ventajas de la tecnología SDH.	17
1.6.2 Trama STM-1	17
1.6.3 Equipos utilizados en la red SDH.	19
1.6.4 Sistemas multiplexores terminales.....	19
1.6.5 Sistemas multiplexores de inserción / extracción.	19
1.6.6 Sistemas regeneradores intermedios.....	19
1.7 Topologías comunes de red SDH.....	20
1.7.1 Red en cadena.	20
1.7.2 Red en estrella.....	20
1.7.3 Red en árbol.	21
1.7.4 Red en anillo.	21
1.7.5 Red en malla.	22
CAPITULO 2 . CARACTERIZACIÓN DE LA RED ACTUAL DE RADIODIFUSIÓN.	

2.1 Panorama de la radiodifusión.....	24
2.2 Equipos procesadores de las señales de radiodifusión.....	25
2.2.1 Equipos PCM.....	25
2.2.2 Multiplexor Kronos E1/ T1.....	26

2.2.3	Amplificador de programa	27
2.3	Nodos.	27
2.4	Acceso a los transmisores utilizando par de cobre.....	29
2.5	Acceso a los transmisores utilizando fibra óptica.	31
2.6	Radiodifusión por medio de ondas de radio.....	33
2.7	Deficiencias en el sistema de radiodifusión.	34
CAPITULO 3 . PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN.....		36
3.1	Acceso al transmisor de Santa María mediante par de cobre.....	36
3.2	Acceso al transmisor de la EIDE mediante fibra óptica.	40
3.3	Valoración económica.....	47
3.3.1	Presupuesto estimado para la ejecución del proyecto del transmisor de Santa María. 47	
3.3.2	Presupuesto estimado para la ejecución del proyecto del transmisor de la EIDE. 48	
3.3.3	Análisis de factibilidad	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		54
GLOSARIO DE TÉRMINOS		57

INTRODUCCIÓN

La radio es un medio de comunicación y de difusión masivo. Establece un contacto más personal, porque ofrece al radioescucha cierto grado de participación en el acontecimiento o noticia que se está transmitiendo. Es un medio selectivo y flexible. Como medio de comunicación la radio brinda la oportunidad de alcanzar un mercado con un presupuesto mucho más bajo del que se necesita en otros medios [1].

Las emisiones de radio al público en general han provocado una compresión del tiempo y del espacio, permitiendo que la información y la cultura alcance a una gran audiencia. Las nuevas tecnologías de difusión, como los satélites y los cables, hicieron que la transmisión de la información fuera más flexible, haciendo posible que viajase más deprisa y a mayores distancias. La velocidad de la comunicación, por lo tanto, se vuelve prácticamente instantánea [2].

Las emisiones de radio también se convirtieron en una fuente económica, por ejemplo, a través de la venta publicitaria, tasas e impuestos, y cobros por suscripción a transmisión por cable o satélite. Ocasionó que la diferencia entre el dominio público y el privado disminuyese. Por ejemplo, se puede recibir noticias en lugares privados como casas, oficina o una clase [3]. La más reciente y actualizada información puede ahora ser accesible por todo el mundo.

La sensación del mundo está cada vez más moldeada por los medios de comunicación, más que por las experiencias personales. Por ejemplo, hoy en día se obtiene información de otras ciudades, su cultura y del medio que les rodea. La creciente disponibilidad de medios de comunicación ha permitido que el conocimiento se haya expandido.

Las frecuencias portadoras asociadas a cada servicio de radiodifusión son asignadas por el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF). Los diversos servicios ofrecidos por el mismo son:

- Radiodifusión sonora en ondas medias (OM).
- Radiodifusión sonora en ondas cortas (OC).
- Radiodifusión sonora en frecuencia modulada (FM).

- Radiodifusión sonora digital (RD).
- Televisión analógica (TV).
- Televisión digital (TD) [4].

Los servicios de televisión y radio son distribuidos mediante emisiones en radiofrecuencia, aunque a menudo coexisten o son sustituidos por el cable. Se requiere que los usuarios tengan equipos capaces de recibir, procesar y si es necesario, descodificar las señales para poder aprovechar de los servicios ofrecidos, que a su vez pueden estar ligados a una remuneración por parte del usuario hacia el organismo que ofrezca tal servicio. Estos principio de la radio se han extendidos por todo el mundo, Cuba se encuentra entre los principales países con mayor acceso a la información por parte de la audiencia.

Actualmente la red de radiodifusión de Cuba está compuesta por más de 800 transmisores ubicados en 363 centros técnicos a lo largo y ancho del país. Incluye las cadenas de radio internacional, nacional, provinciales, las emisoras locales, así como los canales de televisión nacional, los telecentros provinciales y municipales, y la plataforma satelital [1].

Con la implementación de la fibra óptica nacional que llega a todas las capitales de provincia, la red para el transporte de las programaciones de radio y televisión experimento un cambio significativo, permitiendo que lleguen de forma digital las 5 programaciones nacionales de televisión y las 7 programaciones nacionales de radio a los 26 centros transmisores más importantes del país.

En los últimos cinco, años, la red radiodifusión de onda corta se ha ampliado y modernizado. El transporte de las programaciones que transmiten los centros nacionales de onda corta esta digitalizado. Se han instalado varios transmisores para mejorar la cobertura de Norte, Centro y Sur América, así como el área del Caribe, lo que elevó también su eficiencia y confiabilidad. Asimismo, se instalaron nuevos sistemas de antenas para esos transmisores.

Antecedentes del problema

El sistema de radiodifusión en la provincia de Santiago de Cuba cuenta con siete emisoras radiales de carácter municipal, dos de carácter provincial, CMKC-Radio Revolución, CMKW-Radio Mambí y Radio Siboney además de procesar siete de carácter nacional como son Radio Progreso, Radio Rebelde, Radio Reloj, Radio Enciclopedia,

Radio Música Nacional, Radio Habana Cuba y Radio Taíno. Esta red de radiodifusión además de la vía principal no cuenta con otras vías de reservas para hacer llegar la señal ininterrumpidamente a los receptores de cada radioescucha.

Al paso del huracán Sandy por el territorio el sistema de distribución de radiodifusión se vio seriamente afectado ya que su principal y en ocasiones única vía colapso en varios puntos del área geográfica santiaguera, demostrando indisposición ante estos tipos de eventos meteorológicos, varias emisiones de carácter municipal y provincial no lograron alcanzar sus destinos en los diferentes centros de transmisión, pues las vías alternativas no estaban disponibles para respaldar este servicio.

Luego de esto, el sistema se rehabilitó tomando protagonismo la digitalización de los centros y el mayor uso de la fibra óptica como medio de transmisión, por tanto las restantes posibles vías de acceso hasta los centros de transmisión continuaron siendo desprovistas de mantenimientos y pruebas periódicas, convirtiéndose en opciones prácticamente obsoletas, por ende, perdió redundancia el sistema, y se afectaron los principales parámetros de la señal ocasionando insatisfacciones en los fieles seguidores de la radio.

Problema a resolver

Ante desastres naturales se interrumpen las vías de acceso a los diferentes centros transmisores de las señales de radiodifusión.

Objeto de estudio

Red que transporta las señales de radiodifusión en el municipio Santiago de Cuba.

Objetivo general

Dotar de redundancia al sistema de radiodifusión del municipio Santiago de Cuba al diseñar vías de respaldos alternativas.

Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar las actuales vías de comunicación alternativas del sistema de radiodifusión en el municipio Santiago de Cuba.
- ✓ Analizar de las posibles tecnologías y equipamiento para el diseño de vías alternativas

- ✓ Diseñar diferentes vías de comunicación alternativas que garanticen el transporte de las señales de radiodifusión del municipio Santiago de Cuba.

CAPITULO 1 . PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA RADIODIFUSIÓN

En el presente capítulo se exponen los fundamentos teóricos básicos para comprender y analizar las diferentes vías de acceso en la red de radiodifusión al transportar las señales originadas en los diferentes estudios de radio hasta sus correspondientes transmisores. Se explican las características y las particularidades de los pares de cobre, las ondas de radio y la fibra óptica al ser utilizados como medio de transmisión.

1.1 Introducción a la radiodifusión.

La radiodifusión es transmisión a distancia, por medio de ondas electromagnéticas, de voz y sonido en forma de programas, información o música. Es el conjunto de procedimientos e instalaciones destinados a esta emisión. Las transmisiones pueden realizarse en modulación de frecuencia o de amplitud. Si la longitud de onda es de un valor de 1 a 2 km se denomina onda larga, en la actualidad tiene muy pocas aplicaciones. Se nombran como onda media a las ondas cuya magnitud de longitud de onda está entre los 190 m y 600 m. Finalmente, las ondas usadas en emisiones internacionales son las ondas cortas y su longitud de onda oscila entre los 11 m y los 90 m [5].

El sistema de radiodifusión cuenta con tres partes fundamentales: los estudios de radio, el medio de transmisión para las señales y los centros transmisores. En los estudios de radio se editan las programaciones las cuales han sido pregrabadas, e incluso se pueden transmitir programaciones en vivo. El medio de transmisión es aquel que transporta las programaciones en forma de señales eléctricas, de radio u ópticas hasta los transmisores de radio. Los centros transmisores son aquellos que distribuyen las diferentes señales correspondientes en el espectro de frecuencias y radian en un área determinada.

Un parámetro fundamental en esta red de radiodifusión es la redundancia ya que se presenta como una solución a los problemas de protección y confiabilidad al asegurar el flujo de datos a pesar de posibles fallos de carácter crítico que puedan surgir por el uso continuado de la red o algún otro evento de carácter imprevisto [6].

1.2 Particularidades de los cables de cobre.

Los cables de cobre son, sin lugar a duda, el medio más utilizado en transmisiones tanto analógicas como digitales; siguen siendo la base de las redes telefónicas urbanas. El material del que están formados produce atenuación en las señales, de manera tal que a distancias de entre 2 y 6 km, dependiendo de la aplicación, deben ser colocados repetidores. Los cables de cobre se clasifican atendiendo a cuatro características fundamentales. Según su cubierta pueden ser cables de plomo o cables de polietileno. Según la forma en que se tienden pueden ser cables aéreos, soterrados, enterrados o submarinos.

Si se agrupan en función del aislamiento de los conductores se definen dos clases, los cables aislados por papel y los aislados por polietileno. En función de sus aplicaciones se categorizan en: cables alimentadores, cables troncales, cables de enlace de larga distancia, cables de distribución local y cables interiores.

1.2.1 Características físicas de los cables de cobre.

Los cables son fabricados con sus conductores y cubierta protegidos con algún material aislante. El material aislante puede ser cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HD PE), media densidad (MD PE) y baja densidad (LD PE) con propileno o isopropileno sobre los conductores [7].

Los calibres de los conductores de los cables son medidos utilizando distintos sistemas: Sistema Métrico Decimal (SMD) (mm), Sistema Inglés (BS) (libras por milla) y Sistema Americano (AWG) (Número que indica el diámetro en milésimas de pulgada del conductor). Al número indicado se le denomina calibre del conductor.

A continuación se muestra la Tabla 1.1 con la conversión de calibres en los tres sistemas indicados.

Tabla 1.1. Tabla de Conversión de Calibres. (Fuente: [8])

Diámetro mm	Libras por milla	AWG	Diámetro mm	Libras por milla	AWG
0.254	2.9	30	1.024	25	18
0.330	3.2	28	1.290	40	16
0.409	4	26	1.630	67	14
0.511	6.5	24	2.050	100	12
0.643	10	22	2.600	160	10
0.812	14	20	3.260	260	8
0.912	20	19	4.115	340	6*

* Calibre utilizado para las conexiones a tierra en planta exterior.

La Figura 1.1 ejemplifica el calibre basado en el sistema AWG. Mientras mayor sea el número menor será el diámetro del conductor y por tanto mayor la resistencia eléctrica.

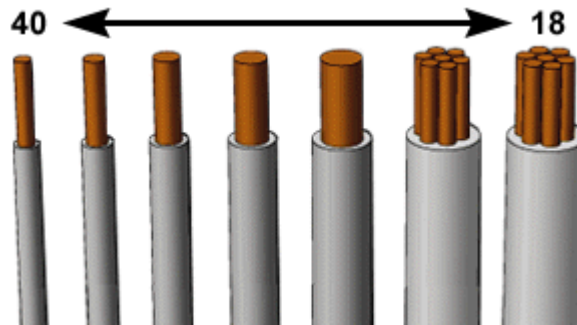


Figura 1.1. Ejemplo de diferentes calibres en el sistema AWG. (Fuente: [8])

1.2.2 Parámetros eléctricos de calidad del par de cobre.

Para valorar la calidad de los pares de cobre y establecer sus aplicaciones es necesario determinar ciertos parámetros. Uno de ellos es la atenuación, la cual representa la pérdida de potencia sufrida por una señal al transitar por un medio de transmisión, en este caso el par de cobre. En la Tabla 1.2 se muestran los valores de atenuación en función de la frecuencia y el calibre del alambre.

Tabla 1.2. Valores de atenuación en función de la frecuencia y el calibre del alambre. (Fuente: [9]).

Calibre del Conductor (mm)	Calibre del Conductor AWG	a 150 KHz, 135 Ω		a 772 KHz, 135 Ω	
		Nominal dB / KM	Máximo dB / Km	Nominal dB / KM	Máximo dB / Km
0.4	26	11.4	12.00	22.5	23.6
0.5	24	8.3	8.73	18.5	19.45
0.65	22	6.2	6.51	14.6	15.36
0.9	19	4.4	4.62	10.4	10.92

Para la medición de atenuación se emplea un equipo generador emitiendo un tono en la frecuencia deseada y a una potencia dada, generalmente 0 dBm y en el otro extremo se mide la atenuación. El resultado de la medición del par se obtiene restando la potencia de transmisión menos la potencia recibida. Si la potencia transmitida es 0 dBm, entonces la atenuación del par se lee directamente en el segundo equipo.

El esquema de conexión para esta prueba se muestra en la Figura 1.2.

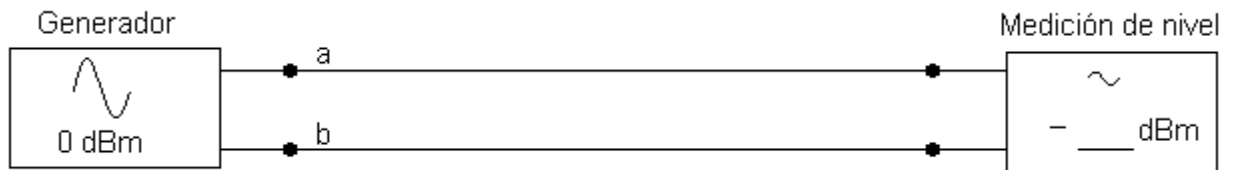


Figura 1.2. Esquema de conexión para la medición de atenuación.

Otro parámetro de calidad del par de cobre es la diafonía. La diafonía es el grado de acoplamiento electromagnético que existe entre cada par y los pares que lo circundan, existen dos tipos:

- ✓ Paradiafonía: también conocida como diafonía cercana. Es la diafonía que se manifiesta en los pares cercanos al par interferente en el propio extremo de transmisión, y su causa fundamental es el desacoplamiento de impedancias entre el generador y el par.
- ✓ Telediafonía: también conocida como diafonía lejana. Es la diafonía que se presenta en los pares cercanos al par interferente en el extremo de recepción. Es producida por bajos aislamientos, desbalances resistivos, diferencias de calibre o desacoplamientos de impedancias [6].

La diafonía es un parámetro que depende de la frecuencia por lo que se debe medir a varias frecuencias (1KHz, 150 KHz, 772 KHz).

Para la medición de paradiafonía se utilizan dos equipos y dos cargas resistivas (600 o 150 Ω) en dependencia de la frecuencia. Se escogen dos pares buenos y adyacentes. En el primer par se conecta el oscilador en un extremo y en el otro extremo la carga resistiva. Un equipo se utiliza como oscilador a la frecuencia deseada, el otro equipo se utiliza midiendo atenuación. Ambos equipos se ubican en el mismo extremo del par. El esquema de conexión para la medición de paradiafonía se muestra en la Figura 1.3.

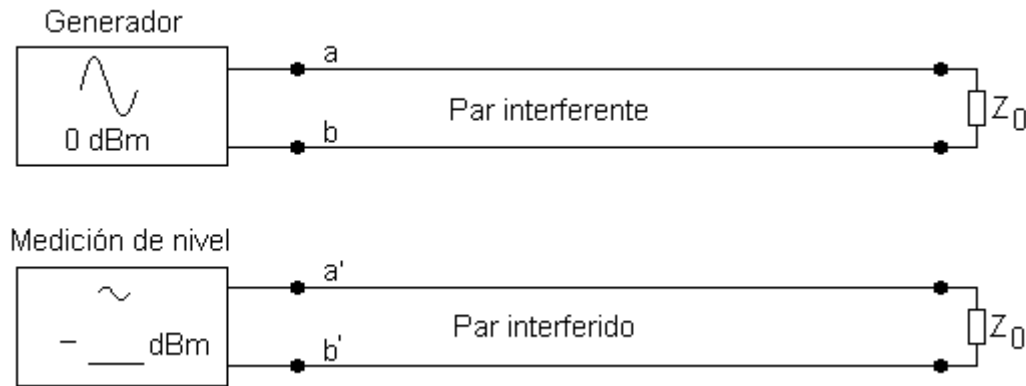


Figura 1.3. Esquema de conexión para la medición de paradiafonía.

Para la medición de telediafonía se utilizan dos equipos y dos cargas resistivas (600 o 150 Ω) en dependencia de la frecuencia. Se escogen dos pares buenos y adyacentes. Se utiliza un equipo conectado al primer par como oscilador a la frecuencia de prueba. En el extremo distante de este par se conecta una carga resistiva. El segundo equipo se utiliza como receptor en el extremo lejano del segundo par en la opción de medición de atenuación, en el extremo cercano se conecta una carga resistiva. El esquema de conexión para la medición de telediafonía se muestra en la Figura 1.4.

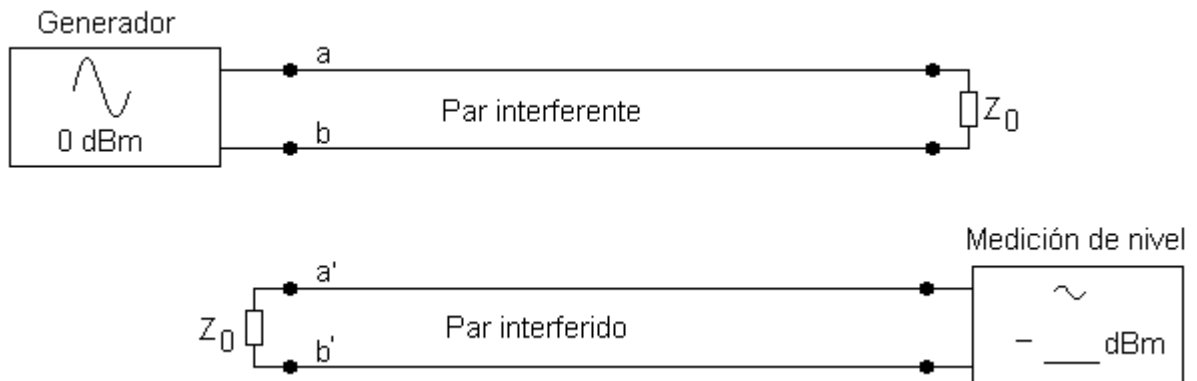


Figura 1.4 Esquema de conexión para la medición de telediafonía.

El resultado de la medición de paradiafonía y de telediafonía debe ser inferior a -58 dB para que el par esté en el rango admisible según la Norma Ramal NC de Líneas Aéreas Eléctricas y de Comunicaciones.

Otro parámetro a considerar es el ruido, siendo este el resultado de diversos tipos de perturbaciones que tienden a enmascarar la información cuando se presenta en la banda de frecuencias del espectro de la señal, es decir, dentro de su ancho de banda. El ruido se origina predominantemente en el interior del propio enlace de comunicaciones y usualmente es de naturaleza totalmente aleatoria, lo que hace que sea muy difícil de tratar [10].

Existen principalmente dos tipos de ruido en el par de cobre:

- ✓ ruido metálico.
- ✓ ruido de derivación a tierra.

La medición del ruido metálico se realiza entre las 2 bandas del par, es un valor contable y audible cuando su valor está en el orden de los 20 dB. Para el servicio básico este valor debe ser menor a -56 dB y en la transmisión de datos se exige -85 dB [11]. Las causas más frecuentes de ruido metálico son el *split*, la falta de tierra y falta de acoplamiento de impedancia.

El ruido de derivación a tierra o influencia se produce entre cada banda de un par y la tierra, es provocado por el desbalance capacitivo. Los valores en norma deben ser inferiores a - 58 dB [11].

El balance longitudinal es otro parámetro de calidad del par de cobre, se relaciona con la simetría eléctrica respecto a tierra de las dos bandas de un par telefónico. Este parámetro afecta fundamentalmente las altas frecuencias en el canal telefónico, las cuales están reservadas principalmente para la transmisión de datos. Este parámetro se relaciona con los *split* o *resplit* que tenga el par a través del cable.

Su valor debe ser superior a 60 dB para que el par se considere en buen estado [11]. Cuando el par está abierto en una de las bandas este parámetro disminuye considerablemente hasta valores en el orden de los 10 ó 12 dB [12].

Un último parámetro del par de cobre es la pérdida de retorno que depende de la pérdida de potencia de la señal provocadas por reflexiones en el par telefónico. Estas reflexiones se deben a discontinuidades presentes en el par.

1.3 Importancia de la presurización.

El método principal para la protección de la red de cables soterrados es el de la presurización. Este consiste en inyectar aire seco a las corazas de cable a una presión superior a la atmosférica; este procedimiento presenta varias ventajas:

- ✓ Mantiene el cable libre de humedad interior, y por tanto hace que el mismo mantenga su aislamiento por encima de 10 000 MΩ/km.
- ✓ Evita el ingreso del agua en caso de una pequeña abertura en la coraza, lo cual provocaría diafonía y por tanto interrupciones en el servicio.
- ✓ Se puedan detectar las pequeñas aberturas de los cables facilitando la detección de averías.

Esta técnica es muy extendida en el mundo. Se ha comprobado prácticamente las aplicaciones de los sistemas de presurización a través de la reducción de las interrupciones y los trabajos en las redes soterradas y cables alimentadores [13].

1.4 Principios básicos de la transmisión por ondas de radio.

La onda de radio es un medio de transmisión no guiado, el cual adquiere grandes aplicaciones porque no requiere de un medio físico para su propagación. No obstante las ondas electromagnéticas se atenúan con la distancia, pero esta atenuación es posible minimizarla empleando una potencia elevada en la generación de la onda [14].

1.4.1 Generación y propagación de las ondas.

Las ondas de radio son generadas aplicando una corriente alterna de radiofrecuencia a una antena. La antena es un conductor eléctrico de características especiales que debido a la acción de la señal aplicada genera campos magnéticos y eléctricos variables a su alrededor, produciendo la señal de radio en forma de ondas electromagnéticas.

Estas ondas se propagan de tres formas diferentes.

- ✓ Onda de tierra: en principio las ondas de radio se desplazan en línea recta, atravesando la mayoría de los objetos que estén en su camino con mayor o menor atenuación. Las pérdidas por dicha atenuación dependen de la frecuencia de la transmisión y de las características eléctricas de la tierra o el material atravesado. En términos generales a menor frecuencia mayor es el alcance de la onda y cuanto menor sea la densidad del material más fácil será atravesarlo. Parte de esta onda es reflejada por la superficie terrestre.

- ✓ Onda visual o directa: es refractada en la parte baja de la atmósfera (refracción troposférica) debido a los cambios en la conductividad relativa en sus capas.
- ✓ Onda espacial: la atenuación en el aire es muy pequeña, lo que hace que la onda pueda alcanzar las capas altas de la atmósfera (ionosfera) y ser reflejada en su mayor parte de vuelta a tierra.

El mayor inconveniente que se tiene es que la transmisión de estos tres frentes no se hace a la misma velocidad, ya que las ondas reflejadas se retrasan con respecto a la onda directa, produciéndose un desfase que genera ruido (e incluso llegando a anular la onda si el desfase es de 180 grados). Para reducir este efecto hay que elevar la antena, ya que aumentando la altura se disminuye el ángulo de desfase.

1.4.2 Transmisión a larga distancia.

Por el efecto de refracción en la ionosfera y en la capa terrestre es posible transmitir a largas distancias. Para ello se debe emplear ondas de gran energía y de baja frecuencia. Este sistema, que actualmente aún se emplea, se basa en dos ondas. Una onda portadora encargada de fijar la frecuencia de transmisión, la cual transportará la información que se desee al alterar uno de sus parámetros. La otra onda es la moduladora, esta es la señal que queremos transmitir (voz, video, datos).

En las comunicaciones es necesario adecuar los mensajes al medio de transmisión. El proceso de modulación se basa alterar de una forma determinada la onda portadora en función de la onda moduladora, obteniéndose como resultado final la onda modulada que será radiada. Los dos parámetros más importantes de una onda son la amplitud y la frecuencia. En función del parámetro empleado se tendrán dos posibles tipos de modulación; la modulación en amplitud (AM) y la modulación en frecuencia (FM). Existen más tipos de modulaciones, pero solamente tienen interés para transmisión radioeléctrica estas dos.

La modulación en amplitud fue el primer método de transmisión por radio. Se basa en variar la amplitud de la onda portadora en función de la amplitud de la onda moduladora, obteniendo como resultado una onda modulada que contiene a la moduladora. La Figura 1.5 muestra gráficamente una señal modulada en amplitud. Un parámetro importante es el porcentaje de modulación, que indica la amplitud mínima o nivel cero de la onda modulada. Una modulación al 100% indica que la amplitud mínima será cero [15].

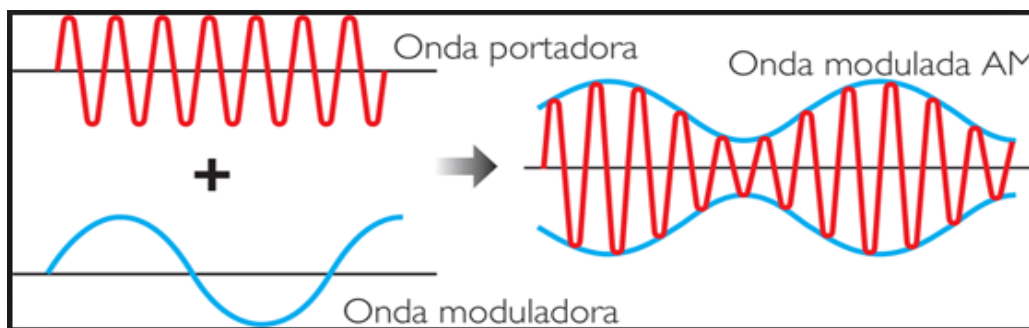


Figura 1.5. Onda portadora y onda modulada en amplitud. (Fuente: [15]).

La onda modulada final se puede descomponer en tres señales: una de frecuencia igual a la portadora y las otras dos de frecuencias igual al resultado de sumar y restar la frecuencia de la moduladora a la de la portadora. Si se tiene una portadora de 500 KHz y la onda moduladora posee una frecuencia máxima de 20 KHz se obtendrán tres ondas: una de 500 KHz y dos bandas laterales de 480 KHz y 520 KHz. Esto es importante para saber el ancho de banda que ocupa la transmisión en este caso 40 KHz.

La modulación en frecuencia (FM) es la técnica de transmisión por radio más usada actualmente en Cuba porque es capaz de transmitir más información del sonido que se desea transmitir, ya que en AM si se transmiten armónicos que están a frecuencias muy altas se consume un gran ancho de banda. La modulación en frecuencia se basa en variar la frecuencia de la portadora con arreglo a la amplitud de la moduladora. La Figura 1.6 muestra una señal que sido modulada en frecuencia.

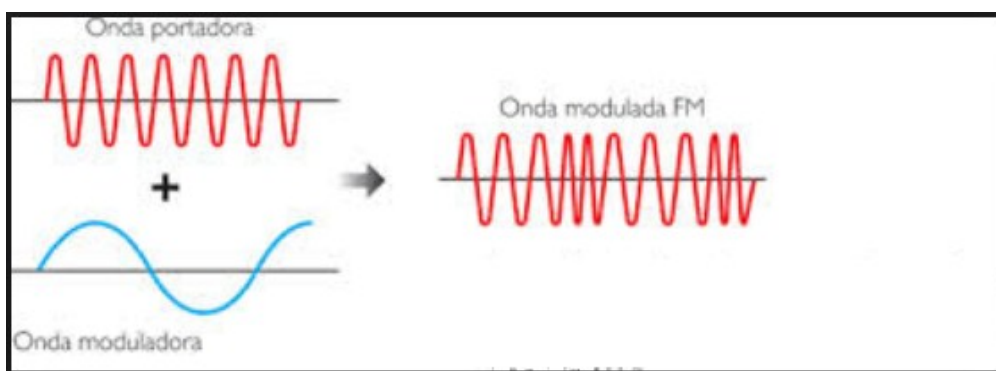


Figura 1.6. Onda portadora y onda modulada en frecuencia.

La UIT-R Sector de Normalización de las Radiocomunicaciones ha dividido todo el espectro de frecuencia en las denominadas bandas de frecuencia, establecido los

servicios correspondientes a cada banda de frecuencia. Esto se hace así para poder delimitar el acceso de los usuarios y a los proveedores. La Tabla 1.3 muestra las bandas de frecuencias y sus denominaciones.

Tabla 1.3. Bandas de frecuencias.

Denominación	Siglas	Margen de frecuencias
Frecuencias muy bajas	VLf	3 - 30 KHz
Frecuencias bajas	LF	30 - 300 KHz
Frecuencias medias	MF	300 - 3000 KHz
Frecuencias altas	HF	3 - 30 MHz
Frecuencias muy altas	VHF	30 - 300 MHz
Frecuencias ultra altas	UHF	300 - 3000 MHz
Frecuencias super altas	SHF	3 - 30 GHz
Frecuencias extra altas	EHF	30 - 300 GHz

Un rango de la banda de frecuencias medias se reserva para las emisoras que transmiten en AM, mientras que las de FM transmiten sobre los 80 MHz. En el caso de Cuba la banda de AM está en el rango de 540-1600 KHz en las que existen 106 bandas de 10 KHz de ancho de banda. FM ocupa las frecuencias de 88,1-108,1 MHz para 100 bandas posibles de 200 KHz.

1.5 Parámetros de calidad de los receptores de radio.

En cierta medida la calidad de las emisiones de radio dependen de las características técnicas de los receptores, esto es independiente de la antena y su orientación, la modulación usada y la polarización de las ondas. Uno de estos parámetros es la **sensibilidad**, valorada como el nivel de entrada requerido para producir una cierta potencia de audio útil. Mide la capacidad del receptor de recibir señales débiles y está determinada por la ganancia total del receptor. Para los receptores en la banda comercial de emisión en AM, se considera como útil una relación de señal a ruido de 10 dB o más, con 0,5 W (27 dBm) de potencia a la salida de la sección de audio [16].

La capacidad del receptor para separar estaciones adyacentes es otro parámetro denominado **selectividad**. Esta mide la selectividad del receptor para aceptar una determinada banda de frecuencias y rechazar las demás. En AM para que un receptor seleccione solo aquellas frecuencias asignadas a un solo canal, debe limitar su ancho de

banda a 10 KHz. Si la banda de paso de un receptor es menor que 10 KHz, se rechaza o bloquea una parte de la información de la señal moduladora para ese canal y, en consecuencia, se pierde.

Hay varias formas aceptables de describir la selectividad de un receptor de radio. Una de ellas es simplemente especificar el ancho de banda del receptor en los puntos de 3 dB. Sin embargo, este ancho de banda no es necesariamente una buena forma de determinar lo bien que el receptor rechaza las frecuencias no deseadas. En consecuencia, se acostumbra especificar el ancho de banda en dos niveles de atenuación, por ejemplo, -3 dB y -60 dB.

La **relación señal a ruido** es otro parámetro de calidad de los receptores. Es la relación entre la potencia de señal deseada a la salida y la potencia del ruido a la salida. Mide la pureza de la señal de salida del receptor. Para obtener una alta relación señal a ruido deben darse dos condiciones: la ganancia del receptor debe ser suficiente para producir la potencia de señal de salida adecuada y el ruido introducido por el propio receptor debe ser mínimo [17].

La capacidad de reproducir la señal de información de forma precisa, es otro parámetro de calidad llamado **fidelidad**. Depende principalmente de dos factores: el ancho de banda del receptor y la linealidad del detector y los amplificadores. Hay tres formas de distorsión que pueden deteriorar la fidelidad de un sistema de comunicaciones: amplitud, frecuencia y fase.

La distorsión de fase no tiene mucha importancia en la transmisión de voz, porque el oído humano es relativamente insensible hacia las variaciones de fase pero en la transmisión de datos puede ser devastadora. La distorsión de amplitud se presenta cuando las características de amplitud en función de frecuencia de una señal a la salida del receptor difieren de las de la señal original de información, es el resultado de ganancia no uniforme en amplificadores y filtros [18].

La distorsión de frecuencia se presenta cuando frecuencias en una señal recibida que no había en la fuente original de información. La distorsión de frecuencia se debe a distorsión por armónicas y por intermodulación, causada por amplificación no lineal.

El **margen dinámico** de un receptor es otro parámetro que se define como el intervalo de potencias de entrada dentro del cual el receptor es útil. Un bajo margen dinámico puede provocar sensibilización de los amplificadores de RF, y causar gran distorsión por intermodulación en las señales de baja potencia a la entrada.

El **ruido térmico** es la forma más prevaleciente de ruido, y es directamente proporcional al ancho de banda. En consecuencia, si se puede reducir el ancho banda, el ruido también se reducirá en la misma proporción y aumentara la relación de potencias de señal a ruido, y mejorara la eficiencia del sistema.

1.6 Transmisión por medio de fibra óptica.

La fibra óptica es un medio de transmisión guiado que tiene gran uso debido a su alta velocidad de transmisión de datos, aunque también es muy fiable y seguro. Estas características conducen al empleo de este medio fundamentalmente en las redes SDH *Synchronous Digital Hierarchy* (Jerarquía Digital Síncrona), las cuales multiplexan las señales digitales.

Algunas de las características fundamentales de SDH son:

- ✓ velocidad básica 155 Mbps.
- ✓ a partir de la velocidad básica se obtienen velocidades superiores multiplexando byte por byte varias señales. Las velocidades multiplexadas son múltiplos enteros de la velocidad básica.
- ✓ a través del puntero, se puede acceder a cualquier flujo de 2 Mbps.
- ✓ posee gran cantidad de canales de *overhead* que son utilizados para supervisión, gestión y control de la red [19].

La Recomendación G. 707 del CCITT define las velocidades binarias de la SDH. En la Tabla 1.4 se muestran los niveles jerárquicos del estándar SDH.

STM-N (trama SDH)	Velocidad (Kbps)
Transmisión por radio y satélite	51 840
STM-1	155 520
STM-4	622 080
STM-16	2 488 320
STM-64	9 953 280
STM-256	39 813 120

Tabla 1.4. Niveles jerárquicos de SDH. (Tomado de: Recomendación G.707 del CCITT).

1.6.1 Ventajas de la tecnología SDH.

Una de las principales ventajas de la tecnología SDH es la alta velocidad de transmisión que posee logrando hasta 10 Gbps, es la tecnología más adecuada para los *backbones*. En estos sistemas es más fácil extraer o insertar canales de menor velocidad en las señales compuestas SDH de alta velocidad ya que todos los canales están perfectamente identificados por etiquetas que hacen posible conocer exactamente la posición de los canales individuales.

Las modernas redes SDH incluyen varios mecanismos automáticos de protección y recuperación ante posibles fallos del sistema. Un problema en un enlace o en un elemento de la red no provoca el colapso de toda la red, lo que podría ser un desastre financiero para el proveedor [20].

1.6.2 Trama STM-1.

La jerarquía STM-1 es la menor velocidad prevista para la transmisión a través de un enlace de SDH, es decir es la jerarquía básica. La trama síncrona de 155 Mbps STM-1 se crea al añadir informaciones de control, llamadas Cabeceras de Sección SOH (*section overhead*) al conjunto de las AU (*Administrative Unit*). La Figura 1.7 muestra la estructura de una trama STM-1.

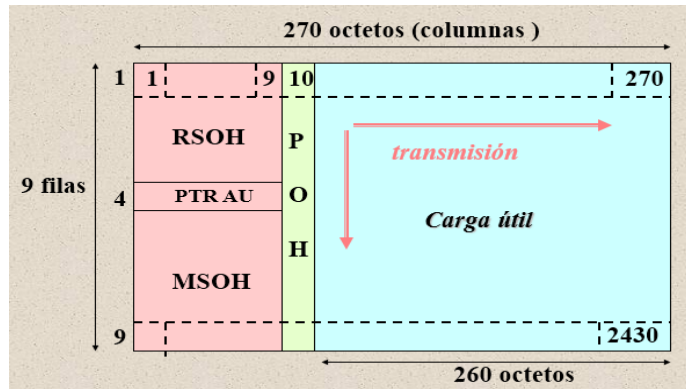


Figura 1.7. Estructura de una trama STM-1.

La STM-1 tiene una estructura de trama que se conforma de 2 430 bytes en serie, que por lo general se ilustra en forma de matriz para hacer más cómoda su representación, quedando entonces una estructura bidimensional de 9 reglones, con 270 bytes por reglón. La matriz debe ser recorrida de izquierda a derecha, y en sentido descendente, para así ir siguiendo la secuencia en serie. La Tabla 1.5 muestra los parámetros de la trama STM-1.

Tabla 1.5. Parámetros de la trama STM-1. (Fuente: [21]).

Estructura	9 filas de 270 columnas (bytes)
Anchura de trama	2430 bytes = 19940 bits
Tiempo de trama	125 μ s
Velocidad de transmisión	155.520 Mbps
Ordenación de la transmisión en bytes.	Fila por fila desde la izquierda hasta la derecha.
Ordenación de la transmisión en bits.	Se envía primero el bit más significativo de cada byte, y el menos significativo es el último.
Cabecera de la sección (SOH)	Fila 1 a 3 y 5 a 9 de las columnas 1 a 9.
Carga	Todas las filas de las columnas 10 a 127.

Una señal básica STM-1 puede ser formada a partir de algunas de las jerarquías PDH solamente, se elige cuatro velocidades tratando que por lo menos, alguna de las jerarquías que cada país tiene, tuvieran cabida dentro de la trama STM-1. En la Figura 1.8 se muestran las multiplexaciones que se realizan para obtener tramas STM-1, STM-4, o sea cualquier STM-N.

Al tomar como ejemplo la velocidad de 2 Mbps, se percibe que 3 TU-12 (*Tributary Unit*), conforman un TUG-2 (*Tributary Unit Group*). Multiplexando 7 TUG-2, se forma una AU3, y agrupando 3 AU3, se obtiene una AUG (*Administrative Unit Group*), a la cual agregándole el SOH, forma la trama básica STM-1 [22].

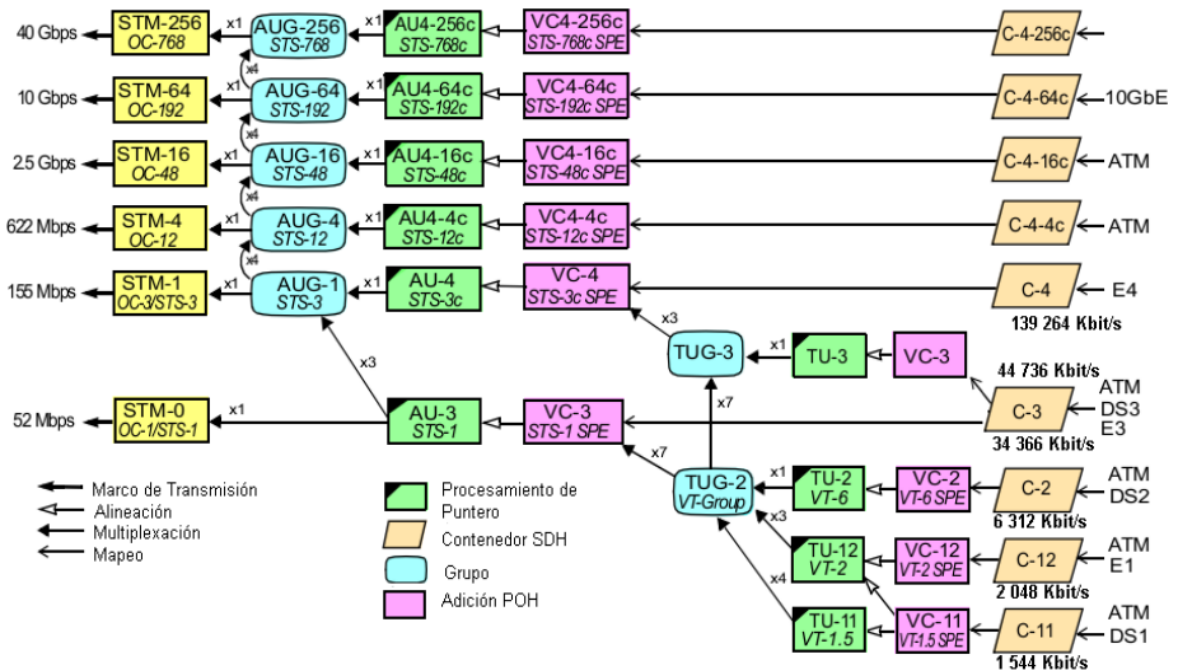


Figura 1.8. Estructura de multiplexación de una trama STM-N. (Fuente: [23]).

1.6.3 Equipos utilizados en la red SDH.

Las ventajas introducidas por la jerarquía digital síncrona SDH permiten la evolución de las redes de transmisión hacia estructuras más flexibles, con capacidad de reconfiguración dinámica y funciones de monitoreo y control gobernadas por un sistema eficiente de gestión [21].

Según las distintas aplicaciones, se definen varios tipos de equipos:

- ✓ Multiplexores Terminales TM (*Terminal Multiplexer*)
- ✓ Multiplexores de inserción/extracción ADM (*Add/Drop Multiplexers*).
- ✓ Regeneradores intermedios.
- ✓ Transconectores Digitales DXC (*Digital Cross-Connect Systems*).

1.6.4 Sistemas multiplexores terminales.

Un TM multiplexa las señales de baja velocidad como señales SDH a 2 Mbps (E1), 1.5 Mbps (T1), 34 Mbps (E3), 45 Mbps (T3), 140 Mbps (E4) en señales SDH a alta velocidad. También conduce demultiplexación para extraer las señales a baja velocidad de las señales a alta velocidad. Durante la multiplexación/demultiplexación, un TM convertirá las señales eléctricas en señales ópticas, o señales ópticas en señales eléctricas.

1.6.5 Sistemas multiplexores de inserción / extracción.

Los ADM son los equipos de red más notorios en las redes SDH ya que incorporan las funciones de multiplexación / demultiplexación síncrona y conexión cruzada digital. Son capaces de adicionar y extraer cualesquiera señales tributarias de manera flexible.

Un ADM puede implementar la conexión cruzada, entre señales LU (*line units*) tanto en los lados oeste como este, entre señales LU ya sea en el lado este como oeste y señales TU. Por ejemplo, las señales tributarias de la serie E (E1, E3, E4) pueden ser multiplexadas tanto en señales STM-N en el lado este, como en señales STM-N en el lado oeste [21].

1.6.6 Sistemas regeneradores intermedios.

Los regeneradores son responsables de la regeneración de la señal, amplificación y retransmisión. Comparado con los TM y ADM, los regeneradores no proporcionan funciones de adición y extracción de servicios en cualquier sitio.

Los regeneradores son usados para regenerar y retransmitir servicios para transmisión de larga distancia en varias redes. Ahora, con el desarrollo de la tecnología en la transmisión óptica, menos y menos regeneradores deben ser usados.

1.7 Topologías comunes de red SDH.

La topología de red, la distribución geométrica de los nodos de la red SDH y las líneas de transmisión, reflejan la conexión física de la red. La topología de la red es importante en el sentido que determina la performance, confiabilidad y eficiencia de una red SDH. Para el sistema de transmisión SDH existen cinco redes básicas: cadena lineal, estrella, árbol, anillo y malla [24].

1.7.1 Red en cadena.

La red en cadena, como se muestra en la Figura 1.9, es una topología en la cual los nodos están conectados en secuencia, mientras los nodos en ambos extremos están conectados en un solo lado. Esta topología es usada en casos donde el tráfico no es importante o donde la carga de tráfico es pequeña y por lo tanto no es importante la preocupación de proteger el tráfico.

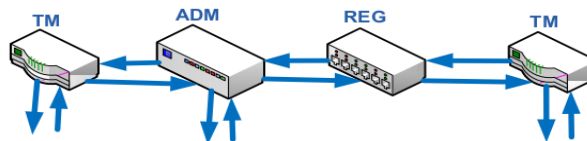


Figura.1.9. Topología en cadena. (Fuente: [25]).

1.7.2 Red en estrella.

En una red de transmisión SDH, si existe un nodo de *hub*, que posee conexiones con todos los restantes nodos, mientras todos los restantes nodos no tienen conexiones directas se trata de una red en estrella. Para una red en estrella, el tráfico entre los nodos debe pasar por el nodo *hub*. El nodo *hub* selecciona rutas y pasa las señales del tráfico para todos los restantes nodos y es capaz de gestionar los recursos de ancho de banda rigurosamente y de forma flexible. La estructura física básica de una red en estrella se muestra en la Figura 1.10, para red en estrella, la protección de red posible es la misma que para una en cadena.

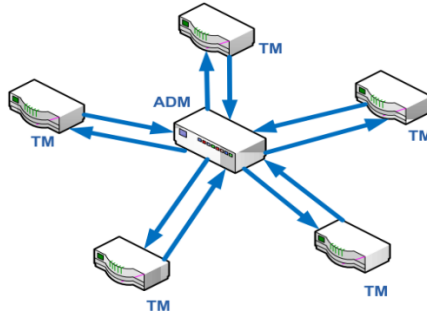


Figura 1.10. Topología en estrella. (Fuente: [24]).

1.7.3 Red en árbol.

En una estructura punto-punto, si cualquier nodo terminal está conectado con cualquier nodo de forma diversa, se forma una estructura en árbol. Una estructura en árbol puede ser considerada como la combinación de estructuras de cadena y de estrella. Es adecuada para el servicio de transmisión. Sin embargo, debido al problema de cuello de botella y al consumo de potencia óptica, no es adecuada para tráfico bidireccional.

La estructura básica de una red en árbol se muestra en la Figura 1.11.

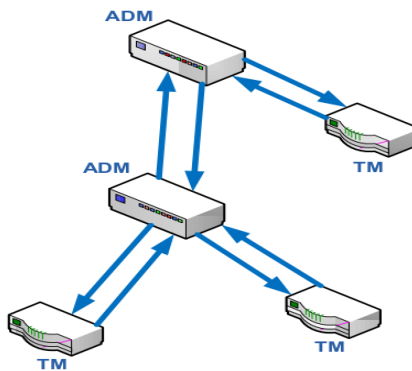


Figura 1.11. Topología de red árbol. (Fuente: [24]).

1.7.4 Red en anillo.

La red en anillo, como se muestra en la Figura 1.12, es la red más ampliamente utilizada en redes de transmisión SDH. Si los dos nodos terminales en una red en cadena están conectados uno con el otro, la red en cadena se convierte en un anillo. En tal estructura, cualquier tráfico entre dos nodos adyacentes puede ser directamente adicionado/extraído entre ellos. Para el tráfico entre dos nodos no adyacentes, se configura el tráfico *add/drop* en el nodo fuente y en el nodo de destino [25].

La red en anillo posee una alta supervivencia. La ventaja más evidente de una red en anillo es su alta supervivencia, lo cual es esencial para las redes ópticas modernas de gran capacidad. De esta manera, la red en anillo aprovecha muchas aplicaciones de alta difusión en redes SDH.

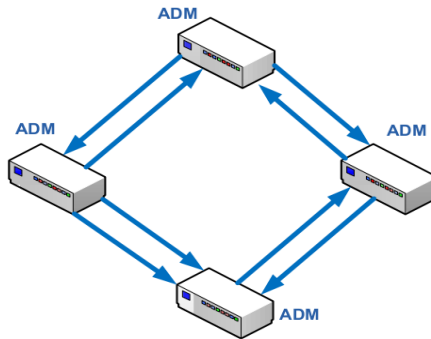


Figura 1.12. Topología en anillo. (Fuente: [24]).

1.7.5 Red en malla.

Las redes en malla son redes de comunicaciones en las cuales muchos nodos están interconectados con otros mediante rutas directas. En una red de malla, no existen problemas de cuello de botella. Como puede ser seleccionada más de una ruta entre dos nodos cualesquiera, cuando falla un equipo, los servicios pueden ser transmitidos aun rápidamente a través de otras rutas. De esta manera, se incrementa la confiabilidad de la transmisión del servicio. Sin embargo, tales redes son más complicadas, en cuanto a costos y difíciles de gestionar. Las redes en malla son adecuadas para aquellas regiones con gran tráfico. La Figura 1.13 muestra la topología en malla.

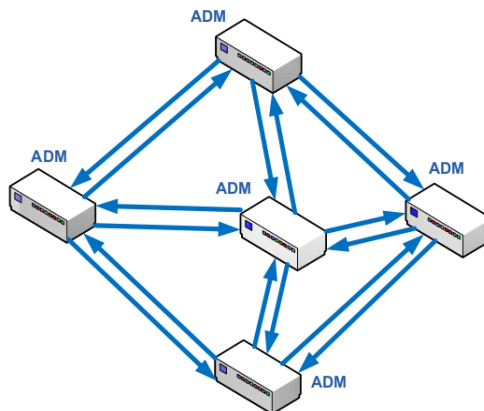


Fig.1.13. Topología en malla. (Fuente: [24]).

Como se explicó anteriormente, cada una de esas estructuras topológicas posee sus funciones individuales y diversas aplicaciones. Al seleccionar una estructura topológica, deben ser considerados muchos factores. Por ejemplo, la red debe tener alta supervivencia, fácil de configurar, adecuada para adicionar nuevos servicios, y simple de gestionar. En una red de telecomunicaciones práctica, diferentes capas adoptan diferentes estructuras topológicas. Las redes de acceso o redes de abonado, normalmente usan estructuras de anillo y estrella y algunas veces estructuras en cadena. Puede ser útil usar topología de anillo y cadena en redes troncales interurbanas. Mientras tanto, las redes de larga distancia *backbons* pueden requerir estructura topológica en malla. La estructura requerida en la práctica, debe ser determinada según la situación específica.

CAPITULO 2 . CARACTERIZACIÓN DE LA RED ACTUAL DE RADIODIFUSIÓN.

En este capítulo se presenta un escenario de la actual red de radiodifusión del municipio Santiago de Cuba. Se caracterizan cada una de las vías existentes para el transporte de las señales generadas en los estudios de radio hasta sus respectivos transmisores por los diferentes medios de transmisión. Se caracterizan además, los principales equipos que procesan las señales mientras estas alcanzan a los transmisores. Se plantean las deficiencias detectadas a la red de radiodifusión.

2.1 Panorama de la radiodifusión.

El sistema de radio difusión cuenta con emisoras nacionales, provinciales, municipales y locales. Las nacionales como Radio Progreso, Radio Rebelde, Radio Reloj, Radio Enciclopedia, Radio Música Nacional, Radio Habana Cuba y Radio Taíno están programadas para alcanzar a todos los receptores de cada radioescucha cubano.

Actualmente la red de radiodifusión de Cuba está compuesta por más de 800 transmisores ubicados en 363 centros técnicos a lo largo y ancho del país. Incluye las cadenas de radio internacional, nacionales, provinciales, las emisoras locales, así como los canales de televisión nacional, los telecentros provinciales y municipales, y la plataforma satelital [1].

Con la implementación de la fibra óptica nacional que llega a todas las capitales de provincia, la red para el transporte de las programaciones de radio y televisión experimentó un cambio significativo, permitiendo que lleguen de forma digital las 5 programaciones nacionales de televisión y las 7 programaciones nacionales de radio a los 26 centros transmisores más importantes del país. En los últimos cinco, años, la red de radiodifusión de onda corta se ha ampliado y modernizado. El transporte de las programaciones que transmiten los centros nacionales de onda corta también esta digitalizado. Se han instalado varios transmisores para mejorar la cobertura de Norte, Centro y Sur América, así como el área del Caribe, lo que elevó también su eficiencia y confiabilidad. Asimismo, se instalaron nuevos sistemas de antenas para esos transmisores.

A cada una de las provincias llegan estas emisoras nacionales que antes han sido conformadas en un flujo a través de la fibra óptica nacional de la red de transporte provista y monitoreada por la empresa ETECSA. Una vez esta señal en las provincias es preciso ajustar ciertos niveles de esta y hacerla llegar a los diferentes centros transmisores por las diferentes vías con se cuenta. La Figura 2.1 muestra como se distribuyen las diferentes emisoras en sus correspondientes transmisores.

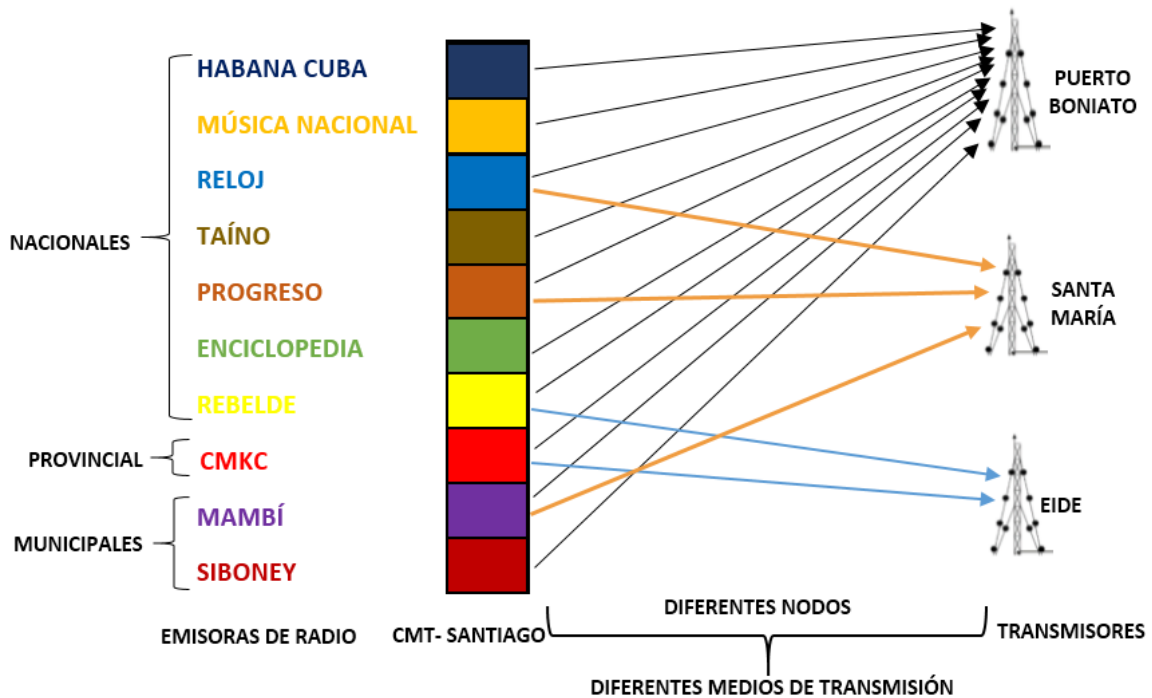


Figura 2.1. Emisoras de radio con sus respectivos transmisores.

En el acceso desde el CMT- Santiago hasta los diferentes transmisores las señales deben ser procesadas por distintos nodos en dependencia al medio de transmisión existente. En los epígrafes siguientes se detallan estos aspectos.

2.2 Equipos procesadores de las señales de radiodifusión.

En la actualidad para ofrecer distintos servicios de radiodifusión, se necesitan los equipos que realizan el procesamiento de la señal, brevemente se explicará el funcionamiento de algunos de estos que se encuentran principalmente en los centros transmisores.

2.2.1 Equipos PCM.

El PCM múltiplex es un equipo para derivar una señal digital simple, a una velocidad de dígitos definida, de dos o más canales analógicos mediante una combinación de

modulación por código de impulsos y un multiplexado por división de tiempo (multiplexor) y también para realizar la función inversa (demultiplexor). La descripción debe ir seguida de una velocidad de dígitos binarios equivalente; por ejemplo, equipo múltiplex PCM de 2.048 Kbps. El PCM realiza un proceso digital de modulación para convertir una señal analógica en un código digital. En el cual la señal analógica se muestrea y luego en un convertidor analógico/digital, los valores medidos se cuantifican, se convierten en un número binario y se descodifican en un tren de impulsos. Este tren de impulsos es una señal de alta frecuencia portadora de la señal analógica original [26].

2.2.2 Multiplexor Kronos E1/ T1.

El multiplexor Kronos E1/T1 permite mediante multiplexación por división en el tiempo transportar canales de voz, audio de alta calidad y datos sobre enlaces estructurados de 2.048 Mbps o 1.544 Mbps (circuitos E1 o T1). El multiplexor Kronos soporta hasta un máximo de 4 enlaces E1 o T1 (dos enlaces por cada tarjeta instalada) siendo posible realizar *drop-insert* entre cualquiera de los circuitos E1 conectados. La Figura 2.2 muestra dicho equipo.

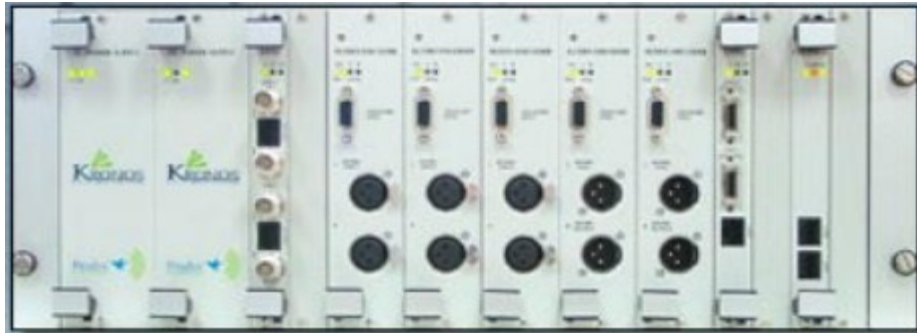


Figura 2.2. Multiplexor Kronos. (Fuente: [27]).

Está concebido de forma modular sobre la base de una arquitectura común en formato de *rack* de 19 pulgadas sobre la cual se instalan los diferentes módulos que configuran el sistema. Para dotarlo de máxima flexibilidad, es posible interconectar en cascada varios *racks* (hasta un máximo de 8 unidades) sobre los cuales es posible instalar el número de módulos de entrada y salida que se desee según las necesidades de cada aplicación.

Las características más importantes del equipo son las siguientes:

- ✓ Posibilidad de conectar hasta 4 enlaces E1/T1 en una unidad básica.

- ✓ *Drop-insert* permitido entre cualquiera de los E1 conectados.
- ✓ Fuente de alimentación AC o DC (48 V).
- ✓ Posibilidad de conectar una fuente de alimentación redundante AC o DC.
- ✓ Extracción e inserción de módulos en caliente para facilitar las labores de mantenimiento y actualización del sistema.
- ✓ Posibilidad de ampliar la configuración con *racks* adicionales (hasta un máximo de 8 *racks*).
- ✓ Control y configuración local (RS232) o remota a través de interfaz LAN (Telnet o SNMP).
- ✓ Posibilidad de asignar dinámicamente *time-slots* para tráfico IP y de esta manera permitir la interconexión de redes LAN a través de los circuitos E1.
- ✓ Módulos de audio totalmente configurables por software, y permite la selección de interfaz analógico o digital.
- ✓ Módulo bidireccional de datos síncronos (2 puertos por módulo) disponible con interfaz V35/X21 configurable como equipo terminal de datos [27].

2.2.3 Amplificador de programa.

Este dispositivo está presente en el CMT de la central telefónica de Santiago Centro es un amplificador capaz de tomar las señales a través de los pares de cobre provenientes de las distintas emisoras y en función de los niveles con que llegue la señal se toma una de sus salidas (0 dB, 4dB, 8dB, 14dB) para enviarla a un centro en específico. La potencia mínima requerida de la señal al llegar al CMT es de 0 dBm, luego esta señal es amplificada, ecualizada e insertada en otro par de cobre. Si una señal es enviada al transmisor de Boniato, primero debe ser recepcionada en la central de Boniato y para ello se toma la salida de 8 dB del amplificador de programa ya que la señal será transportada 5,8 km. Tomando en cuenta que la atenuación es de 1,1 dB por kilómetro (para calibre 0,9mm) llegará una señal a la central con más de 1 dB, siendo esto muy factible.

2.3 Nodos.

Los nodos son los equipos encargados de realizar las diversas funciones de procesamiento que requieren cada una de las señales que circulan o transitan a través de los enlaces de la red. Desde un punto de vista topológico, proveen los enlaces físicos entre los diversos canales que conforman la red. Son digitales, aunque pueden tener alguna etapa de procesamiento analógico y realizan las siguientes funciones:

- ✓ Transmisión: existe la necesidad de hacer un uso eficiente de los canales, por lo cual, los nodos de la red adaptan la información al canal para su transporte eficiente y efectivo a través de la red.
- ✓ Interface. En esta función el nodo se encarga de proporcionar al canal las señales que serán transmitidas, de acuerdo con el medio de que está formado el canal. Si el canal es de radio, las señales deberán ser electromagnéticas a la salida del nodo, independientemente de la forma que hayan tenido a su entrada y también de que el procesamiento en el nodo haya sido por medio de señales eléctricas.
- ✓ Recuperación. Cuando durante una transmisión se interrumpe la posibilidad de terminar exitosamente la transferencia de información de un nodo a otro, el sistema, a través de sus nodos, debe ser capaz de recuperarse y reanudar en cuanto sea posible la transmisión de aquellas partes del mensaje que no fueron transmitidas con éxito.
- ✓ Enrutamiento. Cuando un mensaje llega a un nodo de la red de telecomunicaciones, debe tener información acerca de los usuarios de origen y destino. Sin embargo, cada vez que el mensaje transita por un nodo y considerando que en cada nodo hay varios enlaces conectados por los que, al menos en teoría, el mensaje podría ser enviado a cualquiera de ellos, por tanto se debe tomar la decisión de cuál debe ser el siguiente nodo al que debe enviarse el mensaje para garantizar que llegue a su destino rápidamente. La selección de la ruta en cada nodo depende, entre otros factores, de la situación instantánea de congestión de la red.
- ✓ Control de flujo. Todo canal de comunicaciones tiene una cierta capacidad de manejar mensajes, y cuando el canal está saturado ya no se deben enviar más mensajes por medio de ese canal, hasta que los mensajes previamente enviados hayan sido entregados a sus destinos.

La Figura 2.3 muestra los diferentes nodos con sus respectivos equipos de red.

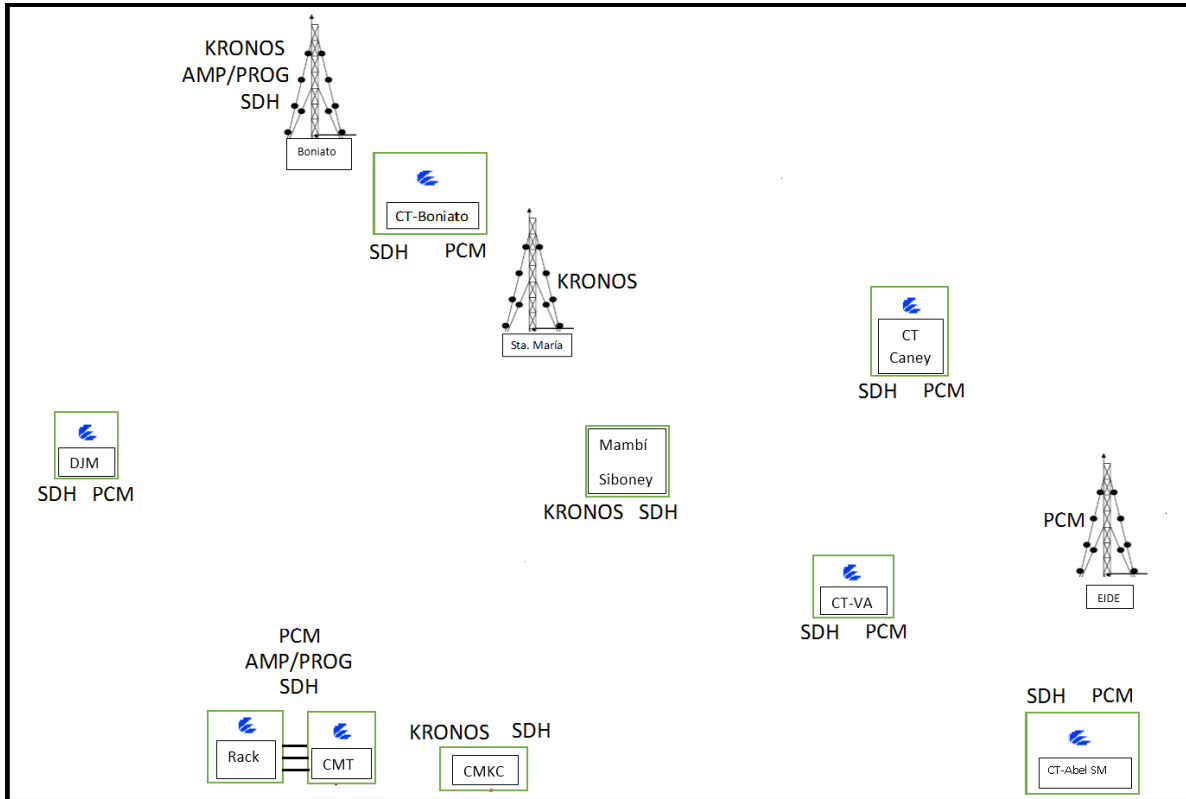


Figura 2.3. Nodos con sus respectivos equipos de red.

2.4 Acceso a los transmisores utilizando par de cobre.

Los cables de cobre son el medio más utilizado en transmisiones tanto analógicas como digitales; siguen siendo la base de las redes telefónicas urbanas. Recientemente se han utilizado también en redes de transmisión de datos utilizando una mayor banda para la transmisión, permitiendo mayores tasas en las comunicaciones digitales. La Figura 2.4 muestra el sistema de radiodifusión utilizando solo como vía de acceso a los transmisores el par de cobre.

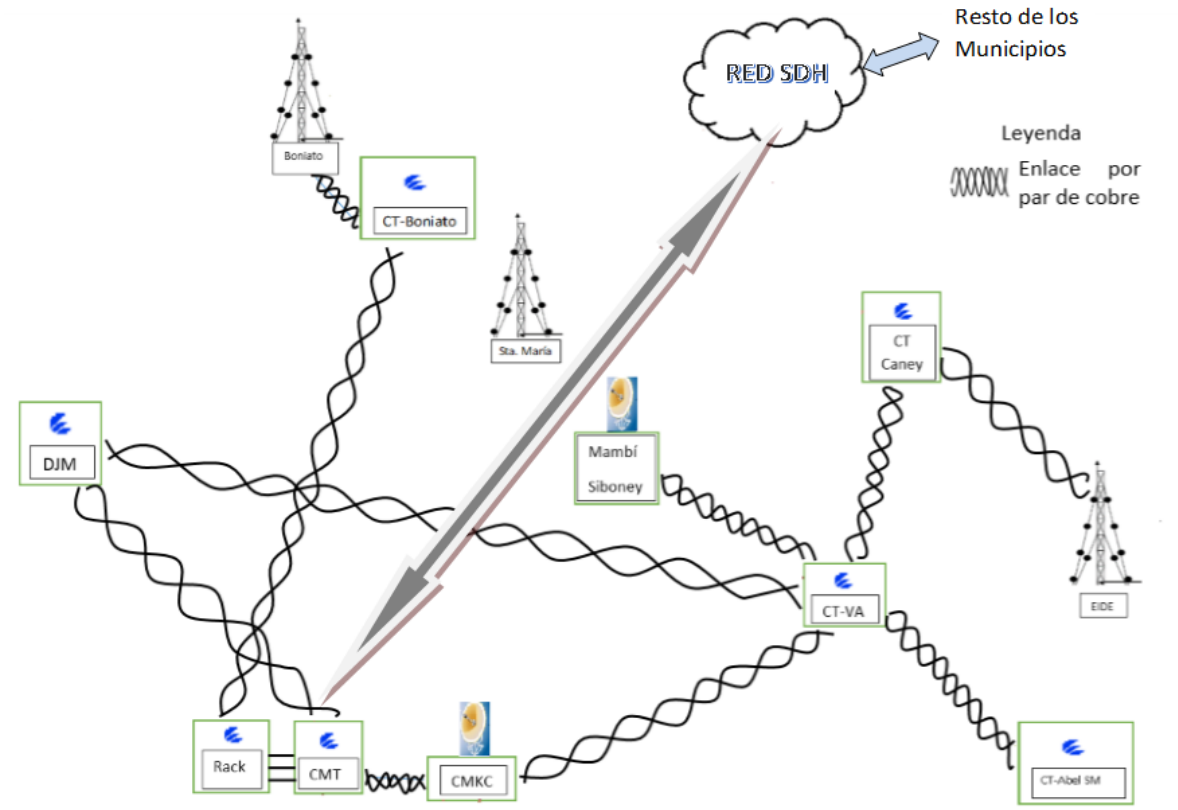


Figura 2.4. Radiodifusión mediante par de cobre

Las emisoras nacionales llegan mediante fibra óptica al CMT (Centro de Mantenimiento a la Transmisión) de la central telefónica Santiago Centro, una vez allí la señal se enruta hasta los distintos municipios mediante la red SDH.

La emisora provincial CMKC envía la señal obtenida desde su estudio hasta el rack el cuales el órgano que se encarga de realizar la conexión entre la planta exterior y el equipo de conmutación. Su función principal es la de hacer que cualquier par de la red de usuario se pueda interconectar con cualquier circuito de línea del equipo de conmutación. Del rack se pasa al CMT y luego al amplificador de programa, donde se ajustan los niveles y se ecualiza la señal para enviarla al resto de los municipios santiagueros por la red SDH, sin embargo para la localidad, esta señal, una vez tratada en el amplificador de programa, se lleva a la central telefónica de Vista Alegre luego a la del Caney y finalmente se remite al centro transmisor de AM de la EIDE.

La emisora CMKC también es transmitida en la banda de FM por tanto también debe ser enrutada al transmisor del Puerto de Boniato. Para ello primero la señal salida del

amplificador de programa es transportada a la central telefónica de Boniato y luego al transmisor del Puerto de Boniato.

Las emisoras Mambí y Siboney también tienen que enviar sus señales a la central de Vista Alegre, luego se envía a la estación de radio CMKC y después al *rack* a lo igual que CMKC. Radio Mambí debe llegar a los centros transmisores del Puerto de Boniato y Santa María, este último se alcanza mediante un enlace de radio que tiene con el Puerto de Boniato. Radio Siboney solo debe llegar al Puerto de Boniato. Estas rutas son las mismas que las de CMKC pero evidentemente por otros pares.

2.5 Acceso a los transmisores utilizando fibra óptica.

En esta red de radiodifusión se tiene una estructura a la cual están conectados todos los equipos SDH, y todos ellos pueden recibir todos los flujos de las señales, pero solamente extraen del canal los mensajes en los que identifican su dirección como destinatarios.

La diferencia fundamental entre las transmisiones que utilizan fibras ópticas y las de naturaleza puramente eléctrica está en el hecho de que en las primeras la información se sobrepone a señales ópticas, es decir, la información modula alguna característica de una señal óptica. Las ventajas de este tipo de transmisiones son múltiples: son mucho menos sensibles a ruido de tipo eléctrico. Por el espacio que ocupan en el espectro las señales ópticas, la capacidad de estas transmisiones es mucho mayor que las de los sistemas basados en cables metálicos. Aunque las señales se ven afectadas por ruido, no se alteran por ruido de tipo eléctrico y pueden soportar distancias mayores entre repetidores en el orden de 100 km.

La topología usada más frecuente para la transmisión por fibra es en anillo, y esta se desprende desde la fibra óptica nacional hasta la territorial. La Figura 2.5 muestra estos anillos en la red SDH de Santiago de Cuba.

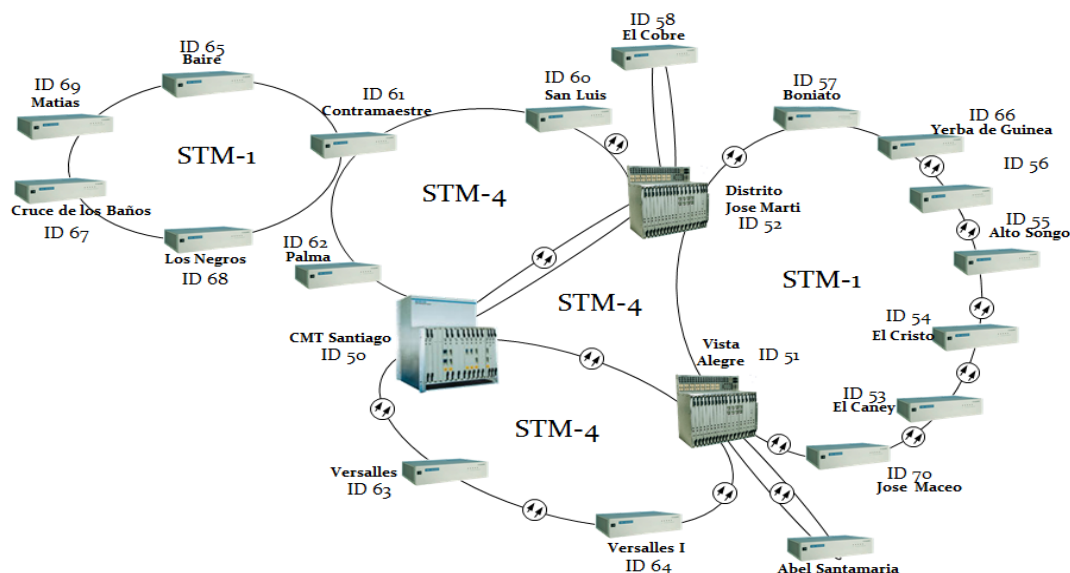


Figura 2.5. Anillos en la red actual SDH de Santiago de Cuba. (Fuente: [28])

La Figura 2.6 muestra el acceso mediante fibra óptica desde las emisoras de radio hasta los centros transmisores.

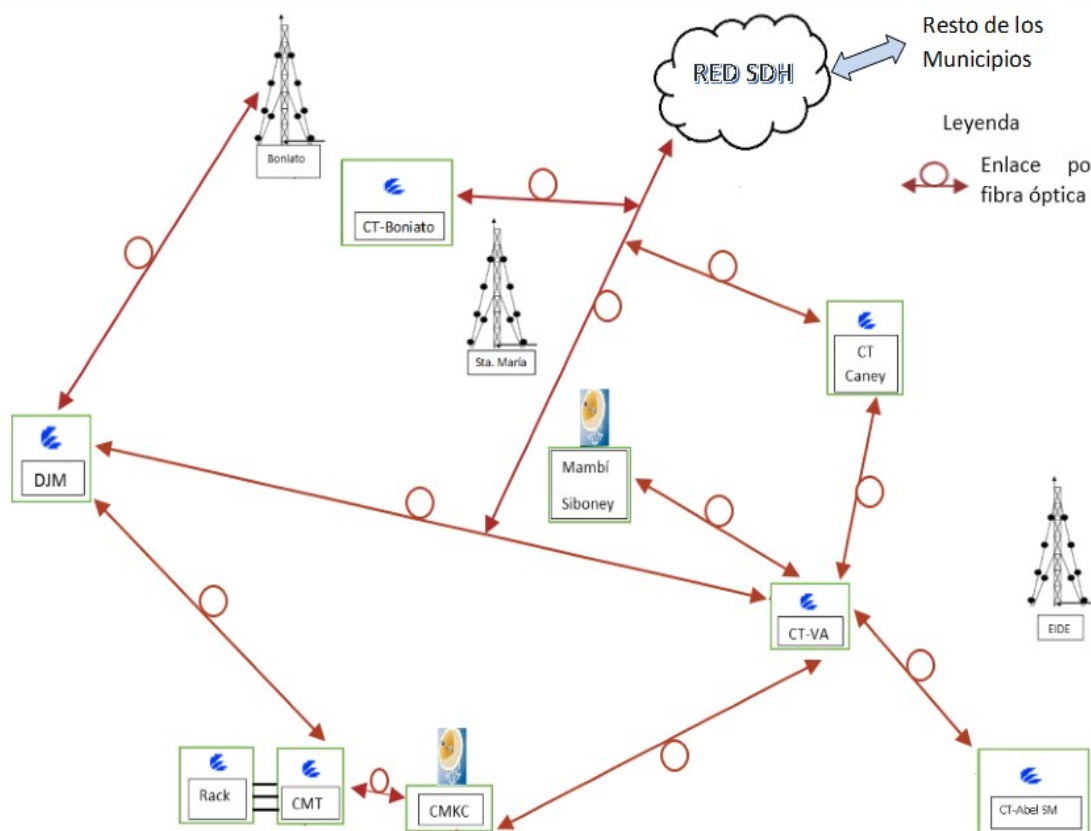


Figura 2.6. Radiodifusión mediante fibra óptica en la red SDH.

La fibra óptica alcanza los principales nodos, pero no de forma directa a los transmisores de la EIDE y Santa María. El uso de esta vía posibilita una velocidad de transmisión de al menos 155 Mbps, por tanto en los extremos receptores al extraer los flujos correspondientes se debe llevar la señal a canales de 2 Mbps, por lo que se necesitan más equipos que procesen la señal, de forma tal que se hace complejo el sistema.

Según la cantidad de señales que conformen el flujo de tramas STM-1 así será la velocidad de transmisión, por ejemplo: para una sola señal se tiene una velocidad de transmisión de 139,264 Mbps; para 3 señales 45,736 Mbps y así hasta 84 señales a 1,544 Mbps. Por lo general la usada es 63 señales a 2Mbps.

2.6 Radiodifusión por medio de ondas de radio.

Cada centro transmisor de las señales de radio debe hacer llegar a los radioescuchas de una determinada área las correspondientes emisoras designadas. La Tabla 2.1 muestra la distribución de esta con sus diferentes frecuencias portadoras.

Tabla 2.1. Emisoras con sus respectivos transmisores y frecuencias de salida al aire.

Transmisores de AM	EIDE	CMKC 890 KHz
		Rebelde 650 KHz y 1180 KHz
	Santa María	Mambí 1280 KHz
		Progreso 690 KHz
		Reloj 930 KHz
Transmisor de FM	Puerto de Boniato	Siboney 90.5 MHz
		Mambí 93.7 MHz
		CMKC 95.1 MHz
		Taíno 97.1 MHz
		Habana Cuba 98.1 MHz
		Progreso 99.3 MHz
		Música Nacional 100.3 MHz
		Enciclopedia 101.5 MHz
		Rebelde 102.3 MHz
		Reloj 103.1 MHz

El sistema de transporte por la parte de radio es muy dinámico, ya que este varía en función de cómo se van sustituyendo los diferentes módulos y técnicas al alcance de

Radio-Cuba, la tendencia actual ha sido la de ir cambiando los equipos de radio de la cabecera provincial principalmente y reutilizando estos en los lugares más críticos ya sea fuera del municipio o donde se requiera perfeccionar el mecanismo de radio.

En cada emisora del municipio Santiago de Cuba (CMKC, Radio Mambí- Siboney) se encuentra el multiplexor Kronos ya estudiado en el epígrafe 2.2.2, este entre sus características posibilita utilizar la vía de radio o la fibra óptica en la red SDH según se requiera. En caso de utilizarse el acceso mediante la fibra funciona como se explicó anteriormente en el epígrafe 2.5. Si se toma la vía de radio se efectúa mediante un radioenlace entre las emisoras y el centro transmisor FM de Boniato tal y como muestra la Figura 2.6.

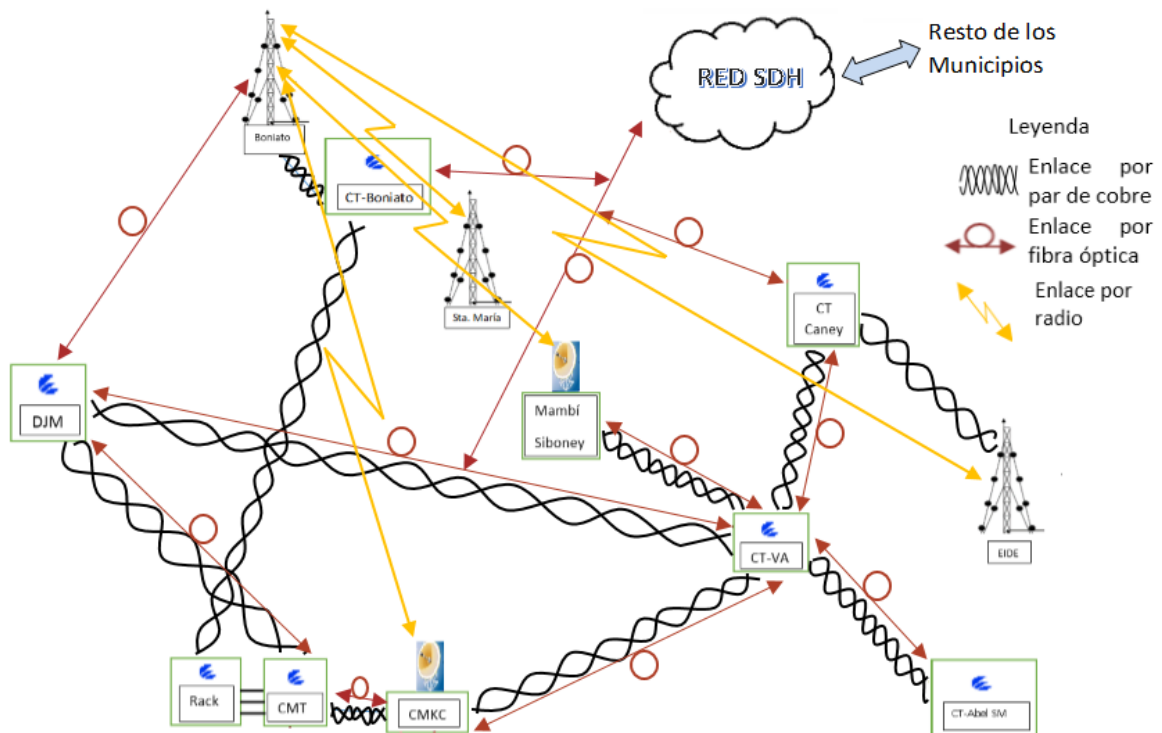


Figura 2.6. Radiodifusión por ondas de radio.

2.7 Deficiencias en el sistema de radiodifusión.

Al analizar los epígrafes anteriores del capítulo presente se determinan ciertas deficiencias en toda la estructura que sustenta la radiodifusión. A continuación se detallan algunas de estas las cuales convergen en la poca redundancia del sistema.

- ✓ no existe enlace de cobre directo hacia todos los transmisores tanto de AM como de FM.
- ✓ al existir los enlaces por fibra óptica se desprecian las otras vías por su calidad y a pesar de que es muy segura la fibra, si falla se pierde la comunicación.
- ✓ no existe disciplina en los mantenimientos, ni coordinación entre las entidades ETECSA, Radio-Cuba y la Radio implicando que se culpen unas a otras para quedar libres de responsabilidades.
- ✓ no están previstos los casos en que hay que separar las transmisiones de AM y FM desde el estudio hasta los equipos transmisores, lo que hace casi imposible soluciones imprevistas.
- ✓ infraestructura insuficiente en los centros que procesan la señal de radiodifusión.

Todo esto repercute negativamente en el sistema de radiodifusión cuando se presenta algún fenómeno meteorológico en el municipio ocasionando interrupciones en la red al no existir redundancia en los enlaces y las vías de respaldo no estar operativas.

CAPITULO 3 . PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN.

El análisis del capítulo anterior mostró un sistema de transporte para las señales de radiodifusión específicamente las generadas en las emisoras de radio del municipio Santiago de Cuba poco robusto y desprovisto de redundancia, en este capítulo se considera una variante de solución a los problemas detectados a la actual red de telecomunicaciones que sustenta la radio.

3.1 Acceso al transmisor de Santa María mediante par de cobre.

La primera propuesta va dirigida a conseguir hacer llegar las señales de las emisoras que les corresponden el transmisor de AM de Santa María. La Figura 3.1 muestra una vista satelital de dicho transmisor ubicado en la autopista nacional entre las casas de tapado y el rio San Juan.



Figura 3.1. Vista satelital del transmisor de AM de Santa María. (Imagen tomada de Google Maps)

Para ello se debe tener en cuenta reutilizar la infraestructura existente siempre y cuando no disminuya la robustez del sistema. En este proceso se debe lograr la utilización más racional y eficiente de la cantidad significativa de recursos que participan en el mismo con el fin de lograr los mejores resultados técnicos, económicos y financieros.

Hasta finales del año 2012 existía un cable troncal entre el Centro Telefónico de Santiago de Cuba y el del poblado de Boniato el cual fue sustituido por la fibra óptica, por lo tanto la única vía de acceso al transmisor seguía siendo la vía de radio. Luego del huracán Sandy se buscó restablecer este acceso mediante pares de cobre pero no fue posible quedando este trabajo pendiente en función de la mejora de la calidad y estabilidad de los servicios de radiodifusión de la provincia.

El esquema funcional de la Figura 3.2 muestra la propuesta de llevar 10 pares de cobre desde la Central Telefónica de Santiago de Cuba hasta el transmisor de Santa María, estos pares serán destinados al transporte de las señales provenientes de las emisoras cuyo transmisor es el mencionado anteriormente.

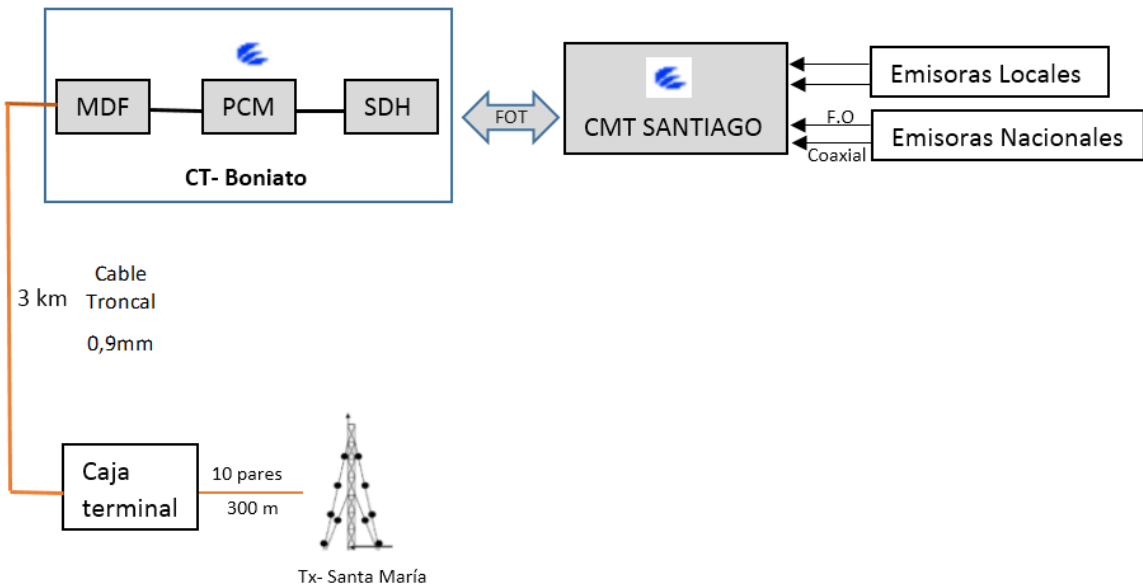


Figura 3.2. Esquema funcional del acceso por par de cobre al transmisor de Santa María.

Las diferentes señales originadas en las emisoras nacionales, provinciales y locales llegan al CMT de Santiago de Cuba por las vías analizadas en el capítulo anterior al analizar las vías de acceso a los diferentes transmisores. Las que van destinadas al transmisor de Santa María son direccionadas primeramente hasta el Centro Telefónico de Boniato a través de la fibra óptica territorial, los multiplexores de adición/extracción existente en la institución como parte de los equipos SDH extraen solo las señales que han sido enviadas a este lugar y bajan el flujo recibido a 2 Mbps. Luego se propone instalar un equipo PCM-Alcatel el cual insertará las señales en canales que serán alambrados hasta el MDF. Este último conectará la parte de planta exterior con el equipo

de conmutación considerando todas las conexiones físicas ya que de ahí parten las redes de cobre.

El cable 8 es el seleccionado dentro de la coraza de plomo o multipar para hacer llegar estos servicios, ya que sus pares están distribuido en áreas cercanas al transmisor, se considera que con 10 de ellos se logra el objetivo de llevar las señales desde la CT-Boniato hasta su destino además proveer servicios para 2 teléfonos con el fin de solucionar las necesidades del centro y futuros servicios de transmisión de datos. Estos 10 pares serán tomados de la caja terminal número 29, y los pares correspondientes del 76 al 85. Esta caja terminal es la más cercana al transmisor, la cual está a 300 metros, ubicada en calle 3ra Reparto Santa María. La Figura 3.3 muestra dicha caja terminal.



Figura 3.3. Caja terminal más cercana al transmisor de Santa María. (Imagen del autor)

De manera general se puede desarrollar la tarea con los siguientes pasos:

1. Se determinará la ruta para llevar las señales que van al transmisor desde el CMT hasta el CT Boniato a través de la red SDH existente.
2. Se instalará el equipo PCM Alcatel en la armazón existente.

3. Se realizarán las conexiones de los flujos desde el equipo SDH hasta el PCM Alcatel.
4. Se enlazarán los canales del PCM hacia el MDF.
5. Se identificarán los pares del terminal o cable más cercano al transmisor (cable 8).
6. Se tenderá el cable de 10 pares 300 metros desde la caja terminal hasta la fachada del local en el transmisor.
7. Se propone una poda del área para los árboles que se encuentran en la línea de los postes existentes.

Estos pares de cobre encargados de transportar las señales de radiodifusión desde los estudios de radio hasta los respectivos transmisores son pares telefónicos ordinarios arrendados por las emisoras, solo que estos cumplen otros requisitos adicionales que se traducen en mejor calidad de la señal tales como:

El calibre de los pares no es 0,4 mm sino 0,9 mm esto es para evitar atenuaciones significativas. Con 0,9 mm se reducen al menos a la mitad la atenuación que si fuese 0,4mm.

El valor de atenuación de teledifusión, entre cualquier combinación de pares en el núcleo del cable, deberá ser superior o igual a 58 dB/ km a 150 kHz. Se comprueba de acuerdo al método de ensayo descrito en la NC 66-74. Para este diseño debe ser mayor a 174 dB/km. En los pares permitidos a tener variaciones el máximo individual de la capacitancia mutua podrá llegar hasta 60 nF/km. Para este diseño debe ser mayor a 180nF/km.

Los desbalance de capacitancia par a tierra, no deberán exceder los siguientes valores, a una frecuencia de prueba de 1000 Hz ± 100 Hz y a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Máximo individual: 2625 pF/km. Promedio máximo: 574 pF/km.

El balance longitudinal debe ser superior a los 60 dB, este parámetro afecta fundamentalmente a las altas frecuencias.

Bajo estos requisitos de los pares telefónicos se recibe una señal aceptable. El ancho de banda es el mismo que el de los canales telefónicos; 3,1kHz. En este rango de frecuencias están los principales componentes armónicos formantes de la voz, además una vez que las señales llegan al CMT son amplificadas y ecualizadas, es decir, las señales son procesadas por un filtro cuya función de transferencia es inversa a la función de transferencia de las posibles perturbaciones presentes en el canal. De esto se puede concluir

Con esta tarea se provee una nueva vía de acceso a las señales de las emisoras de radio hasta su respectivo transmisor ganando en redundancia el sistema y siendo eficaz ante posibles fallas de otras vías a pesar de que la calidad no sea la más deseada por las características de los pares de cobre.

Un proyecto que tenga como objetivo acceder por fibra óptica a este transmisor es complejo desde el punto de vista de las obras de instalación civil ya que el transmisor está prácticamente rodeado por el río San Juan, por tanto la inversión crecería desbalanceadamente porque coexistiría en el proyecto la variante de fibra soterrada y aérea, siendo esta última además vulnerable a los fenómenos meteorológicos. Por tanto se mantiene la vía de radio como vía principal y el par de cobre propuesto como respaldo.

3.2 Acceso al transmisor de la EIDE mediante fibra óptica.

Esta nueva propuesta consiste en lograr que las señales provenientes de las diferentes emisoras accedan según correspondan al transmisor de la EIDE por medio de fibras ópticas. La Figura 3.4 muestra una vista satelital de dicho transmisor el cual se encuentra entre la carretera de Siboney, la escuela de deportes EIDE y un centro de cultivo estatal, dedicado a las hortalizas.



Figura 3.4. Vista satelital del transmisor de la EIDE. (Imagen tomada de Google Maps)

Para esta tarea se debe conocer la disponibilidad de las diferentes fibras ópticas que pasan relativamente cerca al transmisor siendo factible y como única alternativa una de ellas, la cual pasa a 100 metros del transmisor, las otras posibles tienen fines militares y por tanto, no se pueden involucrar en la proyección a lo igual que la fibra óptica internacional que se extiende soterrada por toda la carretera de Siboney.

En la Figura 3.5 se muestra el esquema físico de la distribución de la fibra óptica territorial la cual se tomó para el proyecto.

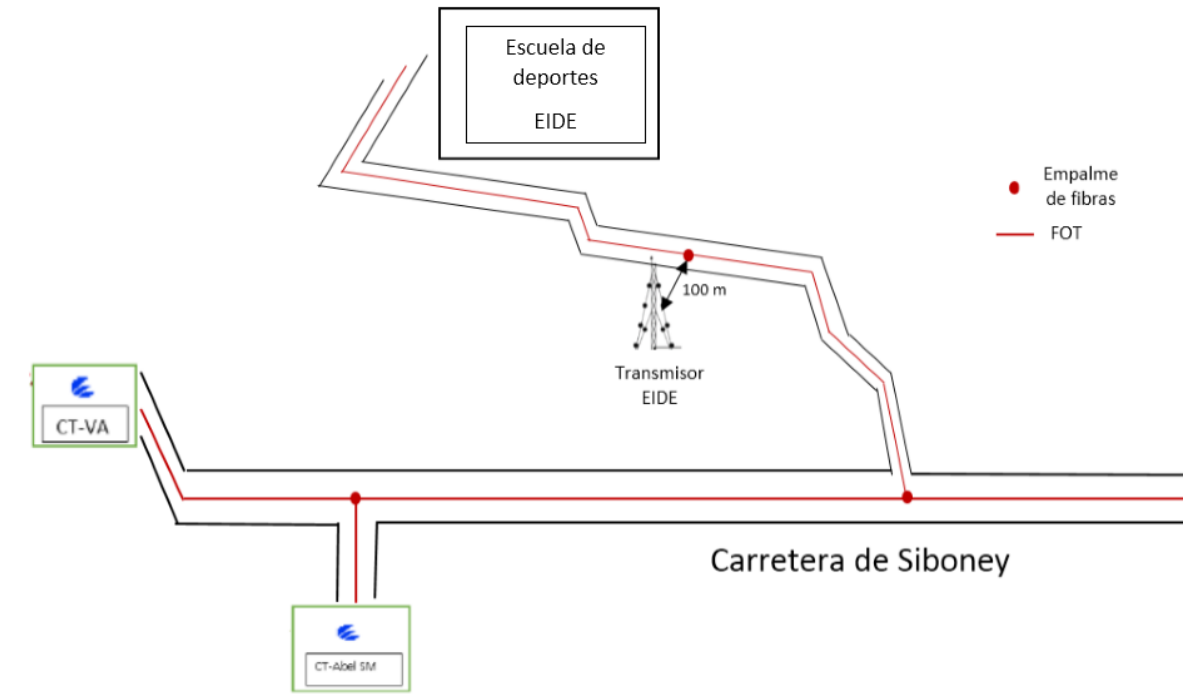


Figura 3.5. Distribución de la fibra óptica territorial a utilizar en el proyecto.

Como se puede apreciar existe un tramo de empalme a 100 metros del transmisor el cual puede ser intervenido para desarrollar la tarea planificada, antes se debe contactar con el personal que atiende la planta exterior relacionado con la fibra óptica para obtener un permiso que permita el desempeño del trabajo además de su posterior actualización en el sistema.

Las diferentes especialidades deben converger en el trabajo. La parte civil se encarga de escavar desde el empalme hasta el lateral de la cabina para la salida del cable y proporcionar todas las características constructivas al local.

Los de energética proveerán los diferentes voltajes de alimentación eléctrica para los equipos montados en el bastidor, asegurarán el perfecto estado del rectificador, además

del montaje de la alimentación de respaldo con baterías. Esta institución tiene asegurada la climatización de la cual se encarga la empresa Radio-Cuba.

Por la parte del personal de planta exterior además de obtener el permiso para la intervención del empalme son los encargados de soterrar las fibras ópticas desde el empalme hasta la entrada del local y un poco más allá hasta el ODF a través de los tritubos que le brindaran seguridad.

Los encargados de planta interior instalarán el equipo SDH y el PCM en el bastidor y hacer la distribución de las salidas del PCM en las regletas Masari.

El último paso se corresponde con realizar el corte en el empalme para no afectar el sistema mientras se ejecuta la tarea y se insertan luego las señales de radiodifusión en el sistema SDH para realizar las pruebas estimadas. La Figura 3.6 muestra la propuesta descrita.

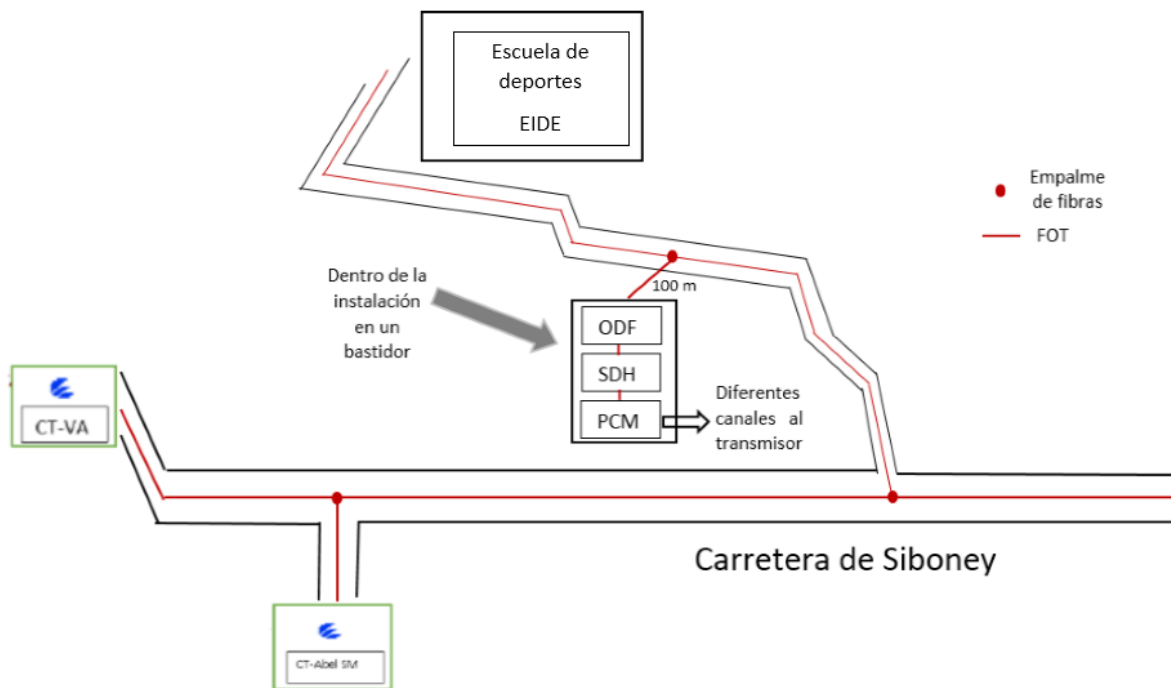


Figura 3.6. Acceso al transmisor de la EIDE por fibra óptica.

Para una correcta planificación de las instalaciones de cables con fibras ópticas es necesario considerar la atenuación total del enlace y el ancho de banda del cable utilizado.

Para el cálculo de atenuación de enlace se consideran 2 métodos:

- ✓ Cálculo del cable de fibra óptica
- ✓ Cálculo del margen de enlace con cable de fibra óptica seleccionado

Cálculo del cable

La atenuación total del cable considerando reserva será:

$$a_t = La_L + n_e a_e + n_c a_c + La_r \quad (3.1)$$

donde:

L : longitud del cable en Km

a_L : coeficiente de atenuación en dB/Km

n_e : número de empalmes

a_e : atenuación por empalme

n_c : número de conectores

a_c : atenuación por conector

a_r : reserva de atenuación en dB/Km

El margen de enlace, permite considerar una reserva de atenuación para empalmes futuros (reparaciones) y la degradación de la fibra en su vida útil. La magnitud de la reserva depende de la importancia del enlace y particularidades de la instalación, se adopta valores entre 0.1 dB/Km y 0.6 dB/Km. Las pérdidas en los empalmes se encuentran por debajo de 0.1 dB/Km no superan 0.5 dB/Km.

El enlace será proyectado para un margen de potencia igual a la máxima atenuación antes de ser necesario un repetidor.

$$P_M = P_t - P_u \quad (3.2)$$

donde:

P_M : margen de potencia en dB (máxima atenuación permisible)

P_t : potencia del transmisor en dB

P_u : potencia de umbral en dB (dependiente de la sensibilidad del receptor)

La potencia de salida del transmisor es el promedio de la potencia óptica de salida del equipo generador de luz empleando un patrón estándar de datos de prueba. El umbral de sensibilidad del receptor para una tasa de *bits* erróneos (BER) es la mínima cantidad de potencia óptica necesaria para que el equipo óptico receptor obtenga el BER deseado dentro del sistema digital. En los sistemas analógicos es la mínima cantidad de potencia

de luz necesaria para que el equipo óptico obtenga el nivel de señal a ruido (S/N) deseado. Sabiendo que:

$$a_t = P_M \quad (3.3)$$

Entonces sustituyendo a_t en (3.1) y despejando a a_L queda:

$$a_L = \frac{P_M - n_e a_e - n_c a_c - L a_r}{L} \quad (3.4)$$

a_L fija la máxima atenuación por Km para el cable a ser seleccionado.

Cálculo del margen

La atenuación total en dB sin considerar reserva del cable será:

$$a_t = L a_L + n_e a_e + n_c a_c \quad (3.5)$$

Recordando de (3.2) que $P_M = P_t - P_u$

El margen de enlace M_e en dB será:

$$M_e = P_M - a_t \quad (3.6)$$

Para el caso del proyecto de la EIDE se desea un enlace para el sistema de 34 Mb y $\lambda = 1300$ nm.

Sabiendo que $L = 5$ Km (distancia entre la central telefónica de Santiago y el centro transmisor de la EIDE) y se emplean fibras ópticas monomodo de 2000 m entonces se requieren 2 empalmes con atenuación promedio de 0.2 dB por cada empalme, los conectores de transmisión y recepción con atenuación 0,5 dB cada uno respectivamente.

Cálculo de la fibra

La reserva se fijó en 0.3 dB/Km

$$a_t = L a_L + n_e a_e + n_c a_c + L a_r = 5 * a_L + 2 * 0,2 + 2 * 0,5 + 5 * 0,3 = P_M$$

Para una potencia de transmisión de 0 dB y un umbral de sensibilidad de -30 dBm en el receptor (BER 10^{-9}). El margen de potencia máxima = 30 dB

$$a_L = \frac{P_M - n_e a_e - n_c a_c - L a_r}{L} = \frac{30 - 0,4 - 1 - 1,5}{5} = 5,42 \text{ dB/Km}$$

Podemos elegir un cable con una atenuación menor o igual a 5,42 dB/Km.

Cálculo de margen de enlace M_e

Suponemos una fibra con $a_L = 5.42$ dB/Km

$$a_t = La_L + n_e a_e + n_c a_c = 2,5 * 5,42 + 0,4 + 1 = 14,95 \text{ dB}$$

Si $P_M = 30 \text{ dB}$

El margen de enlace será:

$$M_e = P_M - a_t = 30 - 14,95$$

$$M_e = 15,05 \text{ dB}$$

15,05 dB será la atenuación máxima adicional permisible para degradaciones futuras del enlace.

Ancho de banda en fibras de índice gradual

El ancho de banda se encuentra limitado por la dispersión modal y/o del material si se usa LED (*Light-Emitting Diode, diodo emisor de luz*) con gran ancho espectral y $\lambda = 850$ nm predomina dispersión intermodal, con LD (diodo láser) y $\lambda = 1300$ nm predomina dispersión del material. Existen varios métodos para calcular en forma aproximada la variación del ancho de banda en función de la longitud.

$$b_1 = B_1 L_1 \quad (3.7)$$

Para perfil de índice gradual con ancho del sistema B y longitud L es aplicable el método de ley de potencias

$$\left(\frac{B}{B_1}\right) = \left(\frac{L}{L_1}\right)^{-\gamma} \quad (3.8)$$

B : ancho de banda del sistema en MHz

b_1 : ancho de banda por longitud en MHz*Km

B_1 : ancho de banda del cable de fibra óptica en MHz a L_1

L_1 : longitud de fibra óptica generalmente 1 Km para B_1

L : longitud de la fibra del enlace en Km

El ancho de banda no disminuye linealmente con la longitud por la dispersión de modos se aproxima con γ (exponente longitudinal) entre 0.6 y 1 (valor empírico 0.8).

Para el perfil de índice gradual y $\lambda = 1300$ nm el ancho de banda B para sistema de 34 Mb es mayor o igual a 50 MHz ancho de banda de campo regulador tanto para LED como para LD (para 8 Mb mayor o igual a 25 MHz y para 140 Mb mayor o igual a 120 MHz).

$$b_1 = B_1 L_1 = \frac{B L_1}{\left(\frac{L}{L_1}\right)^{-\gamma}} = B L_1 \left(\frac{L}{L_1}\right)^{\gamma} = 50 \text{ MHz} * 1 \text{ Km} * 5^{0,8} = 181 \text{ MHz}$$

En fibra óptica de perfil de índice gradual $\lambda = 1300 \text{ nm}$, b_1 incrementa en pasos de 200 MHz/Km (0 – 200 – 4000 MHz/Km), por tanto para 181 MHz se adopta 200 MHz*Km.

Dispersión de fibra óptica monomodo

En sistemas digitales se usa LD hasta 140 Mbps despreciando el ancho de banda de la fibra monomodo ya que es *GHz*.

Por tanto para monomodo se calcula dispersión en lugar de ancho de banda.

El ensanchamiento del pulso $\Delta T = M(\lambda) \Delta \lambda L$

ΔT : ensanchamiento del pulso en *ps*

$M(\lambda)$: dispersión cromática en *ps/nm*Km*

$\Delta \lambda$ = ancho espectral medio del emisor en *nm*

L = longitud de la fibra en *Km*

Por ejemplo para:

$L = 5 \text{ Km}$, $\lambda = 1330 \text{ nm}$, $\Delta \lambda = 5 \text{ nm}$, $M(\lambda) = 3.5 \text{ ps/nm*Km}$

Resulta $\Delta T = 3.5 * 5 * 5 = 87.5 \text{ ps}$

De la expresión para el cálculo de ancho de banda

$$B = \frac{0,441}{\Delta T} = 5,04 \text{ GHz}$$

Características mecánicas

Se debe tener en cuenta la configuración de los cables para que los mismos se encuentren protegidos de influencias ambientales. Esta tarea permitirá crear un nuevo enlace para el transporte de las señales de radiodifusión además de compensar el tráfico enviado porque existirán dos vías de acceso al transmisor, contribuirá al alargue del tiempo de explotación de los pares de cobre en su vida útil.

3.3 Valoración económica.

En este epígrafe se detallan los aspectos que determinan la factibilidad de los proyectos a través de los análisis de beneficios y costos. Se determina el impacto social y el aporte de este al crecimiento económico del país.

3.3.1 Presupuesto estimado para la ejecución del proyecto del transmisor de Santa María.

Para llevar a cabo esta tarea se debe hacer uso de la infraestructura disponible que cumpla los parámetros de calidad que el proyecto demanda de forma tal que se hiciese más factible desde el punto de vista económico el trabajo. A continuación la Tabla 3.1 muestra los materiales requeridos para la obra con sus respectivos precios.

Tabla 3.1. Listado de materiales.

Título T. T.	Transmisor Santa María	SAP	2015		
		No. T T	2015,17015		
	MATERIALES DE PLANTA EXTERIOR				
Código	Descripción	U	Costo U	Cantidad	Costo Total
2040370002	POSTE TELEF DE MADERA PRESERVADA DE9.0M	U	89,16	7	624,12
2040334203	MODULO MUERTO P/ANCLA 1,5 X 0,2	U	43,33	3	129,99
5072000002	CEMENTO GRIS P-350	Bolsa	4,63	9	41,67
5072000021	ARENA D/MINAS,RIOS BENEFIC.Y LAVADA	M3	16,05	2,5	40,13
2040210405	CABLE TELEFONICO CLA 10X2X0.4	M	0,85	300	255,00
2040290005	ALAMBRE JUMPER 2 VIAS CTT 2X1X0.5	M	0,06	20	1,20
2040310407	CAJA TERMINAL 10 PARES MULTISERV S/COLA	M	44,41	1	44,41
2040130044	GRAPA DE 1 PATA 12 MM	U	0,02	120	2,4
2040330072	MORDAZA (3/4T) P/C AUTSOP(TENSOR=7mm)	PIEZA	4,59	8	36,72
2040330074	MORDAZA (1.5T) P/C AUTSOP(TENSOR=10mm)	PIEZA	5,87	8	46,96
2040090002	ALAMBRE ACERO INOXIDABLE 1.2 MM	ROLLO	27,48	1	27,48
2040330080	MODULO SOPORTE L DE SUSPENSION	MÓD	10,53	2	21,06
2040302479	MODULO EMPATE VERTICAL EMYCO 10-50 PARES	U	23,91	8	191,28
5040360004	TAPE PLASTICO 3/4X18	U	0,59	12	7,08
2040330023	SOPORTE DE CAJA TERMINAL	U	6	1	6,00
2040330025	ANILLAS P/POSTES P/TERM D/MULTISERVICIO	U	1,76	2	3,52
2040330121	BRAZO EXT P/ANCLAJE DEL POSTE (VIOLIN)	U	123,82	4	495,28
2040332413	MORDAZA RETENCION 3 TORNILLOS C/TUERCA	U	6,13	10	61,30
2040333005	PASO DE 4" P/REGISTRO SOTERRADO"	U	1,32	1	1,32
2040340012	ARANDELA PRESION 5/8	U	0,7	12	8,40
2040340051	TORNILLO OJO CURVO 5/8 X 12	U	4,33	1	4,33
	OTROS				80,00
					2129,45

Además de la lista de materiales, se debe tener en cuenta la provisión del personal que enfrentará la tarea, es decir considerar los aspectos de horas de trabajo, hospedaje,

dietas, combustible, gastos en los diferentes permisos entre otros aspectos. Esta tarea se desarrollará en tres días con jornadas de trabajo de 10 horas y un personal de 13 personas.

La Tabla 3.2 muestra un resumen de los costos generalizados y finalmente muestra el presupuesto total para la inversión.

Tabla 3.2. Resumen de costos.

RESUMEN DE COSTOS		
Título T. T.	Transmisor de Santa María	
Código SAP:	2015	
No. Tarea Técnica	2015,17015	
PROYECCIÓN DE LA PLANTA EXTERIOR HASTA EL TRANSMISOR		
ITEM		COSTO (USD)
PROYECTOS PLANTA EXTERIOR		
Proyección		57,25
Transporte		243,75
Otros		29,11
TOTAL PROYECTOS PLANTA EXTERIOR		330,11
CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA EXTERIOR		
Materiales		2129,45
Instalación		310,64
Permisos		111,10
Transporte		239,26
TOTAL CONSTRUCCIÓN PLANTA EXTERIOR		2790,45
ITEM		COSTO (USD)
PROYECTOS CONSTRUCCIÓN CIVIL		
Proyección		20,52
Transporte		80,01
Otros		0,00
PROYECTOS CONSTRUCCIÓN CIVIL		100,53
EJECUCIÓN CONSTRUCCIÓN CIVIL		
Construcción		226,00
Permisos		24,92
EJECUCIÓN CONSTRUCCIÓN CIVIL		250,92
COSTO TOTAL DE LA INVERSIÓN		3472,01

Con esta tarea más que proveer un nuevo acceso al transmisor de Santa María quedan asentadas las bases para futuros servicios de transmisión de datos además de incrementar el número de teléfonos en la entidad.

3.3.2 Presupuesto estimado para la ejecución del proyecto del transmisor de la EIDE.

Para llevar a cabo esta tarea se debe hacer uso de la infraestructura disponible que cumpla los parámetros de calidad que el proyecto demanda de forma tal que se hiciese más factible desde el punto de vista económico el trabajo. A continuación la Tabla 3.3 muestra los materiales requeridos para la obra con sus respectivos precios.

Tabla 3.3. Listado de materiales.

Título T. T.	Transmisor EIDE	SAP	2015		
		No. T T	2015,17015		
	MATERIALES FIBRA ÓPTICA SOTERRADA				
Código	Descripción	U	Costo U	Cantidad	Costo Total
1042000201	CABLE F.O. P/SOTERRAR, 12 FIBRAS G.652 EKH9E	M	1,79	300	537,00
5017093812	MONOTUBO POLYETIL.NEGRO HUMO 40MM 10ATMS	M	1,36	600	816,00
2040130004	GRAPA U DE SUJECION PARA FIBRA OPTICA, 19 mm	U	0,08	2	0,16
1042000411	ELEMENTO PARA IDENTIFICACION DE CABLE	U	0,55	24	13,20
5017090001	TAPON CERRADO A PRESION P/DUCTO DE 40MM	U	1,23	2	2,46
4020109217	TACO BRIDA DE NYLON	U	0,06	24	1,44
5040360003	TAPE DE GOMA DE 2 PULG.	ROLLO	6,03	4	24,12
1042004001	TUBO TERMOCONTRAIBLE (1 por cada fibra)	U	0,59	24	14,16
1042003813	O.D.F. DE BASTIDOR DE 19 PULG. PARA 12 FIBRAS (SC/PC)	U	265,08	1	265,08
5072000411	REGISTRO P/FIBRA OPTICA HORMIGON 1X1X1M	U	415,30	1	415,30
2040333820	ARO HIERRO 29" DIAM REGISTRO SOTERRADO	U	86,15	1	86,15
2040333819	TAPA HIERRO 29" DIAM REGISTRO SOTERRADO	U	69,56	1	69,56
1042000402	MODULO D/EMPALME CAPUCHON H/12FO 5ENTRAD	U	167,71	1	167,71
5072000002	CEMENTO GRIS P-350	BOL	4,64	12	55,68
5072000007	ARENA LAVADA	M3	14,72	0,5	7,36
5072004803	PIEDRA 1/2	M3	12,68	0,5	6,34
5093000023	UNION P/TUBO ACERO GALVANIZADO 4"	U	23,23	12	278,76
1042000246	JUMPER FO G652D FC/SPC-SC/SPC SIMPLE 3M	U	10,55	16	168,80
	OTROS				44,70
					2973,98

La Tabla 3.4 muestra un resumen de los costos generalizados y finalmente muestra el presupuesto total para la inversión.

Tabla 3.4. Resumen de costos.

RESUMEN DE COSTOS		
Título T. T.	CABLE DE FIBRA ÓPTICA TRANSMISOR DE LA EIDE	
No. Tarea Técnica	2015,17015	
ITEM	COSTO (USD)	
PROYECTOS		
Proyección	48,25	
Transporte	23,70	
Otros	19,80	
TOTAL PROYECTOS	91,75	
EJECUCIÓN		
Materiales	2973,98	
Instalación	298,40	
Permisos	32,00	
Transporte	158,20	
Otros(Grupo Electrónico)	200,00	
TOTAL DE EJECUCIÓN	3662,58	
COSTO TOTAL DE LA INVERSIÓN	3754,33	

Con la realización de este proyecto además de lograr una nueva vía de acceso al transmisor de la EIDE, se le da cumplimiento a la política económica de nuestro país de lograr un servicio ininterrumpido a la población de calidad aceptable. No se aprecia un crecimiento económico directo a favor del Estado al desarrollar esta tarea ya que su fin es dotar al sistema de mayor redundancia.

Subjetivamente se acentúan las bases para futuros servicios de transmisión de datos, lo cual si aportará significativamente al fondo estatal y aliviará además procesos de mantenimientos y chequeo de la técnica empleada y lo que esto implicaría en función de transporte y abastecimiento al personal encargado de estas tareas. Varios procesos y parámetros que se deseen supervisar remotamente (por ejemplo desde la CT-Santiago) serán obtenidos prácticamente en tiempo real facilitando las operaciones de control, todo esto declina hacia la rentabilidad del proyecto.

3.3.3 Análisis de factibilidad.

Estos proyectos no tienen como premisas fundamentales favorecer al fondo económico estatal sino que tienen un enfoque principalmente social, contribuir al servicio ininterrumpido de la radiodifusión en el municipio Santiago de Cuba. La Radio como institución es la encargada de suministrar el presupuesto para cada una de las inversiones y ETECSA de conjunto con Radio-Cuba proveen todos los servicios demandados.

En el proyecto de Santa María las líneas dispuestas para el transporte de las señales son líneas arrendadas por las emisoras, estos pares telefónicos específicos y con características distinguibles se les impone una cuota mensual únicamente por el servicio. A esto se le suma una nueva tarifa de pago por el tiempo de uso y explotación del par cuando se transmite alguna señal. Sabiendo que existen emisoras que transmiten 24 horas (Reloj, Enciclopedia) y las restantes en su mayoría más de 12 horas diarias entonces esto presupone altas tarifas con elevado costos.

Es de igual forma para el proyecto de la EIDE, ocupar canales en la red de fibra óptica territorial implica altos precios; desde los permisos y políticas de restricciones hasta el propio uso del canal.

El importe mensual por los servicios que ofrecerá ETECSA con estos proyectos a la Radio es de 216,90 CUC o lo que es equivalente 241,00 USD; por tanto en un año se recuperaría 2892,00 USD. El costo total o inversión de ambos proyectos es de 7226,34

USD. Se calcula entonces el valor actual neto (VAN) para un periodo de 10 años y con una tasa de descuento de 7,5% de forma tal que se determine la rentabilidad de estos y si es conveniente su puesta en ejecución.

$$VAN = \sum_{j=0}^n (FC_j * a_j) \quad (3.9)$$

donde:

FC_j es la corriente de liquidez neta de un proyecto, o ingreso neto que se obtiene en los años 0,1, 2, 3,..., n.

a_j es el factor de actualización en los años 1,2, 3,..., n, correspondiente a la tasa de actualización que se utilice.

En el Excel, del paquete del Office 2013, está implementada esta función en la categoría de las razones financieras. En la Figura 3.7 se muestra el uso de esta herramienta en función de calcular el VAN.

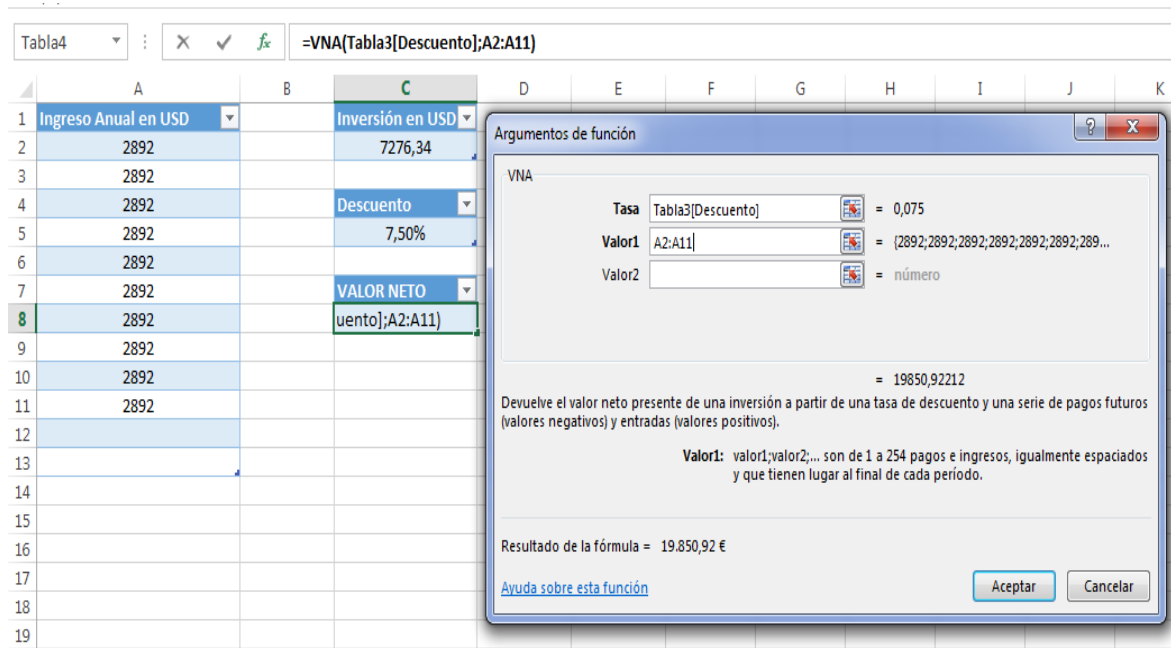


Figura 3.7. Cálculo del valor actual de los flujos.

La figura anterior muestra una tabla con el valor de la recaudación anual por 10 años (cada año 2892 USD), otras dos tablas con el costo total de la inversión y la tasa de descuento respectivamente y una cuarta tabla que mostraría el valor actual de los flujos desde el primer año, en este caso 19850,92. Finalmente el valor actual neto VAN se determina al hallar diferencia entre el valor devuelto por la función y el costo de la inversión, obteniéndose como resultado el que muestra la Figura 3.8.

Tabla5					=Tabla4[VALOR NETO]-Tabla2[Inversión en USD]				
	A	B	C	D	E				
1	Ingreso Anual en USD		Inversión en USD						
2	2892		7276,34						
3	2892								
4	2892		Descuento						
5	2892		7,50%						
6	2892								
7	2892		VALOR NETO						
8	2892		19.850,92 €						
9	2892								
10	2892		VAN						
11	2892		12574,58212						
12									

Figura 3.8. Cálculo del valor actual neto (VAN).

Como el VAN es positivo se concluye que los proyectos cubren sus costos y por tanto son rentables.

Por otra parte se realiza el análisis del periodo en que se recuperará el capital, calculando los años que tardan estos proyectos en recobrar el saldo inicial. Este cálculo se realiza tomando el costo total de la inversión con signo negativo (-7276,43 USD) y se le adiciona los flujos sucesivos que genera el proyecto anualmente, hasta que estos últimos lo cubran en su totalidad. Cuando esto ocurra se encuentra el número de años y fracción en que se recupera la inversión. Siguiendo estos pasos y considerando que el valor del dinero no variará en los próximos años, se obtiene que la inversión deba revertirse en aproximadamente 2 años, 6 meses y 8 días.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Del análisis del sistema de radiodifusión se determinó que:

1. La fibra óptica es la principal vía de uso como medio de transmisión en los distintos accesos.
2. Las rutas de las señales de radiodifusión hasta los transmisores de la EIDE y el de Santa María son insuficientes.
3. El transmisor del Puerto de Boniato está provisto de las vías de respaldo (fibra óptica, par de cobre y radio) necesarias para afrontar cualquier evento meteorológico que pueda afectar a la red de radiodifusión.

Al diseñar las diferentes vías de respaldo se evidenció que:

1. El sistema de radiodifusión mejora en cuanto a redundancia y fiabilidad ante posibles fallos en la red ya que se diseñan nuevos accesos.
2. Las nuevas propuestas asentaron las bases para futuros servicios de transmisión de datos y para la supervisión y control de parámetros en cada transmisor de forma remota.

Los proyectos a pesar de tener un desenlace en beneficio social cubren sus costos, por tanto son factibles y en aproximadamente 2 meses y medio se recupera todo el capital de inversión.

Recomendaciones

Realizar la propuesta para el diseño del acceso por fibra óptica para el transmisor de Santa María.

Realizar el estudio de las vías de acceso hasta los diferentes transmisores de las señales de radiodifusión en los restantes municipios santiagueros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «¿ Como andan los Servicios de Telecomunicaciones en Cuba?,» [En línea]. Available: <http://www.cubadebate.cu/noticias/2013/06/21/servicios-de-telecomunicaciones-en-cuba-estado-actual-y-perspectiva>. [Último acceso: diciembre 2014].
- [2] R. Franquet, «El futuro de la radiodifusión de audio digital (DAB),» España.
- [3] J. G. Camargo, «La radio por dentro y por fuera,» CIESPAL, Quito, 2006.
- [4] M. V. Escalante, «Revolución digital en la radio,» CIESPAL, Quito, 2010.
- [5] W. Fischer, «Tecnologías para la radiodifusión digital de video y audio,» Munich, 2013.
- [6] Universidad Iberoamericana de Ciencia y Tecnología, 2011.
- [7] ETECSA_ELEKA, «Especificaciones de cables telefónicos,» de *Resolucion 13*, Cuba.
- [8] A. K. Loo, *Curso Básico de la Red de Cables*, 2014.
- [9] J. M. d. I. Caridad, *Cables telefónicos locales. Requisitos*, 2013.
- [10] ETECSA, «Planta exterior para la red de abonados.parte 1,» Cuba, 2010.
- [11] ETECSA, *Método de ensayo descrito en la NC 66-74*, 2011.
- [12] Dynatel System Division, «Redes de planta externa. Prueba de cables telefónicos y localización de fallas,» [En línea]. Available: <http://spw.cl/08oct06-ra/doc/.../CursoPlantaExternaTeoriaBasica.pdf>. [Último acceso: enero 2015].
- [13] ETECSA, «Red de Distribución de Cables de Cobre de la Planta Exterior,» Cuba, 2002.
- [14] M. A. M. Raéz, «Principios básicos de la transmisión por radio,» [En línea]. [Último acceso: febrero 2015].

- [15] «Tecnologías inalámbricas y diseños de radioenlaces,» [En línea]. Available: www.radioenlaces.es. [Último acceso: febrero 2015].
- [16] J. Regalado, *Parámetros del Receptor*, 2012.
- [17] «Electrónica de Comunicaciones,» 2010.
- [18] *Receptores de Radio*.
- [19] G. P. Agraval, *Fiber-optic communication system*, New York, 2012.
- [20] N. F. Nuñez, «Proyección de la DWDM en Santiago de Cuba,» 2010.
- [21] S. Schultz, «Trend's SDH/SONET,» SDH Pocket Guide Germany, [En línea]. Available: www.acterna.com. [Último acceso: 2015].
- [22] «U-SYS Softswitch3000 System,» Technical Manual System Description, [En línea]. Available: www.huawei.com. [Último acceso: marzo 2015].
- [23] J. M. B. Rodriguez, *Diseño e implantación de un anillo SDH a nivel de stm-1 óptico*, Bogotá, Colombia.
- [24] A. Luque, «SDH. Principios Básicos,» [En línea]. Available: www.eie.fceia.unr.edu.ar/comunica. [Último acceso: febrero 2015].
- [25] K. Vergara, «Topología de red: malla, estrella, árbol, bus y anillo,» [En línea]. Available: www.bloginformatico.com/topología-de-red.php. [Último acceso: 2015].
- [26] «PCM Alcatel,» [En línea]. Available: www.helmut-singer.de/stock72014695821.html. [Último acceso: marzo 2015].
- [27] «Kronos,» [En línea]. Available: www.prodys.net/new-web/producto-kronos-es.html. [Último acceso: marzo 2015].
- [28] ETECSA, *Red SDH de Santiago de Cuba*.
- [29] R. H. Sampieri, C. F. Collado y P. B. Lucio, *Metodología de la Investigación*, Irapuato: Mc Graw Hill, 2006.
- [30] «Producción de equipos de radio,» [En línea]. Available: www.equipoaderadio.com/nueva. [Último acceso: febrero 2015].
- [31] S. A. Rodriguez, «Monografía de jerarquías digitales PDH y SDH,» 2011.
- [32] A. C. L., «Tecnología de comunicaciones y fibra óptica,» [En línea]. Available:

www.usuarios.lycos.es/Fibra-optica.htm. [Último acceso: febrero 2015].

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Término	Inglés	Español
AC	<i>Alternating Current</i>	Corriente Alterna
ADM	<i>Add/Drop Multiplexers</i>	Multiplexor de Adición/Sustracción
AM		Amplitud Modulada
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>	Modo de Transferencia Asíncrono
AU	<i>Administrative Unit</i>	Unidad Administrativa
AUG	<i>Administrative Unit Group</i>	Grupo de Unidad Administrativa
AWG	<i>American Wire Gauge</i>	diámetro en milésimas de pulgadas del conductor
BER	<i>Bit Error Rate</i>	tasa de <i>bits</i> erróneos
CCITT	<i>Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony</i>	Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico
CMT		Centro de Mantenimiento de la Transmisión
DC	<i>Direct Current</i>	Corriente Directa
ETECSA		Empresa de Telecomunicaciones de Cuba Sociedad Anónima
FM		Frecuencia Modulada
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
LAN	<i>Local Area Network</i>	Red de área local
NE	<i>Network Equipment,</i>	equipo de red
ODF	<i>Optical Distribution Frame</i>	distribuidor general de fibras ópticas
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i>	Equipo multiplex, modulación por pulso codificado
PDH	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy,</i>	Jerarquía Digital Plesiócrona
RDSI		Red Digital de Servicios Integrados
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>	Jerarquía Digital Síncrona
SONET	<i>Synchronous Optical Network</i>	estándar para el transporte de datos en redes de fibra óptica

STM	<i>Synchronous Transport Module</i>	unidad de transmisión básica de la Jerarquía Digital Síncrona
TD	<i>Digital TV</i>	Televisión Digital
TM	<i>Terminal Multiplexer</i>	Multiplexor Terminal
TU	<i>Tributary Unit</i>	unidad tributaria
TUG	<i>Tributary Unit Group</i>	grupo de unidad tributaria
VAN	<i>Net Present Value</i>	Valor Actual Neto
VoD	<i>Video on Demand</i>	Video bajo demanda
WAN	Wide Area Network	red de área amplia