



ANÁLISIS DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES ASOCIADO A LA RED ELÉCTRICA DE LA REGIÓN CENTRAL DE CADAFE

■ Ing. López, Lorena
lore_alelopezo@yahoo.com

■ Ing. Marcano, Isis
isism@mayatel.com

■ Tutor Ing. Soruco, Laura

1. Resumen

Considerando la importancia de la energía eléctrica y la calidad del suministro de este servicio para un país, es justificada la inversión adecuada de recursos financieros en infraestructura para el sistema eléctrico. Este proyecto contempla el análisis de la plataforma de comunicaciones asociada a la red eléctrica de la Región Central de CADAFE basándose en estudios teóricos y evaluaciones de los enlaces actuales y a implementarse. Se desarrollan dos estudios, el primero relacionado con la confiabilidad de los enlaces basados en tiempos típicos de fallas de los equipos y el segundo, un estimado de costos de enlaces tipo. Se realizan además tres análisis, el primero con base al solapamiento de equipos y proyectos, el segundo evaluando la fusión de la red en cuanto a topología y mecanismos de respaldo y el tercero con base en los servicios que se transmitirían en cada subestación. Se realiza una propuesta fundamentada en las deficiencias encontradas o mejoras necesarias para obtener un mejor aprovechamiento de los recursos y elevar la confiabilidad de la Red.

Palabras claves: Análisis, Estudios, Sistemas de Comunicaciones, Red eléctrica

Abstract. *Considering the importance of the electrical energy and the quality in providing the service to any given country, the suitable infrastructure investment for the electrical system is justified. This project contemplates the analysis of the communi-*

cations platform associated to the electric network at the Central Region of CADAPE being base on theoretical studies, evaluations of the existing connections and with implementation in a short and medium term. This document developed two parts, one related to the trustworthiness of the connections based on equipment typical failure times and the other one, cost estimate on important links. In addition, three analyses have been done, the first one on the basis of equipment and projects overlapping, the second, evaluating the fusion of the networks as far as topology and mechanisms of endorsement and third on the basis of the services that would be transmitted in each substation. A proposal is presented based on deficiencies found or the necessary improvements to obtain a better advantage of the resources and to elevate the trustworthiness of the Network.

2. Introducción

Los sistemas de comunicaciones son vitales para la transmisión de información de un punto a otro. En el caso de las redes de energía eléctrica, los sistemas de comunicación constituyen componentes esenciales de su plataforma tecnológica para la supervisión y control de sus líneas de transmisión y subestaciones e, incluso, para ejercer ese control de forma remota. La Compañía Anónima de Administración y Fomento de Eléctrico (CADAPE) fundada en 1958, basa sus comunicaciones entre sus despachos y subestaciones, en el sistema de onda portadora para la transmisión de voz, datos y transferencias de disparos. Dicho sistema utiliza las líneas de potencia como medio de transmisión de la radiofrecuencia de portadora y enlaza telefónicamente, entre sí, las diferentes gerencias de producción (cada gerencia está básicamente asociada a un centro de control).

En la actualidad, CADAPE está modificando su sistema de comunicaciones para optimizar su plataforma de control y, a su vez, poder brindar un mejor servicio eléctrico sin indisponibilidades o interrupciones. Entre estas modificaciones se encuentran el establecimiento de nuevos enlaces y equipamiento de fibra óptica, microondas y onda portadora digital, para aumentar la confiabilidad en el envío de señales entre las subestaciones.

Este trabajo contempla el análisis de los diferentes sistemas de comunicaciones existentes y próximos a ser instalados en la red eléctrica de la Región

Central de CADAPE, la evaluación de los servicios de telecomunicaciones que brinda cada subestación, los estudios de costos, confiabilidad y disponibilidad de ciertos enlaces y, posteriormente, la elaboración de una propuesta en relación a la optimización del sistema de comunicaciones, obteniendo un mejor aprovechamiento de los recursos.

3. Marco Referencial

La Región Central de CADAPE está integrada por 96 subestaciones (SS/EE) que, en su mayoría, emplean como plataforma de comunicaciones el sistema de Onda Portadora Analógico. Los servicios transmitidos por las SS/EE son básicamente voz, datos y teleprotecciones.

3.1 Teleprotecciones

Los sistemas de protecciones de línea adquieren la información de tensión y corriente de la línea y disponen del valor complejo de la impedancia de la misma en su modo de operación normal. Ante una falla en la línea, la corriente de cortocircuito crece, la tensión disminuye y el valor de la impedancia visto por la protección se reduce. Los relés de protección reciben continuamente el resultado de la medición local y la información del extremo distante desconectando la línea en caso de falla (*Guía de diseño y normas de sistemas de teleprotecciones*, s.f.).

El intercambio de información de variables de estado en forma permanente entre los equipos terminales de una línea se denominan *Protecciones diferenciales*. La información de órdenes enviadas en forma instantánea y única en base a cambios abruptos de impedancia en la línea o cortocircuitos, entre otros, recibe el nombre de *Protecciones de Disparo*.

3.2 Sistemas de Onda Portadora (OP)

En la figura 1 se presenta la configuración típica de un enlace de OP sobre líneas de alta tensión.

Los dispositivos de acoplamiento de la línea están constituidos por trampas de onda, condensadores de acoplamiento, protecciones, transformadores o

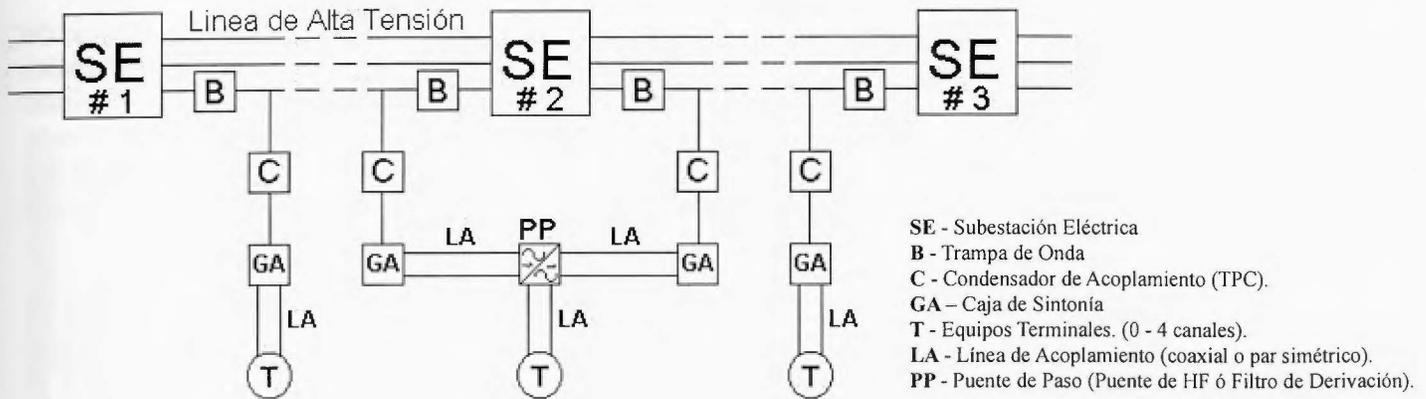


Figura 1.-Configuración típica de un enlace de OP sobre líneas de potencia

filtros de acoplamiento y por las líneas de conexión de HF (*High Frequency*). Su función es enviar la señal de HF sobre la línea de alta tensión sin riesgo alguno para los equipos terminales de OP y evitar que se introduzcan pérdidas apreciables en la transmisión de energía a frecuencia industrial

Los equipos terminales de OP se emplean para la transmisión simultánea de voz y señales de supervisión. Se encargan de empaquetar las señales de datos que vienen de la RTU (Unidad Terminal Remota, *Remote Terminal Unit*) y las señales de voz que vienen de la central telefónica, y modularlas a través de las líneas de transmisión, con la finalidad de que la información proveniente de cada una de las SS/EE llegue al Despacho de Carga. El método de modulación comúnmente utilizado es el de banda lateral única (SSB, *Single Side Band*), ya que éste produce un mayor aprovechamiento del espectro de frecuencias (López Da Silva, 1994). Para terminales de un solo canal y para un solo tipo de transmisión (voz o señales de control), se puede emplear también doble banda lateral (DSB, *Double Side Band*) o frecuencia modulada (FM, *Frequency Modulation*).

3.2.1 Sistema de Onda Portadora Analógica (OPA)

Los equipos de comunicaciones de las SS/EE que emplean el sistema de OPA, se encuentran localizados en la sala de telecomunicaciones, en la cual se pueden encontrar:

- **Equipos de OPA:** la capacidad de canales varía entre uno y dos canales por equipo, dependiendo del mismo. El ancho de banda

utilizado está entre 4 y 8 KHz. Las bandas de transmisión y recepción están separadas en múltiplos de 4 KHz.

- **Centrales Telefónicas:** se encuentran ubicadas en aquellas S/E donde se maneja mayor cantidad de información. Se encargan de codificar y decodificar las llamadas salientes y entrantes a las SS/EE
- **Unidad Terminal Remota (UTR):** Se encarga de tomar muestras de las variables de tensión, potencia, corriente, frecuencia, estado de las interrupciones, alarmas, indicaciones, etc., para luego convertir dicha información en código binario, según el formato convenido, y enviarla por un canal de comunicaciones a la estación maestra

3.2.2 Sistema de Onda Portadora Digital (OPD)

Los sistemas OPD permiten obtener un mejor aprovechamiento del espectro de frecuencias disponible. Esto se logra con el empleo de módems de alta velocidad, técnicas de compresión de voz y multiplexación de datos, que hacen posible incrementar la cantidad de información que puede transmitirse en un ancho de banda determinado (DIMAT, 2004). La estructura del sistema de OPD es similar al de los sistemas analógicos; las variantes se presentan en los equipos terminales que poseen mayor velocidad y en los sintonizadores de línea, que deben ser sustituidos para el sistema digital, ya que la función principal de estos elementos es acoplar los equipos a la impedancia de la línea para

protegerlos, por lo que es necesario ajustarlos a las impedancias de los nuevos terminales. El resto del sistema mantiene principio de funcionamiento de los sistemas de OP explicados anteriormente.

Los equipos de OPD actuales están constituidos por un módem y un convertidor de frecuencias. La capacidad de transmisión es de 81 Kbps, de los cuales se transmiten las informaciones de sincronismo y las del canal de servicio a la velocidad de 1 Kbps quedando como capacidad útil del sistema 79 Kbps, permitiendo multiplexar varios canales de voz y datos y, como alternativa, establecer un canal de 64 Kbps más otros canales adicionales, de hasta un total de 15 Kbps para señalización, telecontrol, etc.

3.3 Sistema de microondas

Son ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial y cuyo límite superior de frecuencia se fija en 300 GHz.

Cuando la distancia entre las SS/EE es elevada y además no se obtiene el nivel de recepción mínimo para conseguir una calidad aceptable de la señal transmitida, se emplean técnicas de Diversidad de Frecuencia y *Hot Standby* (HSB). En la primera, se transmiten dos señales que al llegar al receptor pasan por un combinador por diversidad que suma estas señales para obtener en la salida una mejor señal. El método HSB consiste en dos transmisores a una misma frecuencia, cuya salida a la antena se encuentra comandada por un diodo PIN, el cual conmuta uno de los dos transmisores. En el otro extremo, dos receptores reciben la misma señal y emplean un combinador que mezcla ambas señales, mejorando de esta manera la relación S/N. En la figura 2 se presenta el diagrama de bloques de un sistema de microondas.

Entre los elementos de un sistema de microondas se encuentran el Multiplexor de Acceso que agrega los servicios de voz, datos y teleprotecciones de nivel PDH a SDH y viceversa. El Conmutador, el cual reencamina las líneas de transporte punto a punto mediante la unión de líneas de entrada a líneas de salida. El MODEM que actúa como equipo terminal del circuito de datos permitiendo la transmisión de un flujo de datos digitales a través de una señal analógica y el transceptor que realiza las funciones de transmisión y recepción, utilizando componentes de circuito comunes para ambas funciones. Los

elementos pasivos constituidos por las antenas, guía de ondas, etc.

3.4 Sistemas de Fibra Óptica

El principio en que se basa la transmisión de luz por la fibra es la reflexión interna total; la luz que viaja por el centro o núcleo de la fibra incide sobre la superficie externa con un ángulo mayor que el ángulo crítico, de forma que toda la luz se refleja sin pérdidas hacia el interior de la fibra. Así, la luz puede transmitirse a larga distancia reflejándose miles de veces.

Entre los elementos de este sistema se encuentra: a) la fibra óptica propiamente dicha, que constituye el medio de transmisión de la información. En CADAPE el sistema SDH está diseñado para la transmisión digital utilizando fibras ópticas monomodo. Se emplean cables OPGW (*Optical Ground Wire*) y ADSS (*All Dielectric Self Supporting*) para interconectar las SS/EE y cables dieléctricos subterráneos para empalmar el pórtico de entrada de la S/E con los cables aéreos; b) el multiplexor óptico lleva a cabo funciones de multiplexación y terminal óptico de línea, entre otras; c) el Multiplexor de Acceso y Conmutador, los cuales tienen las mismas funciones que para el caso de microondas.

3.5 Proyectos planificados a corto y mediano plazo

3.5.1 Empresa ZTE

Este proyecto consiste en la construcción de una red de fibra óptica con cable OPGW; incluye la instalación de cinco anillos que cubrirán prácticamente todo el territorio nacional. El anillo principal estará ubicado en la Región Central de CADAPE y operará a nivel STM-64 con fibras de 72 hilos. Los nodos de los ramales de ese anillo principal, operarán a nivel STM-16 o STM-1, según sea el caso.

3.5.2 Empresa Asea Brown Boveri (ABB)

Esta empresa está encargada de la implementación de tres proyectos en la Región Central de CADAPE. El primer proyecto ya ha sido desarrollado y consiste en dos enlaces punto a punto definidos a nivel STM-1 entre tres SS/EE cada uno. El segundo proyecto contempla la instalación de una troncal de 374 Km entre seis SS/EE. El tercer proyecto es la continuación de la troncal anterior y se incluye la

ampliación de tarjetas para multiplexores ópticos y equipos de transferencia de disparo en las SS/EE de la primera troncal que se comunicarán con la segunda. Los enlaces están soportados por canales de transmisión digital a velocidades de 622 Mbps (STM-4).

3.5.3 Empresa Eprotel

El proyecto a ser desarrollado por esta compañía comprende una red de microondas a nivel STM-1. La red a implementarse está constituida por 13 SS/EE, de las cuales seis son repetidoras. Para el funcionamiento de las teleprotecciones se emplearán equipos externos de transferencia de disparo.

3.5.4 Empresa PLC de Venezuela

Está encargada de dos proyectos que comprenden la construcción de una red de conmutación de voz y datos sobre enlaces digitales para el sistema eléctrico troncal de CADAFE. Incluye la instalación de 30 enlaces de OPD y un enlace de fibra óptica a nivel STM-1. La mayoría del equipamiento a ser instalado está constituido principalmente por equipos de OPD, sintonizadores de línea, un *NetPerformer* por cada equipo de OPD y centrales telefónicas. El enlace de fibra óptica es a nivel STM-1.

3.5.5 Empresa Elecnor

El proyecto a ser desarrollado por esta compañía comprende el desarrollo de un sistema de comunicaciones de OPD en un total de ocho SS/EE; así como los *NetPerformer* (NP) y demás equipos asociados que permitan la implantación de una red de datos conmutados con VoIP. Incluye también equipos terminales electro-ópticos SDH para cuatro SS/EE. Los enlaces estarán soportados por canales de transmisión digital a velocidades que están comprendidas entre los 28,8 Kbits/s y los 64 Kbits/s, con anchos de banda individuales, no superior a los 4 KHz para el caso de OPD y 155 Mbps (STM-1) para el caso fibra óptica.

* Se tiene previsto emplear un NP por cada S/E con "n" salidas para conectar "n" cantidad de equipos OPD que se encuentren en la misma.

3.5.6 Empresa Teletrol

Instalará enlaces de OPD en cuatro SS/EE y enlaces de fibra óptica entre dos SS/EE. Se emplean

equipos OPD, sintonizadores de línea y centrales telefónicas privadas. Para el sistema de fibra óptica, se utilizan nodos digitales SDH, multiplexores de acceso PDH y centrales telefónicas. Adicionalmente para las funciones de teleprotección se emplean terminales de teleprotección digital externo. El sistema de Fibra óptica es a nivel STM-1.

4. Metodología

El proyecto se dividió en cuatro fases. La primera fase se basó en el levantamiento de la información referida a fuentes primarias y secundarias: licitaciones, contratos, bases de datos y material interno de la empresa. La segunda fase consistió en la organización de la información por proyectos y por sistemas de comunicaciones, de forma tal que posteriormente fuera posible la elaboración de un plano de convergencia de todos los sistemas de comunicaciones, que constituye la herramienta principal para la siguiente fase de análisis. Dicha fase comprendió la evaluación de solapamiento de proyectos, exceso o déficit de enlaces y equipos, estudios de fusión y rutas de las red basados en las ventajas y desventajas de cada sistema y finalmente el análisis desde el punto de vista de servicios transmitidos. Adicionalmente se realizaron dos estudios, el primero basado en la disponibilidad y confiabilidad de ciertos enlaces empleando como herramienta el software *MatLab* y el segundo, definido como una evaluación de costos estimados. La última fase se basó en la elaboración de una propuesta basada en los tres análisis realizados así como en los estudios, de forma que se pudiera obtener el mayor aprovechamiento de los recursos empleados sin afectar la calidad del sistema, reduciendo la posibilidad de falla de la red.

5. Resultados

5.1 Estudio de confiabilidad

En este estudio se determina por aproximación el nivel de confiabilidad presente en los sistemas de comunicaciones de OP y fibra óptica, basándose en datos típicos del comportamiento de fallas y tiempos de reparación de componentes y equipos del sistema. Para poder pronosticar el desempeño operacional, se empleó el modelos de redes, en el que se calcula la confiabilidad de cada componente

del sistema y posteriormente la confiabilidad total basados en configuraciones en serie o paralelo (Fernández, Boriani y Cairós, 1996).

La confiabilidad o disponibilidad (D) de un sistema se define como se muestra en la ecuación 1.

$$D = 1 - I.$$

Donde D= disponibilidad; I= Indisponibilidad.

El cálculo de disponibilidad se realiza según la ecuación 2, donde $MTBF_{SIST}$ es el tiempo medio entre fallas del sistema, $MTTR_{SIST}$ es el tiempo medio para repararlos y $M = MTBF_{SIST} + MTTR_{SIST}$.

$$D = \frac{MTBF_{SIST}}{(MTBF_{SIST} + MTTR_{SIST})} = \frac{MTBF_{SIST}}{M}$$

Sustituyendo en la ecuación 1 y posteriormente derivando ambos miembros simplificando los términos e integrando, se obtiene la ecuación 3, que puede ser utilizada como aproximación de la ecuación de confiabilidad para el caso que no se tengan los valores de MTTR (Huerta, 2006).

$$D(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

Donde λ representa la tasa de fallas entre equipos, la cual se puede calcular por medio de la ecuación 4.

$$\lambda = 1/MTBF$$

Para el modelo de redes se establece que la disponibilidad de elementos en serie se multiplica y la disponibilidad total se calculará según la ecuación 5.

$$D_{TOTAL} = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$$

La disponibilidad de dos elementos conectados en paralelo se obtendrá según la ecuación 6.

$$D_{TOTAL} = D_1 + D_2 - D_1 \times D_2$$

Para todos los sistemas se calcula la confiabili-

dad del enlace en un año, por lo que $t = 24 \text{ horas/día} \times 365 \text{ días/año} = 8760 \text{ horas/año}$.

5.1.1 Sistema de Fibra Óptica

El valor de la confiabilidad va a depender de la configuración que presente el sistema. Teóricamente se puede demostrar que este valor aumenta cuando existe redundancia, ya sea de equipos o de rutas alternas. CADAFE instalará dos configuraciones en los proyectos de fibra óptica (Pérez y Soruco, 1995).

Configuración a: instalación de anillos de fibra óptica con redundancia de rutas y equipos (caso de empresa ZTE).

Configuración b: instalación de troncales I y II de fibra óptica sin redundancia (caso de empresa ABB).

En la figura 2 se muestran los esquemas de bloques que representan las dos situaciones mencionadas.

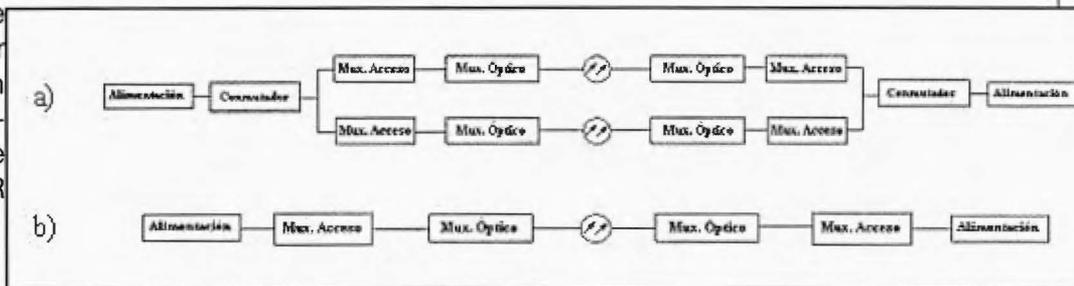


Figura 2.- Esquema de bloques de enlaces de fibra óptica. a) Con redundancia de rutas y equipos. b) Sin redundancia de equipos.

En la tabla 1 se presentan los MTBF de los equipos con sus tasas de fallas y valores de confiabilidad.

Elemento	MTBF (Horas)	Tasa de Fallas (horas ⁻¹)	Confiabilidad
Alimentación	130.000	7,69x10 ⁻⁶	0,93483558
Mux. Acceso	79.365	12,6 x10 ⁻⁶	0,8954972661
Mux. Óptico	303.096	3,299 x10 ⁻⁶	0,9715119263
Fibra óptica	350.400	2,85 x10 ⁻⁶	0,975309912
Conmutador	2.000.000	5x10 ⁻⁷	0,9956295782

Tabla 1.- Valores de MTBF y tasas de fallas de los elementos del sistema de fibra óptica

Al aplicar el modelo de redes en ambas configuraciones a elementos en serie y paralelo, se obtiene un valor de confiabilidad de **80,89%** para la empresa ZTE y **64,71%** para la configuración a instalar por la empresa ABB. Los valores obtenidos demuestran que la configuración empleada por la empresa ZTE aumentará la confiabilidad de los enlaces y la red, ya que empleará como mecanismo de respaldo la conmutación en el otro sentido del anillo en caso de ocurrir una falla.

5.1.2 Sistema de Microondas

El diagrama en bloques para un sistema de microondas se presenta en la figura 3.

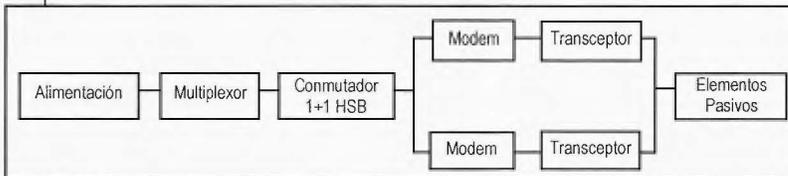


Figura 3. Diagrama de bloques de un sistema de microondas

En la tabla 2 se presentan los MTBF de los equipos con sus tasas de fallas y valores de confiabilidad obtenidos.

Elemento	MTBF (horas)	Tasa de Fallas (horas ⁻¹)	Confiabilidad
Alimentación	130.000	7,69x10 ⁻⁶	0,93483558
Mux. Acceso	60.000	1,67x10 ⁻⁵	0,8641577032
Conmutador	2.000.000	5x10 ⁻⁷	0,9956295782
MODEM	130.000	7,69x10 ⁻⁶	0,93483558
Transceptor	120.000	8,33x10 ⁻⁶	0,92960083
Elementos Pasivos	50.000	2x10 ⁻⁵	0,8392891462
Medio de transmisión (valor exigido por el CCIR)			0,999999

Tabla 2. Valores de MTBF y tasas de fallas de los elementos del sistema de microondas

Aplicando el modelo de redes, según el diagrama mostrado, en el que se tienen elementos en serie y en paralelo, se obtiene un valor de confiabilidad de **44,51%**.

5.1.3 Sistema de Onda Portadora Analógica

Para el estudio de confiabilidad en el sistema OPA, se emplea el diagrama en bloques presentado en la figura 4. No se considera en este diagrama la trampa de onda, ya que ésta funciona como un filtro pasa-bajo impidiendo que las señales de HF pasen hacia la S/E, pero en caso de que fallara, el enlace de comunicaciones seguiría funcionando, por lo que para efectos de este estudio se considerará que ésta no afecta la confiabilidad.



Figura 4. Diagrama de bloques de un sistema de OP

En la tabla 3 se presentan los valores de MTBF para cada elemento del sistema, con sus respectivas tasas de fallas y valores de confiabilidad obtenidos.

Elemento	MTBF (Horas)	Tasa de Fallas (horas ⁻¹)	Confiabilidad
Alimentación	130.000	7,69x10 ⁻⁶	0,93483558
Equipo de OPA	15.304,56	65,34x10 ⁻⁶	0,5641819913
Sintonizador de Línea (SL)	1.000.000	1x10 ⁻⁶	0,991278257
Capacitor de Acoplamiento (CA)	1.000.000	1x10 ⁻⁶	0,991278257
Medio de transmisión	1.000.000	1x10 ⁻⁶	0,991278257

Tabla 3.- Valores de MTBF y tasas de fallas para los elementos del sistema de OPA

Aplicando el modelo de redes y considerando que todos los elementos del sistema, según el diagrama del sistema, se encuentran en serie, se obtiene un valor de confiabilidad de 26,62%.

5.1.4 Calculo de disponibilidad del sistema de Microondas

El cálculo del desvanecimiento plano P_o viene dado por la ecuación 7.

$$P_o = k \cdot d^{3,6} \cdot f^{0,89} \cdot (1 + E_p)^{-1,4}$$

Donde k es el factor climático, calculado según la ecuación 8, E_p es la inclinación en miliradianes, d es la distancia del enlace en kilómetros y f la frecuencia en GHz.

$$k = 5 \times 10^{-7} \cdot P_L \times 10^{-0,1(C_o - C_{lat} - C_{lon})}$$

En esta ecuación C_o , C_{lat} y C_{lon} son los coeficientes de altura, latitud y longitud, respectivamente, y P_L es el porcentaje de tiempo que el gradiente del índice de refracción es menor a 100 N/K.

El cálculo del desvanecimiento selectivo P_s viene dado por la ecuación 9, donde S_{Rx} es el factor de signatura del receptor, η es el factor de actividad multirayecto, τ_m es el retardo medio y τ_o es el retardo típico.

$$P_s = 430 \cdot \eta \cdot S_{Rx} \cdot \frac{\tau_m^2}{\tau_o}$$

El cálculo del factor de actividad multirayecto η y el retardo medio τ_m , se calculan según se indica en las ecuaciones 10 y 11, respectivamente.

$$\eta = 1 - e^{-0,2 \left(\frac{P_o}{100}\right)^{0,75}}$$

$$\tau_m = 0,7 \cdot \left(\frac{d}{50}\right)^{1,3}$$

La probabilidad de ocurrencia de desvanecimiento total P_{tot} se calcula según la ecuación 12.

$$P_{tot} = P_o + P_s$$

El cálculo de disponibilidad considerando un criterio de grado alto para un BER ("Bit Error Rate") de 10^{-6} , se realiza según la ecuación 6.22.

$$C = 100 - P_{tot}$$

El criterio de grado alto exigido por la UIT se presenta en la ecuación 13. El valor de confiabilidad obtenido según la ecuación anterior debe ser superior al valor de grado alto de la UIT.

$$C \geq 100 - \left(\frac{d}{2500}\right) \cdot 0,4$$

En la tabla 4 se presentan los valores de disponibilidad obtenidos para cada enlace.

Enlace	Disponibilidad exigida por la UIT (Grado Alto)	Disponibilidad obtenida
Mariposa - Cerro CADAPE	99.99969120000000	99.99999999999693
Cerro CADAPE - Cerro Boquerón	99.99900160000000	99.99999926237510
Cerro Boquerón - Santa Teresa	99.99535360000000	99.9999393525251
Cerro Boquerón - Cerro Platillón	99.98620960000000	99.92811334352433
Cerro Platillón - Cerro Café	99.98795360000000	99.99133962356059
Cerro Café - Valencia	99.99766400000000	99.9999922284674
Cerro Café - Arenosa	99.99596960000000	99.9999439905758
Cerro Café - Horqueta	99.98985600000000	99.99608698375755
Cerro Café - Cerro El Silencio	99.98834880000000	99.99444833249234
Cerro El Silencio - Planta Centro	99.99266560000000	99.99949760498774
Cerro Platillón - Filial Elecentro	99.99315360000000	99.99996681624285
Cerro Café - Filial Eleoccidente	99.99873760000000	99.9999995967892

Tabla 4.- Valores de disponibilidad obtenidos para los enlaces de microondas a instalar

5.2 Estudio de Costos

El estimado de costos fue realizado para los enlaces mostrados en la figura 5, correspondientes al núcleo de la red híbrida a instalarse, conformada por los tres sistemas de fibra óptica, microondas y OPD.

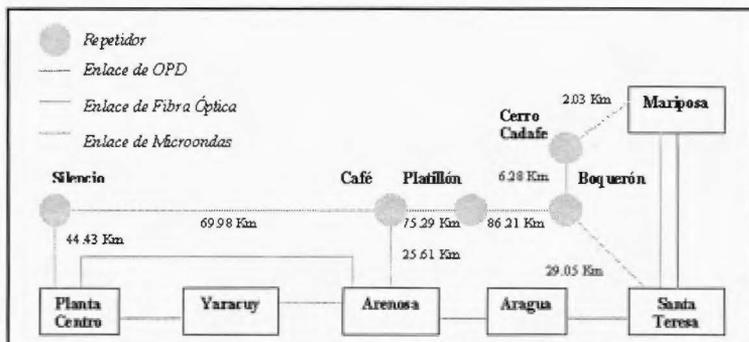


Figura 5. Conexión entre las SS/EE centrales de la red de comunicaciones

5.2.1 Sistema de Onda Portadora Digital

Para este sistema, la inversión realizada es en equipos y por lo tanto será estándar para cualquier enlace de OPD. No se consideró para este estimado los costos de cableado, ingeniería de detalle y puesta en servicio. Los equipos tomados en cuenta para el estudio se muestran en la tabla 5 con sus respectivos costos.

Equipo	Costo (US\$)
Onda Portadora Digital	28.000
Sintonizador de Línea	3.000
NetPerformer	7.500
Armario para equipos	2.500

Tabla 5. Costo de los equipos para enlaces de OPD

En la red que se implementará se observan dos casos en relación a los *NetPerformer* (NP). El primero es el caso de la empresa PLC que emplea un NP por cada OPD y el segundo es el caso de la empresa ELEC NOR que emplea un NP por n OPD, siendo n la cantidad de equipos OPD presentes en la S/E. Para este análisis se tomó en cuenta que los NP tienen hasta 4 salidas V.35. De las seis SS/EE a las que se les aplicó este estudio, se consideró el caso de la S/E *Arenosa*, ya que en la misma se instalarán mayor cantidad de equipos de OPD (siete equipos en total). En la tabla 6 se presentan los resultados obtenidos para los casos y su respectiva desviación porcentual.

	Costo Total (7 enlaces desde Arenosa)	Δ	Δ %
Caso A	287000	37500	13,06
Caso B	249500	0	0

Tabla 6. Tabla comparativa entre casos

5.2.2 Sistema de Microondas

En la tabla 7 se establece que para los equipos terminales SDH, los costos incluyen las tarjetas, antenas, equipos de transferencia de disparo y guías de onda a emplear; en el caso de las torres se incluye en el costo mostrado el suministro, transporte e instalación de las mismas. En los puntos repetidores sólo se considerarán los terminales SDH, ya que este punto funciona como tránsito y no es necesario insertar o extraer la información de servicios.

Equipo	Costo (US\$)
Equipo SDH	22.000
Multiplexor de Acceso	46.000
Cableado	3.000
Torre triangular 50 mts.	100.000
Torre triangular 30 mts.	40.000
Torre Triangular 15 mts.	10.000
Armario para equipos	2.500

Tabla 7. Costo de los Equipos para Enlaces de Microondas

En la tabla 8 se presentan los costos totales obtenidos para cada enlace.

Enlace	Costo Total (\$)
Planta Centro – Arenosa	490.000
Arenosa – Santa Teresa	751.000
Santa Teresa - Mariposa	411.000

Tabla 8. Costos totales obtenidos para cada enlace de microondas

5.2.3 Sistema de Fibra Óptica

Del total de enlaces a los que se les aplicó este estudio, se implementarán con fibra óptica. Los multiplexores ópticos empleados en los mismos cubren hasta 90 Km de distancia. Los equipos y el cable que se consideraron se muestran en la tabla 9 con sus respectivos costos. No se consideraron en este estudio los costos de instalación.

Equipo	Costo (US\$)
Mux STM-4	78.500
Multiplexor de Acceso	27.500
Eq. Transferencia de Disparo	14.000
Amplificador Óptico	42.000
Cable OPGW	2.600 / Km
Armario para equipos	2.500

Tabla 9. Costos de equipos del sistema de fibra óptica

En la tabla 10 se presentan los costos totales obtenidos para cada enlace.

Enlace	Costo Total (\$)
Planta Centro – Arenosa (63 Km)	291.300
Arenosa – Yaracuy (160 Km)	630.000
Santa Teresa – Mariposa (41 Km)	288.100

Tabla 10. Costos totales obtenidos para cada enlace de fibra óptica

5.3 Análisis de Solapamiento

La tabla 11 muestra las SS/EE que presentaron coincidencia o solapamiento de proyectos en el estudio realizado.

Caso	S/E	Equipos existentes	Equipos a instalar	Contratista	Otros Proyectos en la S/E
A	La Mariposa	2x OPD-1	3x OPD + 3x NP (1x V3.5)	PLC	Fibra Óptica
			2x OPD + 1x NP (2x V3.5)	ELECNOR	Micro ondas
B	Santa Teresa	4x OPD-1	6x OPD + 6x NP (1x V3.5)	PLC	Fibra Óptica
			4x OPD + 1x OPA + 1x NP (5x V3.5)	ELECNOR	Micro ondas
C	Planta Centro	N/A	1x MUX STM-1 + 1x MUX Acceso	ELECNOR	Micro ondas
			1x MUX STM-4 + 1x MUX Acceso	ABB	OPD
D	S/E pertenecientes al proyecto Banda Ancha				

Tabla 11. Casos de SS/EE con solapamiento de proyectos

Para los casos A y B de la tabla 11 se tienen dos contratistas instalando el mismo sistema de comunicación en la misma S/E. Evaluando los enlaces entre *La Mariposa* y *Santa Teresa*, se tiene que hay dos enlaces existentes con equipos OPD-1; adicional a esto, la empresa PLC instalará tres nuevos enlaces entre estas SS/EE y posteriormente la empresa ELECNOR agregará otros dos enlaces; se tendrán entonces siete enlaces de OPD entre estas SS/EE. Tomando en cuenta que entre las mismas además de fibra óptica (STM-4) también se instalará microondas (STM-1), se tendrá triple redundancia de sistemas de comunicación. En lo que a confiabilidad se refiere, se consideraría la fibra óptica como sistema principal, los radioenlaces como respaldo y el sistema de OPD como segundo respaldo.

Para el caso C, la empresa ELECNOR instalará equipos ópticos que operarán a nivel STM-1 adicionales a los que instalará la empresa ABB a nivel STM-4 en la segunda troncal de su red de fibra óptica. La idea de instalar el multiplexor STM-1 es continuar el enlace *Yaracal – Tucacas – Morón* de fibra óptica, pero lo óptimo sería emplear los equipos que instalará ABB para hacer una conexión de ese enlace en *Planta Centro* con la red de ABB.

El caso D se refiere a todas las SS/EE que pertenecen al proyecto de Banda Ancha y que forman parte del anillo principal y del ramal secundario. Para varios de estos casos se está considerando la instalación de equipos a nivel STM-1 y STM-4 en SS/EE que incluirán equipos a nivel STM-16 y STM-64; se debe considerar que cuando esté implementada la red de banda ancha se tendrá ampliada la red de comunicaciones, aumentando la transmisión de

la información y proporcionando redundancia de equipos en ciertas SS/EE.

También se evaluó en este estudio el déficit en SS/EE que no ha sido considerado en ningún proyecto y que aunque, en gran parte, son estaciones terminales y no de tránsito entre SS/EE, no dejan de ser menos importantes. En los casos analizados se encontró que alrededor de 27 SS/

EE serán consideradas solamente por el proyecto de Banda Ancha según el anillo principal; el resto de ellas (aproximadamente 25 SS/EE) no han sido consideradas en ningún proyecto, siendo el único sistema con el que se comunican actualmente el de OPA.

5.4 Análisis de Fusión de los Sistemas de Comunicaciones

A continuación se realiza un análisis cualitativo de las ventajas y desventajas que presenta cada sistema de comunicación, con la finalidad de evaluar la forma en la que se han dispuesto los sistemas principales y de respaldo entre las diferentes SS/EE.

5.4.1 Sistema de Onda Portadora

Debido a que el medio empleado para este tipo de sistema es la línea de transmisión eléctrica de alta tensión, éstas están diseñadas para resistir movimientos sísmicos, daños producidos por el hombre, vandalismo, etc. Otra ventaja importante es que se pueden implementar enlaces en trayectos de gran longitud (cientos de kilómetros) que ya están cubiertos por la línea de transmisión eléctrica, siendo únicamente necesario instalar los componentes y equipos en las SS/EE origen y destino. Sin embargo, en relación a este último aspecto, a pesar de que pueden cubrir grandes distancias, hay factores que intervienen limitando la longitud del enlace, entre estos el ruido producido por las altas tensiones, en especial el ocasionado por el efecto corona. En relación a la capacidad, los equipos de OPD, los cuales pueden alcanzar mayores velocidades que los analógicos, en la mayoría de los casos no es posible obtener de los mismos los valores establecidos

óptica acoplados con tramos en los que el sistema principal es el de OPD; tales como: *Güigüe - Flor Amarillo* y *Villa de Cura II - Corinsa - Aragua*. En estos casos la capacidad de la fibra de 155 Mbps está siendo desperdiciada al entrar en un tramo no mayor a 64 Kbps.

Existen en la red dos enlaces de OPA que complementan tramos en los que ya existen sistemas principales y de respaldo; éstos son los casos de los enlaces *Santa Teresa - Río Chico II - Barbacoa*. La capacidad de estos enlaces es notablemente más baja a la del sistema principal y el de respaldo que se encuentran trabajando a 622 Mbps y 64 Kbps, respectivamente.

La instalación de la red de microondas observada en el núcleo de la red, se encuentra en redundancia con el sistema de fibra óptica que se implementará, por lo que estaría funcionando como sistema de respaldo en la mayoría de los enlaces, ya que hay que considerar que la red de microondas trabajará a nivel STM-1 y la red de fibra óptica a nivel STM-4. Según el estimado de costos realizado en la sección 5.2, en los enlaces correspondientes a las SS/EE principales de la red, los enlaces de microondas constituyen un costo significativamente mayor que los enlaces de fibra óptica por la cantidad de repetidores que se emplean y, además, porque tratándose de trayectos tan largos, es necesario emplear diversidad de frecuencia.

En cuanto a la topología general de la red, la mayoría de los enlaces, incluso la red de microondas que funcionaría de respaldo para una parte de los enlaces de fibra óptica, está configurada punto a punto, lo que implica que en caso de falla en algún repetidor, el tramo quedaría aislado y no se efectuaría la comunicación.

5.4.5 Análisis de Servicios

Los medios de comunicación permiten el envío de las señales de protección según lo siguiente:

- Radioenlaces digitales punto a punto (típicamente información de protecciones intercambiada a 64 Kbps).
- Transmisión digital por fibra óptica (por lo general intercambiando a 64 Kbps).
- Onda portadora sobre la línea de alta tensión: analógicas (hasta 9600 Bd) y digitales (hasta 64 Kbps).

A continuación se realiza una comparación entre las ventajas que presentan los diversos sistemas de comunicaciones que se están implementando actualmente en CADAPE basados en las necesidades para cada tipo de servicio.

5.4.5.1 Sistema de Onda Portadora

Actualmente el sistema de protecciones es analógico y se encuentra funcionando, en su mayoría, sobre un medio de comunicaciones también analógico que posee baja capacidad y que por lo tanto debe ser configurado de forma tal que los diferentes servicios convivan en el mismo sistema, superponiéndose. Para estos efectos, debido a que se cuenta con un canal de 4 KHz, en la banda de telefonía se emplea la mitad del ancho de banda y se superpone con las señales de teleprotección (disparos). El resto del canal se emplea para la transmisión de datos, que por las condiciones que el mismo presenta, no supera los 2400 Bd con el canal compartido, permitiendo alcanzar sólo los 9600 Bd utilizando canales extendidos y sólo dedicados para este tipo de servicios; aunque también se debe considerar que el aumento de la velocidad traerá ligado un mayor valor de ruido. Sin embargo, considerando que el envío de teleprotecciones a través de los enlaces constituye uno de los servicios más importante para la empresa, no se le puede dedicar canales exclusivos a ninguno de los otros dos servicios, ya que en caso de emergencia se les da prioridad a las teleprotecciones y se envían únicamente éstas por la línea de transmisión, interrumpiendo los demás servicios.

Para el envío de las teleprotecciones por medio del sistema de OPA, no es posible abastecer un gran número de canales, dada la limitación física que impone el espectro de RF. En los vínculos de comunicaciones digitales se dispondrá de canales PCM a 64 Kbps o normalizados en 56Kbps.

Para el caso de protecciones diferenciales, el contenido de información es mayor que cuando solamente se transmiten disparos, por lo cual la calidad del canal de comunicaciones debe asegurar valores de relación señal a ruido (S/N) de 20 dB en condiciones adversas o $BER=10^{-7}$ (tasas de error, *Bit Error Rate*), según sea el caso, canales analógicos o canales digitales. En las protecciones por órdenes, el contenido de información es menor que para las protecciones diferenciales, por lo cual la calidad

del canal de comunicaciones debe asegurar valores de $S/N=15$ dB o $BER=10^{-6}$ de forma análoga al caso anterior. En los enlaces de comunicaciones por OPA se utiliza sólo una parte del mismo para transmitir los disparos, por lo cual el valor de ruido en el canal disminuye y pueden obtenerse mejores valores de S/N . Como consecuencia, la velocidad de transmisión será menor que para las protecciones diferenciales (*Guía de diseño y normas del sistema de Teleprotección*, s.f.).

Para el caso de los disparos directos remotos es vital la confiabilidad, ya que desconexiones erróneas causarían indisponibilidades importantes en el sistema de transmisión, además que, si no se realiza una transmisión inmediata pueden ocasionarse serios daños al sistema. Las teleprotecciones enviadas por el sistema de OPA e incluso para el OPD, pueden ser perturbadas por el ruido de la línea, distorsionando la información recibida en el receptor que puede provocar errores, retardando la llegada de una orden, impidiendo un comando o confundiendo, entre otros.

Cuando se tienen equipos de OPD que permiten una capacidad de transmisión para los servicios de 64 Kbps, ya que se tiene una capacidad útil de 79 Kbps de los cuales se emplean 15 Kbps para señalización (*DIMAT, 2004*), hay que tomar en cuenta que estos resultados se obtienen en función de la relación S/N , que se ve seriamente afectada por el alto ruido de la línea de alta tensión ocasionado, entre otros factores, por el efecto corona que se genera en las descargas parciales existentes en los elementos constitutivos de la línea y se encuentra presente dentro del espectro del RF de OP en forma inversamente proporcional a la frecuencia a transmitir. En ambientes altamente ruidosos es posible que la capacidad útil del equipo deba reducirse a la mitad o a un tercio del valor máximo, es decir, a 39,5 Kbit/s y a 26,3 Kbit/s, respectivamente; esto con el fin de poder establecer la comunicación en condiciones de reflexiones de la señal y de ruido de línea muy desfavorables, como es el caso de las líneas de alta tensión. El ruido impulsivo también puede afectar seriamente la transmisión de información utilizando el sistema de OP. Este tipo de ruido, a pesar de que no está presente constantemente en la línea, se produce cuando se accionan equipos eléctricos, disparos remotos, etc; lo que lo hace particularmente importante a considerar en la

implementación de estos sistemas, ya que el mismo debe coexistir con el envío de señales de teleprotección. Otro factor importante a considerar es el hecho de que los equipos de OPD a instalar utilizan modulación QAM, que no es recomendable para el envío de teleprotecciones digitales por el retardo que introducen (*Guía de diseño y normas del sistema de comunicaciones por onda portadora*, s.f.).

5.4.5.2 Sistemas de Microondas

Para este caso se tienen grandes ventajas en comparación a los sistemas de OP, comenzando por el hecho de que permiten mayor capacidad ya que se encuentran operando a nivel STM-1, es decir, a 155 Mbps. En este sentido, para el caso de las teleprotecciones la vinculación es a través de un equipo de teleprotección digital, por medio de una interfaz G.703 a velocidad de 64 Kbps (nivel PDH) que es insertada en el multiplexor de acceso. Este último se conecta al nodo SDH por medio de interfaz E1 y se transmite por el enlace de microondas a nivel STM-1. En este caso, la velocidad no se reducirá por problemas de ruido en la línea de alta tensión como ocurre en los equipos de OP, ya que el enlace utiliza como medio de transmisión el aire.

Ya que se dispone de mayor ancho de banda, es posible el envío de telefonía y datos a mayor velocidad sin interrupciones del sistema en el momento en el que se transmitan los disparos y sin emplear equipos adicionales que permitan un mejor aprovechamiento del ancho de banda como sucede en el caso anterior.

5.4.5.3 Sistema de Comunicaciones por Fibra óptica

La utilización del sistema de fibra óptica para la transmisión de señales de teleprotección resulta muy conveniente debido a la alta velocidad del medio y a la alta inmunidad a interferencias electromagnéticas. Para este tipo de sistemas se está considerando la transmisión de información a nivel STM-4 (622 Mbps), lo que implica suficiente capacidad para transmitir voz y datos sin necesidad de emplear equipos adicionales que mejoren el ancho de banda, el uso de canales exclusivos para el envío de teleprotecciones de forma completamente independiente al resto de los servicios y la posibilidad, incluso, de emplear en el futuro videoconferencia.

La vinculación de los equipos de teleprotecciones se realiza a través de interfaz G.703, en velocidades 64 Kbps (o equivalente); o por medio de tarjetas incluidas en el multiplexor que luego accederán al enlace a nivel STM-4.

Para este tipo de sistema de comunicaciones no se tiene el problema de asignación de frecuencias y utilización del espectro y tampoco se tienen atenuaciones por condiciones atmosféricas. Todos los puntos mencionados proporcionan a la transmisión de los diferentes servicios mayor confiabilidad.

5.4.6 Propuesta

Tomando en consideración las configuraciones de los sistemas de OPD evaluadas en los análisis anteriores, en las que se observó la diferencia notable en la cantidad de **NetPerformer** a ser instalados por las empresas PLC y ELECNOR, se propone el empleo de dos o hasta tres **NetPerformer** en cada una de las SS/EE que posean gran cantidad de enlaces OPD o en aquellas en las que este sistema funcione como sistema principal para elevar la confiabilidad.

Para el caso del enlace *Mariposa – Santa Teresa*, presentado en el análisis de solapamiento en el que se implementarán siete enlaces de OPD adicionales a los sistemas de microondas y fibra óptica que también se instalarán, se considera que es posible realizar un mejor aprovechamiento de los recursos reubicando los equipos que se instalarán en la ampliación de los últimos dos enlaces. Se propone la reubicación de estos dos enlaces hacia los definidos entre *La Mariposa – Tejerías* y *Tejerías – Soco*, que actualmente se encuentran operando con equipos de OPA, para que estas dos últimas SS/EE pasen a formar parte de la nueva red en la que convergerán los nuevos sistemas de comunicaciones proporcionando mayor confiabilidad. Igualmente, para el caso de la instalación de equipos ópticos a nivel STM-1 en la S/E *Planta Centro* adicionales a los equipos STM-4 que se tienen previstos, se plantea ubicar los multiplexores de la empresa ELECNOR en la S/E *San Juan*; de esta manera se tendría la posibilidad de conectar el tramo *Arenosa – Horqueta – Calabozo – Sombrero II* por medio de esta S/E al tramo *Villa de Cura II – Corinsa – Aragua*, aumentando la confiabilidad de los enlaces *Villa de Cura II – San Juan* y *San Juan – Sombrero II*, en los que sólo se instalará OPD y OPA, respectivamente.

Para lograr establecer comunicación por medio del sistema de fibra óptica entre las SS/EE *Sombrero II – San Juan – Villa de Cura II*, es necesario la construcción de enlaces de fibra óptica entre *San Juan – Villa de Cura II* (17 Km) y *Sombrero II – San Juan* (72 Km), que implicarán una inversión aproximada de 44.200\$ para el primer enlace y de 187.200\$ para el segundo, según los costos estimados que se han considerado. Adicional a esto, es posible conectar este enlace de fibra óptica al enlace de la primera troncal, ya que actualmente el enlace de fibra óptica *Horqueta – Calabozo* se encuentra en funcionamiento. Con estas conexiones se lograría establecer el enlace punto a punto *Aragua – Corinsa – Villa de Cura II – San Juan – Sombrero II – Calabozo – Horqueta – Arenosa*.

Con la propuesta aquí expuesta, se obtendrá un enlace entre las SS/EE implicadas de mayor capacidad. Sin embargo, ya que la mayoría de los enlaces conformados en la red que se ha fusionado son punto a punto y sin redundancia, la confiabilidad del sistema se puede ver afectada en caso de que alguno de los enlaces intermedios falle lo que se puede solucionar diseñando mecanismos de respaldo. Para evitar inversiones mayores en sistemas independientes como el de microondas, se propone cerrar anillos con los enlaces de fibra óptica que se instalarán para tener redundancia de rutas, enviando la información en los dos sentidos del anillo. Considerando esto, se propone la instalación de cable OPGW en los siguientes enlaces: *Arenosa – Aragua* (81 Km), *Aragua – Santa Teresa* (100 Km) y *Planta Centro – Yaracuy* (152 Km); aprovechando que las SS/EE involucradas ya cuentan con equipos terminales instalados porque pertenecen a otros enlaces hacia otras SS/EE, por lo que sólo sería necesario invertir en la compra e instalación del cable que se estima estaría en el orden de 210.600\$, 260.000\$ y 395.000\$, para el primero, segundo y tercer enlace, respectivamente. Con estos tres enlaces y la propuesta realizada en el párrafo anterior, se estarían cerrando tres anillos que mejorarán la confiabilidad de la red sin tener que implantar otros sistemas. En la figura 7 se muestra cómo quedaría la ubicación de los tres anillos mencionados.

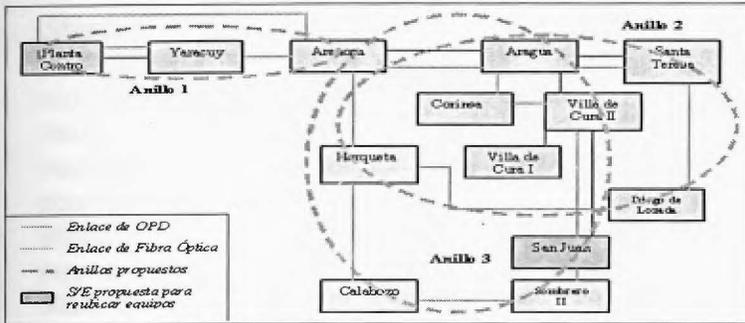


Figura 7. Propuesta de creación de anillos de fibra óptica con reubicación de equipos y construcción de enlaces de fibra óptica

- Anillo 1:** Arenosa – Yaracuy – Planta Centro – Arenosa
- Anillo 2:** Santa Teresa – Aragua – Arenosa – Horqueta – Diego de Lozada – Santa Teresa
- Anillo 3:** Arenosa – Horqueta – Calabozo – Sombrero II – San Juan – Villa de Cura II – Corinsa – Aragua – Arenosa

Según el análisis realizado en la sección 5.4.4, la implementación de la red de microondas tal como está prevista estaría funcionando como sistema de respaldo para los enlaces de fibra óptica que se implementarán en la misma zona. Con la propuesta de diseño de un mecanismo de respaldo basado en anillos que proporcione mayor confiabilidad al sistema en caso de que falle algún enlace, sería posible realizar la reubicación de los equipos de microondas.

Tomando en cuenta los análisis y propuestas desarrollados, se ha considerado la opción de mantener el enlace de microondas *Santa Teresa - Arenosa*, ya que es el que se considera realmente necesario debido a que no hay enlace directo entre dichas SS/EE, siendo la ruta opcional: *Arenosa – Aragua – Santa Teresa*, cuyo sistema principal es el de OPD, en caso de que no se implementara la propuesta desarrollada con respecto a este enlace. Sin embargo, debido a que se han realizado dos recomendaciones con respecto a este enlace, es conveniente realizar una comparación entre las mismas. Para el caso del enlace de fibra óptica propuesto, sería necesario invertir sólo en la instalación del cable OPGW entre los enlaces *Arenosa - Aragua* y *Aragua – Santa Teresa*, que como se mencionó, implicaría un costo aproximado de 471.000\$ entre los dos enlaces, ya que se tienen los equipos terminales en las SS/EE. Para el caso del enlace de microondas, es necesario invertir en tres repetidores por la topografía

del terreno, debido a que existen obstáculos que no permiten tener línea de vista directa, y emplear diversidad de frecuencia en los enlaces de largas distancias; obteniendo como resultado un valor de la inversión del enlace aproximado a 751.000\$. Cabe destacar que independientemente de la elección tomada entre las dos propuestas anteriores, es posible cerrar el anillo 3 mostrado en la figura 6.

Con base en las consideraciones y evaluación realizada, se propone una nueva red de microondas que mantiene el enlace entre *Santa Teresa – Arenosa* y además incluye el enlace *Arenosa – San Diego – Guacara I – Carabobo – Flor Amarillo – Pedro Camejo*, cuyos perfiles topográficos y relativa cercanía geográfica al enlace *Santa Teresa – Arenosa*, permitirán la reubicación de la red y la posibilidad de mantener este último enlace vía microondas, en caso de elegir esa propuesta. En la figura 7 se muestra la red diseñada.



- ST: Santa Teresa
- CB: Cerro Boqueron
- CP: Cerro Platillón
- CC: Cerro Café
- A: Arenosa
- SD: San Diego
- GI: Guacara I
- C: Carabobo
- FA: Flor Amarillo
- PC: Pedro Camejo

Figura 8. - Enlace de microondas propuesto: Santa Teresa – Cerro Boqueron – Cerro Platillón – Cerro Café – Arenosa – San Diego – Guacara I – Carabobo – Flor Amarillo – Pedro Camejo

La nueva red fue propuesta debido a que los enlaces definidos entre las SS/EE *Arenosa – Carabobo* sólo cuentan con el sistema de OPD como sistema de comunicación principal y porque no existe comunicación directa entre las SS/EE *Flor Amarillo – Pedro Camejo*; además, implementando este enlace se crearía un anillo adicional a los tres propuestos anteriormente, como se muestra en la figura 8. Aunado a esto, la creación de este enlace de microondas permitirá que el enlace de fibra óptica *Güigüe – Flor Amarillo* se comuniquen a un nivel más alto de capacidad.

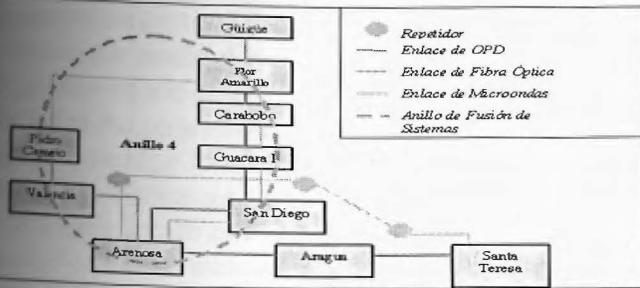


Figura 9. Creación de topología en anillo con red de microondas propuesta

Anillo 4: Arenosa – San Diego – Guacara I – Carabobo – Flor Amarillo – Pedro Camejo – Valencia – Arenosa

6. Conclusiones y Recomendaciones

El uso de las líneas de alta tensión como medio de señales de control posee diversas ventajas en comparación a las demás vías de comunicación existentes, debido a que permiten brindar servicio de electricidad en aquellas poblaciones relativamente alejadas; que para el caso en que se implementara fibra óptica en la totalidad del tendido eléctrico de CADAPE, sería posible ofrecer otros servicios tales como: telefonía, televisión por IP, banda ancha, etc.

La configuración punto a punto en todos los enlaces que se implementarán resulta la menos indicada para la red, ya que obliga a realizar una mayor inversión en sistemas que funcionen como mecanismo de respaldo. Una topología en anillo permitiría aumentar la confiabilidad de dicha Red ya que se haría posible el enrutamiento de la información en caso de falla de algún enlace. Este mecanismo de respaldo permitiría además reducir los costos, ya que sólo sería necesaria la inversión en enlaces que cerrarían los anillos.

Se encontraron fallas en la planificación de algunos proyectos, puesto que no se lleva un estricto orden y seguimiento de las mismas para la puesta a punto e implementación del proyecto a ser desarrollado.

7. Referencias bibliográficas

- DIMAT (2004). *Sistema de onda portadora digital tipo OPD-1*. Barcelona, España.
- Fernandez, M., Boriani, D. y Cairós, E. (1996)

Evaluación de Confiabilidad aplicada a Sistemas de Comunicaciones. Unidad Técnica Eléctrica. Centro de Ingeniería Eléctrica y Sistemas.

- Gómez, E. (2004). *Sistemas de Comunicaciones con fibra óptica*. Fuente: <http://www.fibernet.es/pdf/mono11.pdf>
- Huerta, R (2006). *Proceso De Análisis Integral de Disponibilidad y Confiabilidad como Soporte para el Mejoramiento Continuo de las Empresas*. Noria. Monterrey, N.L. México. Fuente: <http://www.noria.com/sp/rwla/conferencias/mem/Paper%20Rosendo.pdf#search=%22calculo%20de%20confiabilidad%20mtbf%22>
- López Da Silva, J. C. (1994) *Estudio, análisis de carga y reconfiguración del sistema de comunicaciones del despacho de carga central basado en onda portadora para la transmisión de datos al sistema de supervisión y control de CADAPE*. Tesis de Grado. Caracas, Venezuela.
- Pérez, B. & Soruco, Z. (1995) *Análisis del sistema de comunicaciones asociado al sistema de potencia de la C.A. La Electricidad de Caracas*. Trabajo de Pasantía. Caracas, Venezuela.
- Guía de diseño y normas del sistema de comunicaciones por onda portadora*. Sistema de Transporte de energía eléctrica en alta tensión. Guía de diseño y normas del sistema de comunicaciones por onda portadora. Transener S.A.(sf). Fuente: [http://www.enre.gov.ar/web/bibliotdNSF/0/a77173f939815d aa03256cc400584ead/\\$FILE/Anexo%20VIII.pdf#search=%22Gu%C3%ADa%20de%20Dise%C3%B1o%20de%20Sistemas%20de%20Comunicaci%C3%B3n%20por%20Onda%20Portadora%22](http://www.enre.gov.ar/web/bibliotdNSF/0/a77173f939815d aa03256cc400584ead/$FILE/Anexo%20VIII.pdf#search=%22Gu%C3%ADa%20de%20Dise%C3%B1o%20de%20Sistemas%20de%20Comunicaci%C3%B3n%20por%20Onda%20Portadora%22)
- Guía de diseño y normas del sistema de Teleprotección*. Sistema de Transporte de energía eléctrica en alta tensión. Transener S.A. (s.f.). Fuente: [http://www.enre.gov.ar/web/BIBLIOT D.NSF/e816834a9a1f3df70325669d005ba ad3/a77173f939815daa03256cc400584ead/\\$FILE/Anexo%20VI.pdf#search=%22costo%20%20onda%20portadora%20anal%C3%B3gica%22](http://www.enre.gov.ar/web/BIBLIOT D.NSF/e816834a9a1f3df70325669d005ba ad3/a77173f939815daa03256cc400584ead/$FILE/Anexo%20VI.pdf#search=%22costo%20%20onda%20portadora%20anal%C3%B3gica%22)