

FACTIBILIDAD PARA QUE ANDINATEL ACCEDA AL PROYECTO OXIGENO

Ing. Erika González Andrade
Ing. Laura Bonilla Rodríguez
Ing. Tarquino Sánchez Almeida

Resumen:

Este trabajo se fundamenta en el acceso de Andinatel al Proyecto Oxígeno, que es una red de fibra óptica submarina y terrestre, la cual conecta 99 puntos en 78 países del mundo. La instalación del cable se programa para comenzar en 1999 y será terminada aproximadamente en el 2003. Ecuador forma parte de este proyecto y tiene un nodo terminal en Esmeraldas con una capacidad adquirida de 1.25 Gbit/s. Para cumplir con este objetivo se debe diseñar un enlace Quito Esmeraldas de alta capacidad con fibra óptica, siguiendo la ruta de carreteras o por el Sistema Nacional Interconectado, y también la estación terminal en Las Palmas. Se considera además, un análisis económico de las diversas alternativas que existen para realizar el diseño y una comparación económica entre las mismas. Finalmente se analiza la rentabilidad del proyecto.

Palabras Claves: Oxígeno, fibra óptica, alta capacidad.

Abstract:

FEASIBILITY FOR ANDINATEL TO ACCEDE TO PROJECT OXYGEN

This work is founded in the access of Andinatel to the project Oxygen, this is a global optical fiber undersea and land cable system, with 78 countries in 99 landings around the world. The installation of the cable is beginning in 1999 and it will finish in 2003. Ecuador is included in this network, so it has the manhole in Esmeraldas, with an amount capacity of 1.25 Gbit/s. In order to be in this project, we must design a high capacity link from Quito to Esmeraldas, follow the road or the Interconnected National System, and the terminal station. It considers an economical comparative analysis of the options to make this link. Finally it analyzes the project profitability.

TARQUINO SANCHEZ: tsanchez@fic200.cpn.edu.ec
ERIKA GONZALEZ: et_fredo@yahoo.com

1. INTRODUCCION:

El nuevo proyecto Oxígeno es un proyecto global que permite al Ecuador ingresar al mundo moderno de las telecomunicaciones sin ninguna restricción con una capacidad suficiente para cubrir las necesidades de tráfico durante la vida útil del proyecto, 25 años, con este sistema se puede transmitir la mayoría de servicios de telecomunicaciones existentes en la actualidad, como son voz, correo electrónico, Internet, vídeo sobre pedido, vídeo conferencias, televisión personalizada, y sistemas de telecomunicaciones personales.

El presente trabajo es un estudio que permite integrar la red digital existente de Andinatel, y por ende la red del Ecuador, al proyecto Oxígeno mediante la utilización de un enlace que utiliza sistemas de fibra óptica, las tecnologías de multiplexación, conmutación y transmisión de circuitos más actualizadas como son la SDH y ATM.

2. DESCRIPCION DEL PROYECTO OXIGENO:

El objetivo fundamental es crear una nueva red única integrada para el futuro y para todos los tipos de transferencia de información que reemplace a todo el sistema telefónico y a todas las redes especializadas. Este nuevo proyecto tiene una velocidad de transmisión muy elevada en comparación con otros servicios y redes ya existentes y hace posible ofrecer una gran variedad de nuevos servicios. Una de las características más relevantes de este proyecto es que se planifica desde un inicio como una red y no como puntos independientes que se van uniendo entre sí.

Esta red mundial tiene una capacidad de 1280 Gbit/s sobre cada segmento, esto representa mayor ancho de banda disponible en todas las aplicaciones. La capacidad de 1.28 Tbit/s significa que cualquier

segmento de cable de la red será capaz de llevar aproximadamente 688000 circuitos T1 o 516000 circuitos E1.

La red del Proyecto Oxígeno está basada en la técnica ATM (Asynchronous Transfer Mode). En cuyo caso el transporte del tráfico se lo realizará en forma transparente y con cualquier protocolo digital normalizado por la UIT. La tecnología ATM hace posible que se establezca una red digital de servicios integrados de banda ancha (B - ISDN Broadband Integrated Services Digital). Esta tecnología se caracteriza por no estar atada a ningún reloj maestro por ello no es sincrónica como lo son la mayor parte de las líneas telefónicas de larga distancia.

Los clientes pueden comprar capacidad de acceso al Proyecto Oxígeno divididos en cuatro niveles, como se indica a continuación:

CIRCUITOS ENTEROS ^a	CIRCUITOS [# STM-1] ^b	CAPACIDAD [Gbit/s] ^c	COSTO POR CADA CIRCUITO COMPRADO ^d	COSTO ^{e = d * a}
320	640	100	US \$ 0.63 M ¹	US \$ 200 M
96	192	30	US \$ 1.04 M	US \$ 100 M
32	64	10	US \$ 1.56 M	US \$ 50 M
4	8	1.24	US \$ 2.50 M	US \$ 10 M

Cuadro 1
Costos del Proyecto Oxígeno

¹M: millones de dólares.

La capacidad de acceso es el equivalente de medio circuito utilizado, a fin de tener un circuito lleno a cualquier destino el cliente y el destinatario deben tener la misma cantidad de capacidad de acceso entre los puntos de interconexión.

Los usuarios de esta red comprarán acceso y capacidad de la misma, permitiéndose utilizar los recursos entre cualquiera de los puntos que la constituyen, cambiando la dirección y el volumen de su tráfico como ellos desean. Se puede, por lo tanto, revender, ubicarse o reubicarse en muchas de las localidades y rutas sin restricción alguna.

3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA EL ENLACE QUITO - ESMERALDAS:

Se propone varias alternativas de una manera general y posteriormente se hace un análisis para determinar la mejor opción, considerando las características propias del Proyecto Oxígeno.

3.1 Alternativas del medio de transmisión

Debido a la gran capacidad que se requiere para este proyecto las alternativas de diseño a analizarse son: enlace por microondas, enlace satelital y enlace por fibra óptica.

3.1.1. Microondas:

La transmisión por radioenlaces es una alternativa equiparable a la transmisión por cable. Con los radioenlaces pueden cubrirse, en forma ventajosa, terrenos muy desfavorables para los cables como son las zonas montañosas, teniendo mayor fiabilidad al realizar un enlace.

3.1.2. Transmisión satelital:

Las comunicaciones vía satélite representan una forma específica de los radioenlaces. El tráfico de telecomunicaciones se realiza a través de un repetidor que está en el espacio, llamado satélite. Un sistema de satélite consiste de un transponder, una estación base en tierra y una red de usuario.

3.1.3. Enlace de fibra óptica:

Uno de los intereses primordiales al hablar de fibra óptica es el poder tener a disposición una capacidad de canal inimaginable. Un sistema de transmisión óptico tiene tres componentes: la fuente de luz, el medio transmisor y el detector. En el transmisor se convierte la señal eléctrica en un señal óptica. Una vez que la luz ha recorrido la fibra, en el receptor, se reconvierte en señal eléctrica al final del trayecto.

3.2. Determinación de la alternativa adecuada:

Se han presentado tres alternativas para realizar un enlace, estas son radio digital, satelital y fibra óptica.

El diseño con microondas no sólo que requiere de mayor equipo y puntos de enlace, sino que como consecuencia de ello tendrá mayor costo. En un sistema satelital, para transmitir 1,25 Gbit/s, aproximadamente se necesitarían 10 transponders, cuyo costo es bastante elevado con respecto a cualquier otro sistema. Sin lugar a dudas la alternativa de fibra óptica es la más adecuada, primero porque el enlace es para acceder a una red de muy alta velocidad, y segundo por las características de baja atenuación, mayor capacidad, que se requiere en el proyecto.

Las principales ventajas de utilizar la fibra óptica son las siguientes:

- a) La fibra óptica presenta un gran ancho de banda, lo que supone más información por conductor que con los medios convencionales.
- b) La atenuación que presenta la fibra es independiente de la velocidad de transmisión, a diferencia de los cables convencionales.
- c) La fibra es inmune al ruido y a las interferencias por ser un medio dieléctrico, esta característica es favorable en muchas aplicaciones sobre todo cuando el cable tiene que pasar por zonas donde hay instalaciones de alta tensión.
- d) La información que viaja por la fibra no se puede detectar, aunque sí interceptar, ya que la luz no es sensible a ningún fenómeno de tipo inductivo por la especial configuración de su campo electromagnético.

4. DISEÑO DEL ENLACE QUITO ESMERALDAS Y DE LA ESTACION TERMINAL:

4.1. Rutas Alternativas

Una buena alternativa para realizar el enlace de fibra óptica es utilizar la infraestructura existente, pues ello economiza el costo por instalación del cable, así como el mantenimiento posterior del enlace. En el país se tienen diferentes infraestructuras que unen Quito con Esmeraldas, tales como:

- a) Sistema Nacional Interconectado,
- b) Oleoducto y Poliducto Ecuatoriano,
- c) Carreteras.

4.2. Determinación de la Ruta adecuada:

Luego de efectuar un recorrido para determinar la posible ruta del enlace Quito Esmeraldas, se definen dos posibles rutas para la instalación del cable:

Una alternativa es utilizar la estructura del Sistema Nacional Interconectado (SNI) para el montaje de cable, teniendo en cuenta que este tipo de sistema eléctrico brinda mayor seguridad y confiabilidad a la instalación, ya que sus torres de alta tensión se encuentran en lugares estratégicos, y de difícil acceso en el caso de robo.

La segunda ruta considerada factible es aquella que sigue las principales carreteras que unen las diferentes ciudades que conforman el enlace Quito - Esmeraldas, utilizando en la mayor parte de la ruta cable canalizado o enterrado directamente en los tramos que se requiera, debido a la gran importancia que tienen las carreteras en el país.

4.3. Estudio de Tráfico para el enlace Quito - Esmeraldas:

Para poder determinar los diferentes equipos a utilizarse para el enlace es necesario hacer un estudio del tráfico actual del país y de su proyección a futuro, ello se realiza con datos proporcionados por el Departamento de Conmutación y Calidad de Andinatel, quienes continuamente elaboran reportes del tráfico correspondiente a las centrales de tránsito de la zona que comprende Andinatel.

4.3.1. Parámetros que determinan la intensidad de tráfico entre las ciudades de Quito y Esmeraldas

Para el desarrollo del análisis de tráfico entre Quito - Esmeraldas se requieren de algunos parámetros tales como:

- a) Análisis de datos históricos-socio-económicos, así como del servicio telefónico.
- b) Proyección de la población nacional.
- c) Proyección de otros parámetros como: PIBP (Producto Interno Bruto Percápita), consumo de energía eléctrica, etc.

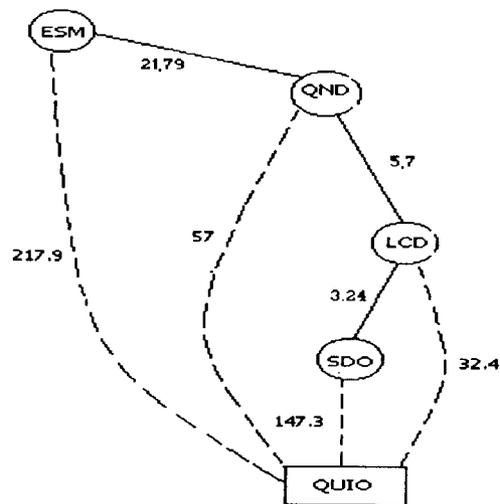


Figura 1
TOPOLOGIA DE LA RED QUITO ESMERALDAS

De acuerdo a la topología de red, que se muestra en la figura 1, se obtiene un flujo de tráfico bidireccional como se presenta en el cuadro 2. Según Andinatel en la actualidad se tiene una densidad telefónica del 10% aproximadamente, es decir 10 teléfonos por cada 100 habitantes, pero uno de los objetivos de esta Institución, según su carta de concesión, es incrementar esta densidad al 20%, motivo por el cual la matriz de tráfico actual requiere ser duplicada para cumplir con este importante objetivo, además de que se requieren datos de tráfico confiables para realizar una proyección real, como se muestra en el cuadro 3.

4.3.2. Proyección de la matriz de tráfico del enlace Quito – Esmeraldas.

Los resultados satisfactorios de un proyecto están basados en su visualización hacia el futuro, tomando en cuenta principalmente datos estadísticos y análisis sobre el sistema en cuestión. Los métodos de proyección utilizados en la matriz de tráfico Quito - Esmeraldas son:

4.3.2.1. Método exponencial simple:

Es un método de procedimiento general que puede utilizarse debido al comportamiento del tráfico en los últimos tiempos, la presencia del Internet en las Telecomunicaciones es un parámetro preponderante por el cual se justifica esta fluctuación abrupta del tráfico, es por ello que considerando un eminente

crecimiento de la demanda con miras a expandirse mucho más a niveles internacionales se puede considerar una tendencia exponencial simple del tráfico. Esta proyección obedece a la siguiente expresión:

$$x_p = x_o * e^{k*t}$$

Ec. (1)

Donde:

x_p : valor de tráfico proyectado

x_o : valor de tráfico inicial

t : tiempo al que se quiere proyectar

k : constante que equivale al porcentaje de crecimiento del tráfico por el tiempo de muestreo (t_m).

$$k = \frac{\% \text{crecimiento}}{t_m}$$

Ec. (2)

En el presente análisis se considera:

Porcentaje de crecimiento de tráfico: 20%¹

Tiempo de muestreo: 11 años.

4.3.2.2. Método de Extrapolación de Crecimiento:

Este método trabaja con los valores de crecimiento de población anual en lugar de utilizar valores de demanda o densidad telefónica. Cuando no se conoce el crecimiento poblacional para la determinación de los pronósticos se utiliza con frecuencia la función de interés compuesto, que obedece a la siguiente ecuación:

$$x_p = x_o * (1 + i)^n$$

Ec. (3)

Donde:

i : índice de crecimiento poblacional²

x_p : tráfico final a los n años de pronóstico

x_o : tráfico inicial

n : número de años del proyecto

En este caso el índice de crecimiento, i es igual a 3,6%.

¹ Dato proporcionado por ANDINATEL (Subgerencia de Interconexión)

² Dato proporcionado por el INEC.

Cuadro 2: Matriz de Tráfico Actual [En Erlangs]

	QUITO	SANTO DOMINGO	LA CONCORDIA	QUININDE	ESMERALDAS
QUITO		147.3	32.4	57	217.9
SANTO DOMINGO	147.3		3.24		
LA CONCORDIA	32.4	3.24		5.7	
QUININDE	57		5.7		21.79
ESMERALDAS	217.9			21.79	

Cuadro 3: Matriz de Tráfico según Carta de Concesión de Andinatel [En Erlangs]

	QUITO	SANTO DOMINGO	LA CONCORDIA	QUININDE	ESMERALDAS
QUITO		294,6	64,8	114	435,8
SANTO DOMINGO	294,6		6,48		
LA CONCORDIA	64,8	6,48		11,4	
QUININDE	114		11,4		43,58
ESMERALDAS	435,8			43,58	

Cuadro 4: Matriz de Tráfico Quito-Esmeraldas (año 2010) según el método de Extrapolación de Crecimiento [En Erlangs]

	QUITO	SANTO DOMINGO	LA CONCORDIA	QUININDE	ESMERALDAS
QUITO		434,8	95,6	168,3	643,2
SANTO DOMINGO	434,8		9,6		
LA CONCORDIA	95,6	9,6		16,8	
QUININDE	168,3		16,8		64,3
ESMERALDAS	643,2			64,3	

Cuadro 5: Matriz de Circuitos Quito-Esmeraldas (año 2010)

	QUITO	SANTO DOMINGO	LA CONCORDIA	QUININDE	ESMERALDAS
QUITO		460	112	188	670
SANTO DOMINGO	460		17		
LA CONCORDIA	112	17		26	
QUININDE	188		26		79
ESMERALDAS	670			79	

Cuadro 6: Matriz de Circuitos E1 (2 Mbps) Quito - Esmeraldas (año 2010)

	QUITO	STO. DOMINGO	LA CONCORDIA	QUININDE	ESMERALDAS	TOTAL	TOTAL STMI
QUITO		15	4	6	337	363	6
STO. DOMINGO	15		1			16	1
LA CONCORDIA	4	1		1		5	1
QUININDE	6		1		3	10	1
ESMERALDAS	337			3		340	6
TOTAL	362	16	6	10	340	734	15

4.3.3. Determinación del número de circuitos por centrales de tránsito:

Basándose en los cálculos realizados anteriormente de la proyección de tráfico se determinó que el mejor método para ello es el de extrapolación de crecimiento ya que sus resultados se desprenden de la consideración del crecimiento poblacional, siendo este un dato bastante confiable, el cuadro 4 presenta la matriz de tráfico proyectada al año 2010, a partir de estos resultados se obtiene el número de circuitos para cada central, en el cuadro 5

Es indispensable considerar que los equipos múltiplex ADM tendrán salidas a 2.048 Mbps, por lo que se hace necesario transformar los valores de circuitos antes indicados en múltiplos E1, es decir en circuitos de 2 Mbits, para lo cual se dividen los valores obtenidos anteriormente para 30 canales, en cuyo caso se tiene el cuadro 6.

También es necesario anotar que como criterio de diseño en esta última matriz esta incluida una cantidad de 315 E1 o sea 5 STM1 (5 X 63 E1) en el tramo Quito y Esmeraldas, esta capacidad esta considerada para cursar el tráfico existente entre la red mundial de fibra óptica del Proyecto Oxígeno y Andinatel, ya que como se menciona anteriormente Ecuador adquirirá una capacidad correspondiente a 8 STM-1, es decir 1.25 Gbit/s.

El número total de STM-1 del cuadro anterior se obtiene dividiendo el total de circuitos para 63, ya que como sabemos un STM-1 es igual a 63 E1 ó (63 x 2 Mbit/s). Es importante anotar que el número total de STM-1 encontrados corresponden a circuitos bidireccionales, es decir de los 16 (STM-1) hallados, solo 8 (STM-1) se emplearán como circuitos unidireccionales.

4.4. Selección del Equipo Terminal de Línea:

El número de circuitos calculados al año 2010 permite determinar la configuración óptima del sistema y la capacidad del equipo terminal de línea necesaria para la red de fibra óptica.

El número total de circuitos requeridos entre Quito – Esmeraldas es de 21990, este valor se obtiene del cuadro 6 ya que $(733 * 30 = 21990)$. Para esta capacidad se debe utilizar la menor cantidad posible de equipo terminal y el número de fibras ópticas, dependiendo de estos parámetros se analiza un equipo terminal de línea STM-16 (2.5 Gbit/s), al tener esta configuración el equipo terminal de línea óptico requerido es mínimo, brindando mayor confiabilidad y seguridad al sistema, ya que $(21990/30240 = 0.72)$, lo que involucra el uso de un solo equipo terminal de línea. Los equipos STM-16 tendrán la capacidad de ser configurados en anillos bidireccionales con protección a 4 fibras, ya que en lo futuro se prevé la formación de anillos nacionales, además deberán contar con facilidades para intercambiar el tráfico de la trama entre tributarios y agregados con el fin de permitir el intercambio de tráfico con la red nacional y con las redes locales.

4.5. Cálculo del Enlace:

Para realizar el cálculo del enlace es importante conocer cada uno de los parámetros límites que existen en los equipos a utilizar, ya que esto repercutirá notablemente en el futuro del diseño, es por ello que el análisis se ha dividido en dos partes fundamentalmente, así una es el cable óptico y la otra es el equipo terminal de línea.

4.5.1. Características de la Fibra Óptica:

Es de primordial importancia en el cálculo de un enlace óptico determinar la mejor fibra que existe en el mercado de acuerdo a las condiciones requeridas en el sistema, es decir, se debe escoger la fibra que presente entre sus principales características: baja atenuación y mayor ancho de banda por tramo.

Considerando que el enlace de fibra óptica es un sistema de alta capacidad, se ha determinado utilizar una fibra óptica monomodo con dispersión no cero que trabaje en la tercera ventana, es decir que la fibra es elaborada con un cuidadoso diseño, tal que a una determinada longitud de onda la fibra presente cero dispersión.

Se utiliza un cable de 48 fibras ópticas, considerando que es un sistema de gran importancia para el futuro de las telecomunicaciones del Ecuador. De las 48 fibras, cuatro son empleadas en el proyecto con proyección de diez años y las 44 restantes se utilizarán para comercialización de la capacidad del enlace, además cabe recalcar que en este tipo de proyectos el número de fibras que se utilice, en este caso 48, vale la pena ya que su costo es totalmente recuperable, ya que Andinatcl al arrendar las fibras de respaldo va a obtener un beneficio económico.

La recomendación G.655 de la UIT-T da todos estos parámetros aplicables a este tipo de enlaces interurbanos para fibras monomodo que trabajan en la tercera y cuarta ventana. El cuadro 7 indica las principales características que debe tener la fibra a utilizarse:

PARAMETROS DE LA FIBRA MONOMODO	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Atenuación máxima	0.35	dB/Km
Atenuación media	0.19 – 0.25	dB/Km
Longitud de onda de dispersión nula	1550	Nm
Dispersión cromática	0.1 – 6	ps/nm-km
Longitud de onda de corte	1480	Nm
Diámetro del campo modal	8 – 11	µm
Error de concentricidad del campo modal	<1	µm
Diámetro externo de la fibra (sin el revestimiento)	1.25	µm
Diámetro del revestimiento de la fibra	2	µm
Esfuerzo mecánico	0.69	Gpa
Prueba de estiramiento de la fibra	0.5	%

Cuadro 7
CARACTERISTICAS DE LA FIBRA OPTICA SEGÚN
RECOMENDACION G.655

4.5.2. Especificaciones técnicas del equipo de transmisión y asociados

Analizando las matrices de tráfico entre Quito y Esmeraldas se determinó el número de circuitos requeridos y por ende el equipo terminal de línea que se requiere, éste es un enlace de alta capacidad (2.5 Gbit/s), es decir se necesita un STM-16, con anillos bidireccionales y protección a 4 fibras para el sistema de respaldo del enlace. Este terminal de línea se utiliza dada la gran cantidad de tráfico proyectado, además en un futuro se podría acceder con facilidad a la nueva

tecnología de multiplexación por longitud de onda densa (DWDM) que se proyecta sobre los 160 Gbit/s.

Puesto que se trabaja en la tercera ventana y con fibra óptica monomodo es necesario que el equipo terminal de línea se acople a estas características, seleccionando parámetros apropiados para el diseño.

Actualmente los equipos terminales de línea nos simplifican el trabajo ya que traen incluidos tanto el emisor como el receptor óptico en cuyo caso sólo hay que seleccionar el equipo con un margen de potencia adecuado, de acuerdo a los requerimientos del proyecto, que cumple satisfactoriamente con la calidad deseada con un Power Budget³ de -44 dB que en este caso es más que suficiente.

Para el presente caso se utilizará un equipo STM-16 que trabaje en modo de terminal, equipo que será utilizado en las dos estaciones es decir en Quito y Esmeraldas, en esta configuración el equipo debe ser capaz de multiplexar / demultiplexar las señales tributarias formando la señal agregada STM-16, de acuerdo con la recomendación G.782 de la UIT-T.

Otra forma de operación del equipo será como multiplexor de inserción/extracción (ADM-16), en este caso los equipos se ubicarán en las restantes estaciones terminales, como son: Santo Domingo, La Concordia y Quindiné, en esta configuración el equipo permitirá extraer e insertar señales tributarias, desde y hacia la señal agregada STM-16, de acuerdo con la recomendación G.782.

El equipo es capaz de operar en una arquitectura de red basada en anillos bidireccionales de restauración automática con mecanismo de protección de cuatro fibras.

4.6. Cálculo de la Atenuación Óptica Total:

El cálculo del presupuesto de pérdidas, llamado también Atenuación total, es importante en un enlace

³ Power Budget: es la pérdida total que puede existir entre el transmisor y el receptor.

con fibra óptica, debido a que con ello se puede determinar la mayor distancia posible en el enlace sin regeneradores, y gracias a ello determinar cuán eficiente puede llegar a ser un sistema.

La atenuación total es la sumatoria de todas las pérdidas entre dos puntos de regeneración. La ecuación 4 muestra los parámetros que intervienen en el cálculo del enlace por fibra óptica.

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - N_1 A_c - N_2 A_e - A_f L - M_c L - M_e \quad \text{Ec. (4)}$$

4.6.1. Determinación de la distancia máxima entre regeneradores:

Este cálculo se lo realiza basándose en parámetros de fibras y equipos terminales de línea existentes en el mercado, datos que se tomaron de las compañías Lucent Technology y Ciena, así como de los valores recomendados por la UIT - T, estos parámetros son:

- $P_{Rx} = -30$ (dBm)
- $P_{Tx} = 14$ (dBm)
- $N_1 = 2$ conectores (uno en cada extremo del transmisor y receptor)
- $N_2 = L/6$ empalmes (ya que se tienen rollos de fibra óptica de 6 Km aproximadamente)
- $A_c = 0.4$ (dB)
- $A_e = 0.25$ (dB)
- $A_{fo} = 0.22$ (dB/km)
- $M_c = 0.01$ (dB/km⁻¹), considerando un corte al año en 500 km.
- $M_e = 1.5$ (dB)

luego si de la ecuación 4 se despeja la longitud del enlace se tiene:

$$L \leq \frac{P_{Tx} - P_{Rx} - N_1 A_c - M_e}{\frac{A_c}{6} + A_{fo} + M_c} \quad \text{Ec. 5}$$

Reemplazando los valores de cada parámetro se obtiene el valor de la máxima longitud posible sin necesidad de regeneración:

$$L \leq \frac{14 + 30 - (2 * 0.4) - 1.5}{\frac{0.25}{6} + 0.22 + 0.01}$$

$$L \leq 153.5 [Km.]$$

Una longitud de 153.5 Km representa una distancia de aproximadamente el doble comparada con el tramo más largo de todo el enlace que corresponde a Quito - Santo Domingo con una distancia de 96 Km, lo que refleja indiscutiblemente que los valores de potencia de transmisión y recepción de los equipos cumplen satisfactoriamente con lo requerido para este enlace.

4.6.2. Cálculo del ancho de banda:

También se requiere calcular el ancho de banda mínimo que se debería tener para poder transmitir las señales, para ello se considera la longitud máxima sin regeneradores de 153.5 Km., en cuyo caso la ecuación es:

$$AB = \frac{0.4}{L * W_c * \Delta\lambda} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

- $L = 153.5$ km (Longitud máxima de un tramo sin regeneradores)
- $W_c = 3.5$ ps/km*nm (Dispersión cromática)
- $\Delta\lambda = 0.1$ nm (corresponde al ancho espectral de la fuente).

Reemplazando en esta ecuación los valores correspondientes antes mencionados se obtiene el mínimo ancho de banda requerido para establecer el enlace, en este caso es 8.19 (GHz).

4.6.3. Cálculo del enlace por tramos de la ruta seleccionada:

Para el cálculo de la potencia de recepción en un enlace óptico se tiene la ecuación 6, que es una derivación de la ecuación 4, con los mismos parámetros antes mencionados, en cuyo caso se tiene:

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - N_1 A_c - M_e - L \left(\frac{A_c}{6} - A_{fo} - M_c \right) \quad \text{Ec. (7)}$$

Al reemplazar los valores de los parámetros conocidos en la ecuación anterior y simplificando la misma tenemos una expresión válida para el cálculo de la potencia de recepción en todos los tramos del enlace Quito Esmeraldas, tal como se muestra en el cuadro 8.

ENLACES	LONGITUD (km)	Prx (dB)	AB (GHz)	MARGEN
Quito-Sto.- Domingo	96.5	-14.51	13.03	-29.49
Sto. Domingo - La Concordia	42	0.29	29.93	-44.29
La Concordia - Quinindé	40	0.84	31.43	-44.84
Quinindé - Esmeraldas2	72	-7.86	17.46	-36.14
Esmeraldas2 - Esmeraldas3	7	9.80	179.59	-53.80
Esmeraldas3 - Las Palmas.	2	11.16	628.55	-55.16

Cuadro 8

NIVELES DE POTENCIA Y ANCHO DE BANDA POR TRAMO DE LA RUTA SELECCIONADA

Se puede observar que ni los niveles de potencia de recepción ni el ancho de banda sobrepasan los valores máximo y mínimo encontrados anteriormente, garantizando de esta manera la confiabilidad y estabilidad en cualquier tramo de la ruta Quito – Esmeraldas, el margen detallado en el cuadro 8 representa las pérdidas que pueden existir entre el transmisor y receptor en cada tramo y se encuentran restando el margen total del enlace (Power Budget = -44), menos la potencia de recepción de cada tramo. Es importante anotar que mientras mayor es la longitud del tramo se tendrá consecuentemente un margen menor de pérdidas.

4.7. Diseño de la Estación Terminal

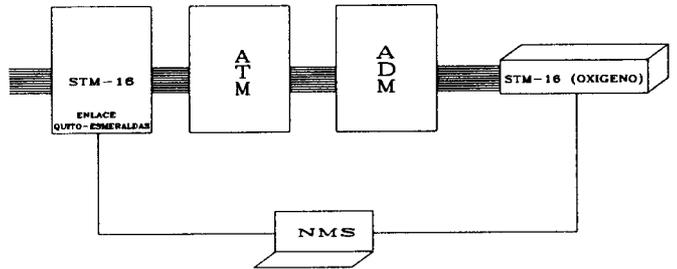
El diseño de la estación terminal es de vital importancia, ya que constituye la zona en donde se une el enlace Quito –Esmeraldas con la red mundial de fibra óptica del Proyecto Oxígeno.

a) Diseño Físico.

Se refiere a la infraestructura necesaria que se requiere para instalar todos los equipos de comunicaciones y en general los demás accesorios requeridos tanto para el Enlace Quito – Esmeraldas como para la red mundial de fibra óptica del Proyecto Oxígeno.

La figura 2 muestra los diferentes equipos de comunicaciones utilizados en el diseño, así para unir

los dos sistemas se requiere de un nodo fijo del enlace internacional.



STM – 16: Equipo Múltiplex sincrónico de 2.5 Gbit/s.
 ATM: Switch de conmutación de tráfico.
 ADM – 16: Equipo Múltiplex de adición/extracción de 2.5 Gbit/s.
 NMS: Sistema de administración de red.

Figura 2
ESTRUCTURA DE LA ESTACION TERMINAL

b) Diseño Eléctrico.

En el diseño eléctrico se debe garantizar primordialmente que el equipo de transmisión y sistema de gestión, funcionen normalmente incluso cuando se interrumpa hasta por ocho horas continuas el suministro de corriente alterna, ya sea ésta proveniente de la red pública o de motogeneradores.

En el diseño eléctrico de la estación terminal se deben considerar los siguientes elementos:

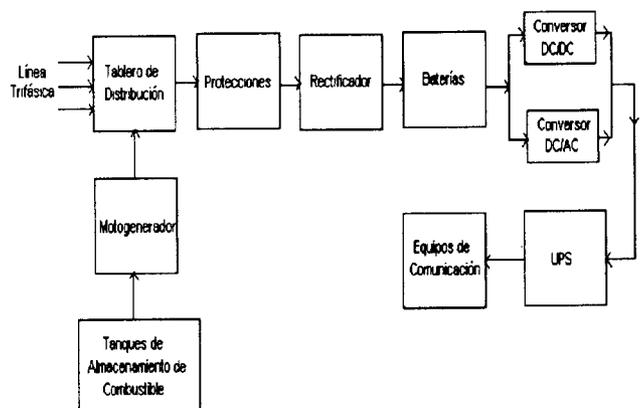


Figura 3
DISEÑO ELECTRICO DE LA ESTACION TERMINAL

5. ANALISIS ECONOMICO:

Cuando se requiere determinar la factibilidad además de un patrón preponderante de calidad y confiabilidad de un sistema es imprescindible realizar un análisis económico del mismo. Entonces es necesario delimitar en el diseño del enlace un método conveniente que proporcione una excelente alternativa de funcionamiento a precios muy convenientes.

Los costos del Proyecto están analizados en moneda norteamericana, dólar, por ser más estable que el sucre, además de que el Proyecto Oxígeno está cotizado en dólares.

Para realizar un análisis económico se considera:

5.1. El estudio de la tasa interna de retorno basándose en posibles tarifas que tendrían las unidades de servicio.

Como el enlace de fibra óptica Quito – Esmeraldas va a ser utilizado para suplir las necesidades de tráfico nacional así como para integrar al Proyecto Oxígeno la red troncal, cuya matriz se encuentra en Quito, para el presente estudio se ha dividido los costos en dos rubros que son:

5.1.1. Costos del enlace Quito – Esmeraldas

El análisis de costos para el enlace Quito – Esmeraldas se lleva a cabo en dos rubros por separado, uno es el costo del cable de fibra óptica, incluyendo accesorios e instalación; y el segundo es el costo del equipo.

Considerando estos valores, se determina el costo total de la inversión, tomando las carreteras como ruta alternativa, se tiene el cuadro 9.

RUBRO	COSTO TOTAL
FIBRA OPTICAS	\$5,606,111
TERMINALES SDH	\$276,575
MULTIPLEX SDH	\$390,860
SISTEMA DE GESTION	\$284,985
EQUIPO DE ENERGIA	\$15,000
INSTALACION	\$72,070
TOTAL	\$6.645,601

Cuadro 9
INVERSION TOTAL CON LA RUTA DE CARRETERAS

El siguiente cuadro 10 presenta la inversión total, cuando se tome el SNI como la ruta para el enlace.

RUBRO	COSTO TOTAL
FIBRA OPTICAS	\$ 4,924,994
TERMINALES SDH	\$276,575
MULTIPLEX SDH	\$390,860
SISTEMA DE GESTION	\$284,985
EQUIPO DE ENERGIA	\$15,000
INSTALACION	\$72,070
TOTAL	\$5,964,484

Cuadro 10
INVERSION TOTAL CONSIDERANDO EL SNI

De los cuadros anteriores se puede concluir que para el Sistema Nacional Interconectado se debe invertir una cantidad menor de dinero, en comparación con la ruta por carreteras este valor fluctúa en alrededor de \$ 600.000 (seiscientos mil dólares), lo que da como posibilidad efectiva la realización del enlace por el Sistema Nacional Interconectado.

En un estudio de factibilidad del sistema de fibra óptica en estudio se concluye que su rentabilidad es favorable bajo el punto de vista que en dos años aproximadamente se empezará a tener una ganancia, sin tener que subir los costos por canal a valores exagerados.

5.1.2. Costos del enlace del Ecuador a la red mundial de fibra óptica (Proyecto Oxígeno)

La adquisición de capacidad del Proyecto Oxígeno se la realiza por acceso al ancho de banda a una red de fibra óptica mundialmente planificada, como se indicó en el cuadro 1. La capacidad puede ser adquirida en incrementos de 10 millones de dólares utilizando los precios unitarios y dentro de un mismo nivel, así por ejemplo: 1.24 Gbit/s tiene un costo de 10 millones de dólares; la capacidad de 2.48 Gbit/s cuesta 20 millones, etc.

Se asume que Andinatel adquirirá 1.24 Gbit/s de la capacidad que ofrece el Proyecto Oxígeno, es por ello que el costo de inversión sería de \$ 10'000.000 (diez millones de dólares).

En un análisis financiero del proyecto Oxígeno, se ve que este resulta rentable ya que con un costo de \$25000 dólares al año para un circuito El ya se tiene una tasa de rentabilidad interna mayor al 45.9% en

dólares y al tercer año de funcionamiento se ve una ganancia con una rentabilidad del 68%.

5.2. Comparación de costos con sistemas que presten al usuario los mismos servicios y cuyo valor ya esté determinado.

Para el enlace Quito Esmeraldas se puede decir:

El sistema más económico, confiable y con mejor calidad es el sistema por fibra óptica con una relación de costos por canal de 64 Kbit/s de 1 a 4, aproximadamente, frente al sistema de radio digital.

Para el enlace al proyecto Oxígeno:

Es claro que la mejor opción para un enlace de larga distancia y alta capacidad es fibra óptica ya que la inversión anual de los circuitos en un enlace satelital es de \$ 361'972.800, además se debe considerar que actualmente el CONATEL ha fijado el costo de un circuito permanente internacional en \$ 40000 anuales, mientras que gracias al Proyecto Oxígeno con sólo un costo de \$ 25000 anuales ya se tiene una tasa de retorno interna del 45%, lo que representa un ahorro considerable en el costo de un circuito permanente internacional.

5. CONCLUSIONES:

La realización de este proyecto constituye un gran aporte en las telecomunicaciones para nuestro país, tanto a nivel nacional como internacional, ya que abre una puerta a la información mundial, además de incentivar a la elaboración de nuevos trabajos que a futuro serán parte del desarrollo tecnológico.

Los sistemas de fibra óptica implementados a nivel mundial, nos permiten dar soluciones a las necesidades de tráfico internacional de los países, de una manera menos costosa superando las facilidades que nos brindan los sistemas vía satélites ya que estos sistemas tienen una capacidad limitada y no es factible su incremento una vez en órbita el satélite, más no así los sistemas de fibra que pueden ser regenerados y ampliados en caso de ser necesario.

La red de Andinatel para enlazar las ciudades de Quito y Esmeraldas se encuentra saturada, por lo que es

indispensable su ampliación. Mediante microondas resulta bastante costoso, es por ello que se ha utilizado la fibra óptica como respuesta a esta necesidad.

La capacidad de circuitos El requerida tanto para la utilización del Proyecto Oxígeno, así como para cubrir las necesidades de tráfico del enlace Quito Esmeraldas en la actualidad y en un futuro inmediato, determinan el tipo de sistema a implantarse, dicha capacidad se puede satisfacer con equipos SDH equivalentes a STM-16 o ADM-16.

La tecnología SDH propuesta para este sistema permite una administración dinámica del tráfico, lo que da facilidades adicionales tales como la utilización de conexiones cruzadas (CROSS CONNECT) entre los distintos tributarios y agregados en las estaciones terminales y en las estaciones de derivación, además los equipos ofrecen crear anillos bidireccionales con protección a cuatro fibras, brindando una alta eficiencia en el manejo del tráfico, en caso de fallas de cualquier equipo en las estaciones de derivación, y permitiendo crear anillos virtuales con las fibras de soporte que no son utilizadas en la operación normal.

6. RECONOCIMIENTO:

Un agradecimiento al Ing. Leonardo Cajas, por su colaboración en el presente trabajo.

7. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- [1] MARTINEZ RUBIO BALTAZAR, Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica, Addison - Wesley Iberoamericana, 1998.
- [2] SIEMENS, "Telecomunicación Digital", España, Marcombo Boixareu editores, 1988.
- [3] ARES ROBERTO, "Sistemas de Transmisión Digital", segunda edición, Vol 2, Milano - Italia, 1991.

- [4] VANCEK E., Sistemas de comunicación a través de fibras ópticas, Universidad de Santiago de Chile, Chile, 1986.
- [5] CCITT, Libro Azul, Malbourne - Suiza, Tomo III, 1988.
- [6] INFANTE VILLAREAL ARTURO, "Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión", Grupo Editorial Norma, Colombia, 1996.

8. BIOGRAFIAS:



LAURA BONILLA RODRIGUEZ, nació en Quito el 1 de Mayo de 1974. Obtuvo el título de Bachiller en Humanidades Modernas y Electrónica en El Colegio Técnico Experimental Hipatia Cárdenas en 1992.

Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional obteniendo el título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones en diciembre de 1999.

Sus campos de interés abarcan el diseño y construcción de sistemas basados en fibra óptica, microonda digital y tecnología de transmisión vía satélite. Actualmente presta sus servicios a Visión Mundial del Ecuador en el sistema de Radio Frecuencia.



ERIKA GONZÁLEZ ANDRADE, Nació en Quito, el 20 de marzo de 1971. Se graduó de bachiller en Humanidades Modernas en el Colegio Alemán de Quito, en julio de 1991. Obtuvo el título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones, diciembre de 1999, en la Escuela Politécnica Nacional. Sus campos de interés son el diseño y construcción de sistemas basados en fibra óptica, radio digital y tecnología satelital. Se desempeña en el campo profesional en ingeniería de redes e Internet.



TARQUINO SÁNCHEZ ALMEIDA, Nació en Atuntaqui el 18 de marzo de 1966. Obtuvo el título de bachiller en Humanidades Modernas en el Colegio Particular Sánchez y Cifuentes de Ibarra. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional y obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en 1991. Actualmente es profesor principal de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la EPN, y está cursando sus estudios en postgrado en el área de Gerencia Empresarial, mención Proyectos. Areas de interés: Electrónica y Telecomunicaciones