

DISEÑO DE UN SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA ENTRE QUITO Y GUAYAQUIL

Ing. Tarquino Sánchez
Ing. Arnaldo Vidal

RESUMEN. Se describe un sistema alternativo para las comunicaciones en el país, utilizando fibra óptica.

Para tal propósito se considera el proyecto de ampliación de la red digital, con una proyección de la demanda telefónica al año 2010. Se selecciona la ruta óptima en base a consideraciones técnicas, económicas y sociales; finalmente se comparan los costos por canal telefónico con respecto a otros sistemas de transmisión.

ABSTRACT. It describes an alternative system for the communications in the country using an optical fiber.

To reach this aim, analysis is based primarily on a plan to enlarge the national digital transmission system and traffic demand is project to 2010 year. The most suitable route is choiced from three options whose technical and economic aspect were considered. Cost per telephone circuit unit are compared against other systems such as digital radio links and satellite communications.

1.- INTRODUCCION

Las comunicaciones de larga distancia nacional, constituyen un factor determinante en la estructura de un país, de tal manera que la mayoría de las administraciones han dado prioridad a este servicio.

La introducción de sistemas digitales en el país está basado en los criterios de digitalización, desarrollados y propuestos en la administración del EMETEL, y fue a partir del año 1988 que se realizó el primer contrato del sistema de Radio Digital entre las ciudades de Quito y Guayaquil, y posteriormente se contrataron nuevos sistemas de radios digitales para la mayoría de provincias del país, esperando que al año 1995 se tenga digitalizada la red de transmisión del país.

La demanda cada vez más creciente por nuevos servicios, mayor calidad y flexibilidad en los mismos, hace posible que en presente éste proyecto con la finalidad de ofrecer los servicios que el usuario requiere en el campo de las telecomunicaciones y en especial para los usuarios de banda ancha.

El sistema óptico prioritariamente debe atender las necesidades de tráfico interurbano y permitir la integración mediante radioenlaces con todas las poblaciones aledañas a la ruta. Así como la proyección a largo plazo.

1.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

La tecnología en fibras ópticas ha experimentado un gran desarrollo, que hace que las comunicaciones se orienten hacia este nuevo soporte de transmisión, lo cual representa grandes ventajas respecto a los medios de transmisión convencionales como son: cables multipar, cable coaxial y radioenlace. Las principales ventajas de utilizar la fibra óptica son las siguientes:

- No ocupa el espectro electromagnético.
- Baja atenuación, lo que permite grandes distancias entre regeneradores.
- Gran ancho de banda, para una capacidad potencial muy grande de transmisión.
- Los cables de fibras ópticas son delgados y ligeros, fácil su instalación.
- Inmunidad frente a fenómenos electromagnéticos.
- Los cables de fibras ópticas pueden hacerse sin ningún componente metálico.
- No existe diafonía entre diferentes fibras del mismo cable.
- Es prácticamente imposible interceptar una comunicación por un cable óptico.
- Bajo costo potencial por canal.

2. DISEÑO DE LA RED DE ALTA CAPACIDAD

En el diseño de la red se toma en consideración los siguientes aspectos:

- Una matriz de tráfico inicial, la misma que permita proyectar el flujo de tráfico telefónico al año en estudio.
- Número de líneas telefónicas instaladas a Diciembre de 1992.
- Proyección de la población según el INEN al año 2010.
- Curvas de proyección de la densidad telefónica de acuerdo al CUITT, que se ajuste a las necesidades de crecimiento de la demanda telefónica del país.
- Métodos de proyección de la matriz de tráfico telefónico de acuerdo al CUITT.
- Tendencia de crecimiento de la densidad telefónica que este de acuerdo a las necesidades de los ecuatorianos y a la administración del EMETEL.

2.1. MATRIZ DE TRÁFICO INICIAL.

Para determinar la intensidad de tráfico entre las ciudades de Quito - Guayaquil se ha tomado como referencia un estudio del departamento de Planificación de la Presidencia Ejecutiva del EMETEL, que trata sobre un proyecto de ampliación de la red digital en su cuarta etapa, y determina una matriz de tráfico telefónico al año

	IBARRA	QUITO	AMBATO	GYQUIL	MANTA	MACHALA	CUENCA	LOJA	TRAFICO ENTRANTE
IBARRA	-	177.82	52.90	186.74	33.90	9.74	33.94	10.91	585.97
QUITO	138.42	-	264.82	2440.26	155.04	111.09	142.46	44.63	3296.72
AMBATO	47.49	326.62	-	386.30	81.06	37.34	74.48	20.99	973.70
GYQUIL	162.66	2685.33	375.94	-	515.98	274.67	287.77	136.03	4438.38
MANTA	19.02	187.70	82.59	530.22	-	74.50	29.64	22.82	946.49
MACHALA	9.76	87.49	36.59	348.36	71.81	-	35.18	22.40	411.79
CUENCA	17.87	164.51	49.92	298.66	23.11	38.01	-	23.79	615.87
LOJA	10.38	59.68	35.00	169.23	21.58	24.88	39.42	-	388.19
TRAFICO SALIENTE	485.60	3489.13	897.78	4359.79	962.50	576.23	642.89	281.17	11749.11

Cuadro 1

La red digital de larga distancia del país, se muestra en la Fig. 1

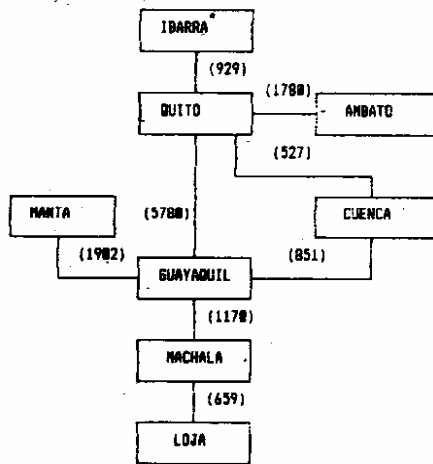


Fig. 1

En el desarrollo de la matriz de tráfico se considera las poblaciones pertenecientes a cada una de las centrales de tránsito nacional, y el número de líneas telefónicas instaladas hasta Agosto de 1982 como se muestra en el cuadro 2.

ZONA DE TRANSITO	LÍNEAS PRINCIPALES EN SERVICIO
IBARRA	29235
QUITO	278878
AMBATO	54658
CUENCA	54358
MANTA	48888
GUAYAGUIL	251958
MACHALA	19288
LOJA	21588

Cuadro 2

2.2 PROYECCION DE LA MATRIZ DE TRÁFICO DE LARGA DISTANCIA NACIONAL.

Para proyectar la matriz de tráfico se parte de la matriz inicial (Cuadro 1). En el desarrollo de la matriz de tráfico se hace las siguientes consideraciones:

- 1.- En cada zona de tránsito se considera:
 - a.- El porcentaje de tráfico originado de larga distancia nacional que fluye hacia las otras zonas.
 - b.- Porcentaje de tráfico terminal de larga distancia nacional que fluye desde otras zonas.
- 2.- Para proyectar la matriz de tráfico se parte del estudio de proyección de la población nacional realizado por el INEC hasta el año de 2010.

En el Cuadro 3 se presenta la proyección de la población según el INEC y la densidad telefónica hasta el año de 2010 obtenido a partir del método de Gompertz. La densidad telefónica al año de 1995 es proyectada considerando que existe gran interés por la actual administración de EMETEL de aumentar la capacidad de la planta externa.

La densidad telefónica (D) se calcula en base de la ecuación (1).

$$D = \frac{\text{Núm. de circuits Telef. a 1995} * 100}{\text{Población al año de 1995}}$$

(1)

La densidad inicial D_0 calculada para el año de 1995 es de 8.54, a partir de este valor se proyecta al año 2010. Esta proyección se la realiza en base a métodos de crecimiento de la densidad telefónica recomendados por el CCITT. Siendo la curva que mejor se adapta a las condiciones de crecimiento de la demanda telefónica a nivel nacional la obtenida por el "METODO DE GOMPERTZ".

2.2.1 METODO DE GOMPERTZ.

El origen del método de Gompertz se fundamenta en la hipótesis, según la cual el desarrollo telefónico se expresa como una función del tiempo y toma la siguiente forma:

$$D = e^{(a-b \cdot t^c)}$$

(2)

D Es la densidad teórica en el año t
 t Es el tiempo en años a partir de un origen predeterminado.
 a, b y r Parámetros de la ecuación.

Para determinar los parámetros a, b y r se parte de dos premisas conocidas para los años 1990 y 1995 como se indica a continuación:

En el tiempo $t = 0$ (1990) $\rightarrow D_0 = 5.3$
 En el tiempo $t = 5$ (1995) $\rightarrow D_5 = 8.54$
 Se asume que el tiempo de saturación es al tiempo infinito ($t \rightarrow \infty$) con una densidad de saturación $D = 45$.

Considerando un crecimiento ambicioso de la demanda telefónica dadas las condiciones económicas del país y la necesidad por parte de EMMTEL de ofrecer mejor servicio al usuario.

$$D = 9(3.0067 - 2.139 + 0.95078^t) \quad (3)$$

La ecuación (3) es válida a partir del año de 1990, al tiempo ($t = 0$) y con proyección a una densidad final a $t \rightarrow \infty$ como se muestra en la Fig. 2.

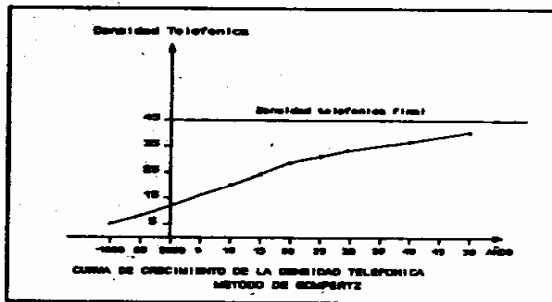


Fig. 2.2

AÑOS DE PROYECCIÓN	POBLACION SEGUN EL INEC	LÍNEAS PRINCIPALES EN SERVICIO	DENSIDAD TELEFÓNICA
1995	12'311840	1'051057	8.54
2000	13'934306	1'713223	12.295
2005	15'610230	2'539570	16.243
2010	17'414000	3'499006	20.093

Cuadro 3

2.2.2 MÉTODOS UTILIZADOS PARA PROYECTAR LA MATRIZ DE TRÁFICO

La proyección de la matriz de tráfico se realiza por varios métodos recomendados por el CCITT, entre los principales tenemos:

1. Método de Kruthof
- 2.- Método de los coeficientes de afinidad
- 3 - Método Gravitacional, etc.

De éstos tres métodos, el CCITT considera que el más confiable es el "Método de Kruthof" el cual se lo utiliza en el desarrollo del presente trabajo.

En el desarrollo de este método se requieren hacer las siguientes previsiones:

a) Previsión de los abonados conectados a cada central.- La previsión de los abonados por central de tránsito se realiza partiendo del número de líneas principales en servicio instaladas hasta Diciembre de 1995 (año n). Luego se obtiene el factor de crecimiento del número de circuitos r (Ecuación 4), para cada una de las zonas de tránsito, y en cada período de estudio:

$$r = \frac{\text{Núm de lín telf. al año } n, (n+5), (n+10)}{\text{Núm. de líneas telf. al año 1995 (n)}} \quad (4)$$

Esta relación se la multiplica por el número de líneas principales al año (n) como se presenta en los cuadros 5, 6 y 7 referencia (1), con los cuales se obtiene el número de líneas principales por centrales de tránsito para cada uno de los períodos en estudio.

b) Estimación de los tráficos medios futuros totales por abonado.- Estos valores se obtienen del estudio realizado por el departamento de planificación de EMMTEL (División de planificación a largo plazo) y según las curvas recomendadas por el CCITT en el GAS 10 que depende de la densidad telefónica para cada una de las centrales de tránsito, como se indica en el Cuadro 4 referencia (2).

c) Estimación de las categorías principales de tráfico en porcentaje.- Cada una de las zonas de tránsito está compuesta por tres tipos de tráfico: interno, urbano e interurbano; siendo el tráfico interurbano el que interesa en el presente estudio. Los porcentajes de tráfico se obtienen de los recomendados por el CCITT, producto de mediciones efectuadas en diferentes países que atravesaron por éste proceso de crecimiento de la densidad telefónica considerando, la categoría de zona de tránsito, en el Cuadro 4 se ilustra esto en las referencias 3, 4, 5, 6, 7, y 8.

Se calcula los flujos de tráfico futuros interurbanos para cada una de las centrales de tránsito, como se indica en los cuadros 5, 6 y 7 referencia (9) y (10), para cada uno de los períodos en estudio.

En los cuadros 5, 6 y 7 se presenta el número total de los circuitos telefónicos interurbanos, los mismos que se los distribuye en la matriz de tráfico para cada uno de los años en estudio. En los cuadros 8, 9, 10 se presentan las matrices de tráfico obtenidas por el método de kruthof.

MATRIZ DE TRAFICO PARA EL AÑO DE 1995

	IBARR	QUITO	AMBT	GYQUIL	MANTA	MACHAL	CUENC	LOJA	TOTAL	
IBARRA			177.8	52.9	186.7	33.9	9.7	33.9	10.9	506.0
QUITO	138.4		264.8	2440.3	155.0	111.1	142.5	44.6		3296.7
AMBATO	47.5	326.6		386.3	81.1	37.3	74.5	20.4		973.7
GYQUIL	162.7	2686.3	375.9		516.0	274.7	287.8	136.0		4438.4
MANTA	19.0	187.7	82.6	530.2		74.5	29.6	22.8		946.5
MACHAL	9.8	87.5	36.6	348.4	71.8		35.2	22.6		611.9
CUENCA	17.9	164.5	49.9	298.7	23.1	38.0		23.8		614.9
LOJA	10.4	59.7	35.0	169.3	21.6	24.9	39.4			360.2
TOTAL	405.6	3689.2	897.8	4359.8	902.5	570.2	642.9	281.2		11749.1

CUADRO 1

MATRIZ DE TRAFICO PARA EL AÑO 2000

	IBARR	QUITO	AMBAT	GYQUIL	MANTA	MACHAL	CUENC	LOJA	TOTAL	
IBARRA			175.7	25.2	74.6	12.1	2.0	25.2	5.4	320.2
QUITO	248.0		467.3	3612.7	204.2	84.6	392.4	81.9		5091.1
AMBATO	14.0	478.8		229.0	42.8	11.4	82.1	15.0		873.0
GYQUIL	43.8	3604.7	243.2		249.1	76.7	290.6	91.5		4599.6
MANTA	4.3	211.9	44.9	242.0		17.5	25.2	12.9		556.6
MACHAL	1.4	61.5	12.4	99.0	18.2		18.6	8.0		219.1
CUENCA	9.2	420.3	61.5	308.5	21.2	20.2		30.5		871.4
LOJA	2.7	77.2	21.8	88.5	10.0	6.7	38.4			245.3
TOTAL	323.3	5030.2	876.3	4684.3	587.6	219.1	872.5	245.0		12778.3

CUADRO 8

MATRIZ DE TRAFICO PARA EL AÑO 2005

	IBARR	QUITO	AMBAT	GYQUIL	MANTA	MACHAL	CUENC	LOJA	TOTAL	
IBARRA			273.3	33.5	108.5	16.3	2.4	34.0	6.5	474.5
QUITO	371.2		644.9	5452.3	286.6	106.8	548.2	102.9		7511.9
AMBATO	18.1	667.8		298.7	51.9	12.3	99.2	16.3		1164.2
GYQUIL	62.3	5528.2	319.0		332.3	91.2	385.9	109.3		6828.2
MANTA	5.7	299.6	54.4	320.1		19.2	30.8	14.2		743.9
MACHAL	1.6	78.1	13.5	117.6	20.1		20.5	7.9		259.2
CUENCA	11.9	589.6	73.8	404.8	25.9	22.0		33.3		1151.3
LOJA	3.2	98.2	23.7	105.3	11.1	6.6	42.3			290.4
TOTAL	473.9	7534.8	1162.8	6807.4	744.1	259.4	1160.7	290.5		18433.6

CUADRO 9

MATRIZ DE TRAFICO PARA EL AÑO 2010

	IBARR	QUITO	AMBAT	GYQUIL	MANTA	MACHAL	CUENC	LOJA	TOTAL	
IBARRA			377.0	46.0	190.0	22.0	3.0	47.0	9.0	654.0
QUITO	512.0		890.0	7524.0	395.0	146.0	786.0	142.0		10365.0
AMBATO	25.0	922.0		412.0	72.0	17.0	137.0	22.0		1607.0
GYQUIL	86.0	7629.0	440.0		489.0	126.0	532.0	151.0		9423.0
MANTA	8.0	413.0	75.0	442.0		26.0	42.0	20.0		1026.0
MACHAL	2.0	108.0	19.0	162.0	28.0		28.0	11.0		358.0
CUENCA	16.0	814.0	102.0	559.0	36.0	30.0		46.0		1603.0
LOJA	4.0	136.0	33.0	145.0	15.0	9.0	58.0			400.0
TOTAL	653.0	10399.0	1605.0	9394.0	1027.0	357.0	1600.0	401.0		25436.0

CUADRO 10

2.3 ANALISIS DE LA TOPOLOGIA DE LA RED DE LARGA DISTANCIA.

Una vez obtenidas las matrices de tráfico en [Erlg], se determina la configuración óptima de la red de larga distancia nacional, para esto se toma de referencia un estudio que fue desarrollado en la "DIVISION DE PLANIFICACION A LARGO PLAZO" del EMETEL, que determinó un tipo de red óptima para nuestro país como se muestra en la Fig. 3. Esta red permitirá tener mayor flexibilidad y confiabilidad para los sistemas de transmisión digital.

En los cuadros 11, 12, 13, Y 14 se presentan las matrices de circuitos telefónicos obtenidos a partir de las matrices de tráfico para cada uno de los periodos en estudio.

2.4 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CIRCUITOS POR CENTRALES DE TRÁNSITO:

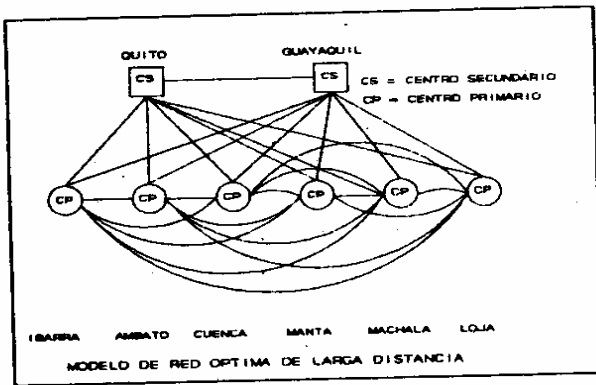


Fig. 2.3

En el cuadro 17 se presenta el número de circuitos necesarios en cada una de las centrales de tránsito nacional al año 2010 considerando la topología de red óptima.

CENTRALES DE TRÁNSITO NACIONAL	NÚMERO DE CIRCUITOS AL AÑO 2010
CENTRO SECUNDARIO QUITO (CSQT)	572
CENTRO SECUNDARIO GUAYAQUIL (CSGY)	1230
IBARRA (CP)	1428
QUITO (CP)	21298
AMBATO (CP)	7350
GUAYAQUIL (CP)	15140
MANTA (CP)	2208
MACHALA (CP)	310
CUENCA (CP)	3390
LOJA (CP)	700

NOTA: CP se denomina a las centrales de tránsito primarias.

Según los resultados indicados en el cuadro 17, todas las centrales primarias a excepción de Quito y Guayaquil, requieren antes del año 2010; menos de 10000 circuitos telefónicos; por lo que se considera que no habrá necesidad de instalar nuevos

centros primarios. En el caso de Quito y Guayaquil se justifica a corto plazo la instalación de nuevas centrales de tránsito primarias.

3. ANALISIS DE LAS RUTAS ALTERNATIVAS

En el desarrollo del presente proyecto se considera toda la infraestructura existente en el país, para luego realizar una comparación técnico-económica entre los sistemas de radio digital y el sistema óptico.

Entre los diferentes tipos de infraestructura existentes en nuestro país, se escoge aquellos que se consideran apropiados, que permitan proteger a los cables ópticos a ser instalados y que ofrezcan mayor seguridad para el funcionamiento del sistema.

Se hace un análisis de las diversas infraestructuras existentes en el país, tales como: líneas de alta tensión, oleoductos, poliductos, línea del tren, etc.

3.1 SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO

El sistema nacional interconectado de INECEL, atraviesa por todas las capitales provinciales a excepción de Galápagos y el Oriente con líneas de transmisión de 230 Kv y 138 Kv.

Como se tiene un anillo cerrado del sistema nacional interconectado entre las ciudades de Quito y Guayaquil, es conveniente cerrar un anillo por fibra óptica entre estas dos ciudades y desarrollar un verdadero sistema de comunicaciones de larga distancia nacional bien protegido y con un alto factor de seguridad. Se presenta dos alternativas de instalación por el SNI de INECEL como se las describen a continuación.

1.- Reemplazando al hilo de guardia con un cable de fibras ópticas "Composite Overhead Optical Ground Wire" (OPT-GW).

2.- Instalación aérea paralela al hilo de guardia, utilizando una fibra de material completamente dieléctrico "ADSS CABLE".

3.1.1 ANALISIS DE LA RUTA QUE REEMPLAZA EL HILO DE GUARDIA

La instalación en los sistemas de alta tensión es normalmente proyectado con una confiabilidad muy superior a todos los sistemas de telecomunicaciones; difícilmente una línea de alta tensión o torre se cae, sin embargo una caída no implica una ruptura del cable; en caso de que exista una ruptura del cable, la reparación para la reposición de la comunicación es un procedimiento simple y rápido, el mismo que presenta el sistema eléctrico hasta su recuperación.

La seguridad de este medio en cuanto a la posibilidad de destrucción es alta, puesto que el acceso a un medio energizado

MATRIZ DE CIRCUITOS BIDIRECCIONALES PARA EL AÑO 1995

	CSQTO	CSGYL	IBARR	QUITO	AMBAT	GYQUIL	MANT	MACH	CUENC	LOJA	TOTAL
CSQTO	-	60	0	0	0	0	0	0	0	0	60
CSGYL	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IBARRA	120	30	-	330	90	330	60	0	300	90	6870
QUITO	180	90	0	-	600	5100	330	180	300	90	1320
AMBATO	120	60	0	0	-	750	150	60	120	60	2880
GYQUIL	60	240	0	0	0	-	1050	630	600	300	420
MANTA	30	150	0	0	0	0	-	150	60	30	270
MACHAL	30	120	0	0	0	0	0	-	60	60	180
CUENCA	0	120	0	0	0	0	0	0	-	60	150
LOJA	30	120	0	0	0	0	0	0	0	-	150
TOTAL	570	990	0	330	690	6180	1590	1020	1200	600	12170

CUADRO 11

MATRIZ DE CIRCUITOS BIDIRECCIONALES PARA EL AÑO 2000

	CSQTO	CSGYL	IBARR	QUITO	AMBAT	GYQUIL	MANT	MACH	CUENC	LOJA	TOTAL
CSQTO	-	90	0	0	0	0	0	0	0	0	90
CSGYL	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IBARRA	90	30	-	420	30	120	0	0	30	0	720
QUITO	180	90	0	-	960	7200	420	150	610	150	9960
AMBATO	120	30	0	0	-	450	90	30	150	30	900
GYQUIL	60	210	0	0	0	-	480	180	600	180	1710
MANTA	0	150	0	0	0	0	-	30	30	30	240
MACHAL	0	90	0	0	0	0	0	-	30	0	120
CUENCA	0	150	0	0	0	0	0	0	-	60	210
LOJA	0	120	0	0	0	0	0	0	0	-	120
TOTAL	450	960	0	420	990	7770	990	390	1650	450	14070

CUADRO 12

MATRIZ DE CIRCUITOS BIDIRECCIONALES PARA EL AÑO 2005

	CSQTO	CSGYL	IBARR	QUITO	AMBAT	GYQUIL	MANT	MACH	CUENC	LOJA	TOTAL
CSQTO	-	60	0	0	0	0	0	0	0	0	60
CSGYL	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IBARRA	90	30	-	660	60	150	30	0	30	0	1050
QUITO	240	120	0	-	1320	10950	570	180	1140	180	14700
AMBATO	150	30	0	0	-	600	90	30	180	30	1110
GYQUIL	90	270	0	0	0	-	660	210	780	210	2220
MANTA	30	120	0	0	0	0	-	30	60	30	270
MACHAL	0	120	0	0	0	0	0	-	30	0	150
MACHAL	0	90	0	0	0	0	0	0	-	60	270
CUENCA	30	180	0	0	0	0	0	0	0	-	150
LOJA	30	120	0	0	0	0	0	0	0	-	150
TOTAL	570	1080	0	900	1890	16200	1890	630	3090	780	19980

CUADRO 13

MATRIZ DE CIRCUITOS BIDIRECCIONALES PARA EL AÑO 2010

	CSQTO	CSGYL	IBARR	QUITO	AMBAT	GYQUIL	MANT	MACH	CUENC	LOJA	TOTAL
CSQTO	-	60	0	0	0	0	0	0	0	0	60
CSGYL	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IBARRA	90	30	-	900	60	240	30	0	60	0	1410
QUITO	210	150	0	-	1830	15120	810	240	1560	270	20190
AMBATO	150	30	0	0	-	840	150	30	240	60	1500
GYQUIL	90	270	0	0	0	-	900	300	1080	300	2940
MANTA	0	150	0	0	0	0	-	60	90	30	330
MACHAL	0	90	0	0	0	0	0	-	60	30	180
CUENCA	30	180	0	0	0	0	0	0	-	90	300
LOJA	0	120	0	0	0	0	0	0	0	-	120
TOTAL	570	1080	0	900	1890	16200	1890	630	3090	780	27030

CUADRO 14

de alta tensión es peligroso y difícil, esto debe ser hecho por personal altamente calificado.

La instalación del hilo de guardia se lo puede hacer con líneas desenergizadas o energizadas (línea caliente), dependiendo del tipo de convenio que se realice entre INECEL y EMETEL.

3.1.2 ANALISIS DE LA RUTA CON UN CABLE DE FIBRA OPTICA COMPLETAMENTE DIELECTRICO

La instalación y montaje de un cable de fibras ópticas completamente dieléctrico, se lo realiza en la parte inferior con respecto del último cable de fase que se encuentra en el mástil de una línea de alta tensión. También se lo utiliza para instalaciones en postes de baja tensión, a diferencia del OPT-GW que reemplaza al hilo de guardia que se ubica en la parte mas alta del mástil.

Este cable de fibras ópticas puede ser utilizado para el ingreso a las ciudades en la postería de baja tensión (6,3 Kv) con buenos resultados, y bajos costos de instalación.

3.1.3 DETERMINACIÓN DE LA RUTA POR EL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO.

Analizando la ruta Quito - Guayaquil por el sistema nacional interconectado, se determina que debe ser una ruta mixta con instalación aérea e instalación enterrada por ductos existentes o ductos nuevos en tramos pequeños, especialmente en las entradas y salidas de las ciudades que forman parte del sistema troncal con derivaciones de banda base en las estaciones terminales y regeneradoras.

El trayecto a seguirse del sistema nacional interconectado es el que considera las subestaciones de INECEL con el siguiente recorrido: Vicentina - Santa Rosa (Quito) - Santo Domingo - Quevedo - Pascuales - Policentro (Guayaquil) con una distancia de 370 Km, paralela por tramos al sistema de Radio Digital.

El presente estudio considera que es la mejor opción, especialmente en la determinación de la factibilidad de los sistemas ópticos frente a los sistemas de Radio Digital, siendo la ruta mas corta para interconectar estas dos ciudades.

3.2 OLEODUCTOS Y POLIDUCTOS.

En nuestro país se tiene el oleoducto de PETROECUADOR, que viene del Oriente y se dirige hacia la refinería de Esmeraldas pasando por Quito y Santo Domingo. El tramo que nos interesa es Quito - Santo Domingo, adicionalmente se cuenta con una infraestructura en poliductos como son:
1.- El poliducto que pertenece a Petrocomercial, quizá uno de los mas recientes, con el siguiente recorrido: Santo Domingo

- Quevedo - Pascuales - Guayaquil, es por este sistema por donde se puede instalar el cable de fibras ópticas, enterrado paralelo a la tubería, considerando que estas instalaciones tienen carreteras de acceso para la supervisión, instalación y el mantenimiento posterior del sistema.

2.- La otra alternativa es el Poliducto Quito - Ambato - Riobamba - Guayaquil, paralelo a la línea férrea con una longitud de 440 Km., perteneciente a la Empresa de Ferrocarriles del Ecuador. El poliducto funciona parcialmente por tramos, debido al estado de deterioro que se encuentra.

3.3 INSTALACIÓN PARALELA A LA LÍNEA FERREA

En el país se tiene la línea férrea de la empresa de ferrocarriles del Ecuador, que une las ciudades de Quito y Guayaquil atravesando el centro del país, con una distancia de 446.3 Km.

Se considera el recorrido de la línea férrea como una buena alternativa ya que en su trayecto atraviesa por las ciudades del centro del país y éstas pertenecerían a la ruta troncal que une las ciudades de Quito - Guayaquil. Además es importante considerar que es una ruta poco congestionada por el tráfico existente.

Debido a la topografía del terreno y a la gran cantidad de cruces de carreteras, ciudades y poblaciones se determina que este tipo de instalación sea mucho más costosa que las otras alternativas.

3.4 DETERMINACIÓN DE LA RUTA ALTERNATIVA.

Las observaciones realizadas anteriormente fueron hechas con la finalidad de determinar la tecnología, capacidad, dimensión de los costos y configuración del sistema interurbano del país. Considerando las ventajas de la implementación de nuevos servicios, modernización y flexibilidad de el sistema, optimización de recursos y medios disponibles en torno a estrategias de crecimiento y digitalización, como también el factor de seguridad.

De las alternativas descritas en este proyecto, se escoge y sugiere la implantación del cable óptico reemplazando el hilo de guardia por un cable "Optical Ground Wire" OPT-GW. Utilizando la infraestructura de las líneas de alta tensión del INECEL.

3.5 CALCULO DEL ENLACE.

El cálculo del enlace por fibras ópticas resulta ser bastante simple, pero requiere del correcto análisis de cada componente, fundamentalmente de aquellos que están en el límite de operación.

Para apreciar y conocer mejor a estos elementos se realiza un análisis de cada parámetro del sistema, el cual se lo ha dividido en dos partes: el cable óptico y el equipo terminal de línea.

3.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE FIBRAS ÓPTICAS

En la implantación del enlace interurbano se debe considerar la fibra que presente las mejores características tales como: baja atenuación y mayor ancho de banda por tramo. Para esto se utiliza las Rec. G.652 y G.653 del CCITT aplicable para este tipo de enlaces, con fibras ópticas monomodo que trabajan en la II y III ventana.

- a) Fibra óptica monomodo de acuerdo a la Rec. G.652 del CCITT.

Las distancias máximas calculadas entre regeneradores, de acuerdo a la Rec. G.652 son las siguientes:

Para 1300 nm.
73 Km por atenuación.
40 Km por dispersión.

Para 1550 nm.
114 Km por atenuación
100 Km por dispersión.

- b) Fibra óptica monomodo de acuerdo a la Rec. G.653 del CCITT.

Atenuación de la fibra a 1550 nm (III vent.)	≤ 0.22 dB/Km
Longitud de onda de trabajo	1550 ± 20 nm
Long. en el carrete de la fibra (inst. aérea)	≤ 6 km.
Long. en el carrete (inst. por ductos)	≤ 6 km.
Máxima dispersión cromática	≤ 3.5 ps/nm.km
Atenuación por espalse	≤ 0.1 dB
Margen de atenuación del cable	0.01 dB/Km
Atenuación por conector	0.5 dB
Dispersión máxima del tramo	2000 ps/nm
Atenuación a 1300 nm (II ventana).	≤ 0.36 dB/Km
Dispersión cromática a 1300 nm.	≤ 20 ps/nm.km
Dispersión máxima del tramo a 1300 nm.	300 ps/nm

CUADRO 3.1

La distancia máxima calculada entre regeneradores, según la Rec. G.653 del CCITT son las siguientes:

Para 1300 nm.
73 Km por atenuación.
15 Km por dispersión.

Para 1550 nm.
114 Km por atenuación
800 Km por dispersión.

De las características descritas en el cuadro 3.1. se determina que la fibra óptica monomodo que trabaja en la III ventana a 1550 nm es la que mejor se adapta a las condiciones de diseño del sistema interurbano.

3.5.2 PARAMETROS DEL EQUIPO TERMINAL DE LÍNEA Y REGENERADORES

Del análisis de los parámetros que determinan la intensidad de tráfico entre las ciudades de Quito - Guayaquil se determinó que se requiere de 19980 circuitos telefónicos entre éstas dos ciudades. Por lo tanto el equipo terminal de línea de fibra óptica es de 565 Mbit/s, es decir 4×139.264 Mbit/s, de acuerdo a la Rec. G.703 y G.751 del CCITT.

Como se trabaja en la III ventana con fibra monomodo de índice desplazado, el equipo terminal de línea se debe ajustar a éstas características.

Emisores ópticos.

Los emisores ópticos utilizados para la transmisión de sistemas interurbanos a altas velocidades son los láser (DFB de PAsInGa), por su elevada potencia de salida, pequeño ancho espectral y rápida respuesta de frecuencia.

Receptores Ópticos.

Los fotodiodos de avalancha (APD) se destacan por su alta velocidad de respuesta y gran sensibilidad, por lo tanto al igual que los láser son usados en sistemas de alta velocidad de transmisión. El detector fotoavalancha (APD) utilizado para la longitud de 1.55 μm es de InGaAs .

3.5.2.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO TERMINAL DE LÍNEA.

En base a los parámetros descritos anteriormente se determina las características que deben cumplir el equipo terminal de línea para la implantación del enlace interurbano.

- Emisor laser DFB	InGaAsP
- Longitud de onda	1500 ± 20 nm
- Ancho espectral del láser	< 0.15 nm
- Potencia de salida	≥ -4 dBm.
- Fotodetector	InGaAs (APD)
- Sensibilidad del receptor con BER 10^{-11}	≤ -33.2 dBm.
- Margen del equipo	3 dB
- Atenuación entre el punto S y el punto R.	≥ 31.4 dB
- Máxima potencia en el receptor (AGC).	- 12 dBm.

El regenerador debe cumplir con las mismas características del equipo terminal de línea, en los componentes ópticos, tanto en transmisión como en recepción.

3.6 CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN ÓPTICA TOTAL.

En un enlace óptico, la atenuación total también denominada presupuesto de pérdidas, equivale a la sumatoria de todas las pérdidas entre dos puntos de regeneración. Con éstos parámetros se determina

la mayor distancia posible entre regeneradores.

En la ecuación I se presenta todos los parámetros que intervienen en el cálculo del enlace por fibra óptica.

$$P_{RX} - A_o - A_{OP} + L - N * A_e - M_o - M_e - A_c \geq P_{RX} \quad (I)$$

El cálculo se realiza en base a los datos proporcionados por las compañías AT&T (ETL), y Alcoa Fujikura (fibras)

$$\begin{aligned} P_{RX} &= - 1.8 \text{ dB} \\ A_o &= - 0.5 \text{ dB} \\ A_{OP} &= 0.22 \text{ dB/Km} \\ N &= L/6 \text{ ó } L/4 \text{ Km.} \\ A_e &= 0.07 \text{ dB} \\ M_o &= 0.01 \text{ dB / Km} \\ M_e &= 3 \text{ dB} \\ P_{RX} &= - 32.2 \text{ dB} \end{aligned}$$

M_o es $L/10$ considerando una rotura del cable cada 10 Km. durante el tiempo de vida útil.
 L es la distancia del tramo.

Reemplazando éstos valores en la ecuación (I) se obtiene la distancia máxima entre regeneradores de $L \leq 114$ Km.

Utilizando los valores indicados anteriormente, se calculó el ancho de banda (AB) para una longitud máxima (L) de 114 Km.

$$AB = \frac{0.44}{(L * W_c * \Delta \lambda)} \quad (II)$$

Siendo:

$$\begin{aligned} W_c &= 2.5 \text{ pS / [nm * Km]} \\ \Delta \lambda &= 0.1 \text{ nm} \\ L &= 114 \text{ Km (longitud del tramo)} \end{aligned}$$

Con ello se tiene un AB = 15.4 GHz.

El ancho de banda obtenido es un buen factor que en lo posterior no debe preocupar, ya que únicamente se requiere de un ancho de banda inferior a 1 GHz.

3.6.1 CALCULO DEL ENLACE POR TRAMOS DE LA RUTA ESCOGIDA.

Utilizando la Ecuación I y II se determina el nivel de recepción y el ancho de banda para cada uno de los tramos, en función de la distancia como se muestra en el Cuadro 3.2 y en la Fig. 3.1.

ENLACES	LONGITUD (Km)	P_{RX} (dBm)	ANCHO DE BANDA (GHz)
QUITO - TANDAPI	62	- 28.58	28.4
TANDAPI - STO. DOMGO	54.6	- 28.5	22.2
STO. DOMGO - P. PILAR	68.5	- 28.2	28.54
P. PILAR - QUEVEDO	56.7	- 28.4	31.84
QUEVEDO - BALZAR	69.6	- 22.6	25.2
BALZAR - DAULE	62.5	- 28.9	28
DAULE - SHAGUIL (P)	51.2	- 28.1	24.4

De los datos obtenidos en el Cuadro 3.2 se determina un nivel alto de recepción; mayor que la sensibilidad del receptor, lo que garantiza una alta confiabilidad del sistema, así como también un gran ancho de banda lo que permitirá reemplazar los terminales de línea ópticos por otros de velocidades mayores.

4. CONSIDERACIONES ECONOMICAS.

Para determinar la factibilidad del proyecto, se realiza un análisis económico, siendo éste uno de los factores determinantes de la calidad y confiabilidad del sistema a implantarse.

El estudio se centra en el análisis económico, determinando el costo por canal telefónico entre las ciudades de Quito y Guayaquil, además de señalar la factibilidad de implantar el sistema por fibra óptica.

El sistema óptico interurbano aprovecha las diversas infraestructuras existentes en el país, considerando la viabilidad técnica-operacional y económica-financiera del sistema a implantarse

La instalación que reemplaza el hilo de guardia no afectará las condiciones anteriores de diseño de la línea de transmisión de INECEL, para ello se utiliza el cable de fibras ópticas OPT-GW, de similares características del hilo de guardia actual.

Para hacer realidad éste proyecto, es necesario realizar un convenio entre INECEL-EMETEL, siendo al momento dos empresas estatales con fines de servicio a los ecuatorianos.

4.1 DESCRIPCION COMPLETA DE LA RUTA.

La ruta seleccionada en la implantación del enlace por el sistema nacional interconectado, se lo realiza reemplazando al hilo de guardia de las líneas de alta tensión a 230 KV y 138 KV por un cable con 12 fibras ópticas OPT-GW.

Las acometidas a las estaciones terminales, Drop/Insert, y regeneradores se hace con un cable completamente dieléctrico "LOSSE TUBE CABLE" de 24 fibras ópticas que se instalará en ductos existentes pertenecientes a EMETEL, además se construirán los ductos que sean necesarios en la implantación del enlace.

En la Fig. 3.1 se muestra la ruta a seguirse en el desarrollo del presente proyecto, que considera las siguientes subestaciones (S/E) como son: Vicentina - Santa Rosa - Santo Domingo - Quevedo - Pascuales - Policentro, con una longitud de 370 Km.

El tipo de estación terminal o regeneradora a ser implantada en cada uno de los puntos de regeneración se muestra en la Fig. 3.3.

4.2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL COSTO DEL EQUIPO

Los costos de los diversos componentes de la red han sido elegidos en base a consultas a los proveedores: los costos de los cables ópticos fueron proporcionados por la empresa Norteamericana "ALCOA FUJIKURA LTD", y los costos unitarios de los equipos ópticos y digitales se obtuvieron de la empresa Norteamericana AT&T, así como también en base al contrato 871222 de EMETEL con la compañía SIEMENS.

El análisis de costos del sistema se lleva a cabo en dos rubros por separado, el costo del cable de fibras ópticas que incluye los de accesorios y la instalación por metro; el costo del equipo.

4.3 COSTOS TOTALES DEL EQUIPO.

Los componentes del equipo a instalar son los siguientes:

- Equipo óptico
- Equipo de conmutación
- Equipo multiplex.
- Equipo de energía

El listado de los componentes de la red digital se muestran en la Fig. 3.2, según la configuración obtenida en el estudio de la red a implantarse en el país. En el cuadro 4.1 se presentan los costos unitarios y totales de los componentes de la red óptica.

4.4 INVERSIÓN TOTAL DEL SISTEMA

Con los resultados obtenidos en el cuadro 4.1 se determina el costo total de la inversión, costo de la instalación del equipo y costo de instalación del cable de fibras ópticas. Con estos tres parámetros se establece el costo por canal de 64 Kbit/s entre las ciudades de Quito y Guayaquil, que permite decidir si el proyecto es rentable para el EMETEL.

En el cuadro 4.2 se presenta la inversión total del sistema óptico.

RUBROS	COSTO TOTAL EN (DOLARES)
INVERSIÓN TOTAL	5813220
COSTO DE INSTALACION DEL EQUIPO	565221
COSTO DE INSTALACION DE LA FIBRA	1453415

CUADRO 4.2

4.5 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Corresponden a los gastos generados por la administración y explotación de la red, se considera principalmente: el pago al personal, vehículos, oficinas, muebles, y equipo de prueba.

El origen de los fondos necesarios, deben provenir en su totalidad de asignaciones estatales, que el EMETEL debe considerar en su programa de inversiones.

Se considera que la vida útil de los equipos electrónicos es de 10 años, y que luego deben ser cambiados por obsolescencia, y no por la operación del sistema.

Los ingresos se calcula en base al número de circuitos por el precio unitario de cada circuito, siendo éste el único factor de ingresos considerado en el proyecto.

4.6 COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE LA FIBRA ÓPTICA Y EL RADIO DIGITAL.

Se realiza una comparación de costos por canal telefónico entre el sistema de fibra óptica y el radio digital, que permita determinar la factibilidad del sistema óptico frente al de radio digital, con la posibilidad de ampliación a futuro ya sea utilizando multiplex por longitud de onda o reemplazando el equipo terminal de línea por otro de jerarquía superior en el orden de los GBIT/S.

A medida que se requiera sistemas de gran ancho de banda los sistemas de radio digital tienden a desaparecer y serán los sistemas por fibra óptica que vayan a substituirlos.

Para realizar un análisis comparativo de costos por canal telefónico de la ruta Quito - Guayaquil primero se describe el tipo de Radio Digital contratado por el IETEL (CONTRATO 871222). Siendo un sistema de alta capacidad de 140 Mbit/s (4 x 34 Mbit/s), en la banda de los 4 GHz del espectro de frecuencias con una configuración de (2+1).

En el cuadro 4.3, se presenta los costos del equipo contratado, así como también los costos que demanda la instalación y el funcionamiento del sistema de radio digital, con la infraestructura necesaria para la implantación de la red.

Los costos de la inversión del sistema de radio digital constituyen: el costo de los equipos, apertura de las carreteras de acceso a las estaciones nuevas, y además el costo de instalación de la red de radio digital como se indica en el cuadro 4.3.

INVERSIÓN	COSTOS EN DOLARES
- Costos del equipo, e infraestructura.	6'285000
- Costos de instalación	942750
COSTO TOTAL DE LA INVERSIÓN	7'277750

CUADRO 4.3

4.6.1 COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación del sistema de Radio Digital se calculan en base al personal encargado del sistema de radio digital en la R-1 (región uno) y en la R-2. Con el valor óptimo del canal a 64 Kbit/s

para el sistema de comunicaciones óptica, se hace la comparación de costos por canal entre las ciudades de Quito y Guayaquil, como se muestra en el cuadro 4.4.

SISTEMA	COSTO DEL SISTEMA EN \$.	COSTO POR CANAL EN \$.	COSTO DEL CANAL A DISTANCIA EN \$.
Fibra óptica	477.5	13.9	2.5938
Radio digital	360	13.9	1.4

CUADRO 4.4

Del cuadro 4.4 se determina que el sistema más económico y con mejor calidad de funcionamiento es el sistema de fibra óptica con una relación de costos por canal de 1 a 7 frente al sistema de radio digital.

4.7 COMPARACION DE COSTOS ENTRE LAS PRINCIPALES ALTERNATIVAS DE COMUNICACION

Se analiza las principales alternativas viables que existen para las comunicaciones interurbanas, utilizando radio digital, fibra óptica, o por vía satélite.

Para determinar los costos del sistema por vía satélite se realiza un análisis comparado de las comunicaciones por satélite, considerando que el EMETEL en la actualidad tiene alquilado dos transponder, y los costos se utilizan para enlazar las dos estaciones terrenas tanto la de Quito como la de Guayaquil, con lo que se obtendría una alternativa de comunicación entre estas dos ciudades.

En el cuadro 2.5, se presentan los costos de las principales alternativas que al momento existen, para enlaces de larga distancia nacional.

SISTEMAS	COSTO POR CANAL EN \$ (1975)	Relación de costos frente al sistema por fibra óptica
1.- Fibra óptica	US \$ 275	1
2.- Radio digital	US \$ 1255	4.56
3.- Vía satélite	US \$ 1677	6.08

CUADRO 4.5

Del cuadro 4.5 se determina que la mejor alternativa que existe para implantar enlaces de larga distancia nacional es utilizando fibra óptica, considerando que la instalación es por las líneas de alta tensión que tienen un factor de seguridad alto, lo que permite determinar la factibilidad y confiabilidad de la red, así como también el sistema más económico. De esto se concluye que el sistema de fibra óptica debe empezar a implantarse en el país, especialmente la ruta Quito - Guayaquil siendo esta la ruta con mayor tráfico inter-urbano, la cual constituye una solución a largo plazo de las comunicaciones del país.

CONCLUSIONES

Las fibras ópticas constituyen la tecnología más importante para el futuro de las redes de telecomunicaciones, la im-

platación de estas permite un gran salto tecnológico y un cambio conceptual en el tratamiento de la información.

Los sistemas interurbanos por fibra óptica constituyen una solución a largo plazo, y con gran flexibilidad de aplicación en la capacidad de la red.

Este documento constituye un apunte de las telecomunicaciones del país, con la finalidad de incentivar nuevos trabajos que en el futuro se hagan realidad.

Se presenta como alternativa desarrollar una modelo de red de gerarquía sin jerarquía digital para el país utilizando los enlaces por fibra óptica interurbanos.

BIBLIOGRAFIA

- ALCOA FULJIKURA LTD., "Optical Fiber Cables and System", USA, Octubre de 1992.
- ARES ROBERTO, "Sistemas de Transmisión Digital", segunda edición, vol. 2, Milano - Italia, 1991.
- AT&T, "Optical terminal system, and cost", USA, Octubre 20 de 1992.
- CCITT GAS 10, "Planificación general de red", Ginebra - Suiza, 1986.
- DAZ R., "Comunicaciones por fibra óptica", serie mundo electrónico, Barcelona - España, 1986.

BIOGRAFIA.

TARQUINO SANCHEZ A. Nació en Atuntaqui el 18 Marzo de 1954. Obtuvo el título de Bachiller en Humanidades Modernas en el Colegio Particular Sánchez y Fuentes 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 Auxiliar de tiempo completo y coordinador del Área de Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional.

ARNOLDO VIDAL T. Nació en Loja el 27 de Mayo de 1960. Obtuvo el título de Bachiller en Humanidades Modernas, especialidad de Físico-Matemáticas en el Colegio Santo Domingo de Santo Dmgo. de los Colorados en 1980.

Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en 1990. Actualmente presta sus servicios en EMETEL, donde trabaja en los sistemas de radio en la banda de