



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIONES  
SUBMARINAS PARA LA ZONA CENTRO OCCIDENTAL  
DE VENEZUELA.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**  
presentado ante la  
**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**  
como parte de los requisitos para optar al título de  
**I N G E N I E R O   E N   T E L E C O M U N I C A C I O N E S**

REALIZADO POR José Froilán Quintero Castillo.

Gibran Mikael Uribe Páez.

PROFESOR GUÍA Ing. José Ignacio Quintero.

FECHA Septiembre de 2012

## RESUMEN

# DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIONES SUBMARINAS PARA LA ZONA CENTRO OCCIDENTAL DE VENEZUELA

Quintero, José.

[jfquintero7@gmail.com](mailto:jfquintero7@gmail.com)

Uribe, Gibran.

[uribe.gibran@gmail.com](mailto:uribe.gibran@gmail.com)

El avance de las tecnologías ha permitido el desarrollo de las telecomunicaciones. La fibra óptica ha sido el medio que más ha favorecido ese desarrollo. Ni los inmensos volúmenes de agua existentes en el planeta han impedido estos avances. Basado en lo anterior, este diseño propone una nueva red de comunicaciones submarinas, para satisfacer la creciente demanda y mantener los niveles óptimos del servicio de telecomunicaciones en la zona Centro Occidental de Venezuela. Para ello se proponen 7 tramos de fibra óptica submarina monomodo, que abarcan desde Maiquetía hasta Maracaibo. Contemplando 8 puntos en tierra donde emergerá la fibra: Camurí, Puerto Cabello, Chichiriviche, Coro, Punto Fijo, Caimare Chico, Cabimas y Maracaibo. El tramo que nace en Caimare Chico y va en dirección a Cabimas contará con una unidad de ramificación, permitiendo que la fibra emerja en Cabimas y Maracaibo. Se empleará la tecnología DWDM en cada una de las estaciones terrenas, para cumplir con el requerimiento de 40 canales de 40 Gbps cada uno. Recomendamos que el estudio batimétrico sobre la ruta se haga con un corredor de 350 m, para asegurar la integridad del cable, y que se estime entre un 2% a 3% de mayor longitud en el cable, logrando una holgura en cada tramo para realizar modificaciones derivadas del estudio batimétrico. Este trabajo también compendia bibliografía, para que sirva de referencia a futuros trabajos e investigaciones en este campo tan innovador de las telecomunicaciones, cuyo crecimiento y ampliación coloca al alcance de todos los ciudadanos la información, desconcentrándola geográficamente y propiciando el desarrollo armonioso y equilibrado del país.

Palabras Clave: Fibra Óptica, Comunicaciones Submarinas, DWDM.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que nada, gracias a Dios por darnos la bendición de alcanzar esta meta y pedirle que nos siga acompañando a lograr todas las demás que nos proponamos.

A nuestras familias, por apoyarnos en todas las etapas de formación, por permanecer siempre a nuestro lado dándonos las fuerzas necesarias para seguir siempre hacia adelante y nunca decaer ni renunciar.

Gracias al Ingeniero José Ignacio Quintero, nuestro tutor, por suministrarnos este proyecto y haber creído en nosotros, brindándonos siempre su apoyo y conocimiento irrestricto durante la elaboración del mismo.

Deseamos también expresar nuestras más sinceras palabras de agradecimiento a todas aquellas personas que, de una forma u otra, nos brindaron su invaluable colaboración y que mediante sus consejos nos orientaron hacia el logro de nuestras metas.

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este proyecto de grado a nuestra universidad, Universidad Católica Andrés Bello, para que el compendio de información que aquí se presenta, contribuya con en la formación de nuevos y mejores profesionales.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIV
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.....	1
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
I.2 OBJETIVO GENERAL.....	2
I.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	2
I.4 JUSTIFICACIÓN.....	3
I.5 LIMITACIONES Y ALCANCES .....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
II.1. ANTECEDENTES.....	5
II.1.1 CABLES SUBMARINOS.....	5
II.1.2 APARICIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA .....	7
II.1.3 LLEGADA CABLES FIBRA ÓPTICA VENEZUELA .....	8
II.1.3.1 CABLES EN FUNCIONAMIENTO.....	8
II.2. LA FIBRA ÓPTICA.....	9
II.2.1 LEY DE SNELL.....	9
II.2.2 REFLEXION TOTAL INTERNA.....	10
II.2.3 APERTURA NUMÉRICA DE LA FIBRA .....	11
II.2.4 MODOS EN LA FIBRA.....	12
II.2.5 FIBRAS MONOMODO.....	13
II.2.6 FIBRAS MULTIMODO .....	14
II.2.6.1 FIBRAS MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL.....	14
II.2.6.2 FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO .....	15
II.2.7 FABRICACIÓN DE LA FIBRA .....	16
II.2.7.1 MÉTODO OVD .....	17
II.2.7.2 MÉTODO VAD .....	17
II.2.7.3 MÉTODO VCD .....	18
II.2.7.4 MÉTODO PCVD .....	19

II.2.7.5 ESTIRADO DE LA FIBRA .....	20
II.2.8 CABLES DE FIBRA ÓPTICA.....	20
II.2.8.1 PROTECCIÓN SUELTA DE LA FIBRA .....	21
II.2.8.2 PROTECCIÓN HOLGADA MULTIFIBRA .....	22
II.2.8.3 PROTECCIÓN AJUSTADA .....	23
II.2.8.4 PROTECCIÓN COMPACTA .....	23
II.2.8.5 TÉCNICA DE CINTA .....	24
II.2.8.6 ELEMENTOS DE COMPOSICIÓN DEL CABLE.....	24
II.2.8.7 CLASIFICACIÓN DE LOS CABLES ÓPTICOS .....	26
II.2.8.7.1 CABLES DE PLANTA EXTERNA.....	26
II.2.8.7.2 CABLES DE PLANTA INTERNA.....	28
II.2.8.7.3 CABLES ESPECIALES.....	29
II.3 FIBRA ÓPTICA SUBMARINA .....	29
II.3.1 COMPOSICIÓN DEL CABLE .....	30
II.3.2 PROCESO DE INSTALACIÓN DEL CABLE SUBMARINO .....	33
II.3.3 REPARACIÓN DE AVERÍAS DE CABLES SUBMARINOS .....	39
II.4 EQUIPOS DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA .....	41
II.5 FÓRMULAS DE CÁLCULOS DE ENLACES. ....	50
II.5.1 CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DE LA FIBRA. ....	51
II.5.2 CÁLCULO DEL ANCHO DE BANDA. ....	52
II.5.3 CÁLCULO DE DISPERSIÓN DE FIBRA MONOMODO. ....	53
II.6 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN LONGITUDES DE ONDAS DENSAS.....	54
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>57</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>57</b>
III.1 INVESTIGACIÓN Y DOCUMENTACIÓN .....	57
III.2 PLANIFICACIÓN .....	57
III.3 EJECUCIÓN Y DISEÑO.....	58
III.4 PRESUPUESTO .....	58
III.5 CIERRE .....	59
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>60</b>
<b>DESARROLLO .....</b>	<b>60</b>
IV.1 INVESTIGACIÓN TEÓRICA .....	60
IV.2 SELECCIÓN DE LA RUTA. ....	62
IV.2.1 CAMURÍ – PUERTO CABELLO .....	62
IV.2.2 PUERTO CABELLO – CHICHIRIVICHE .....	64

IV.2.3 CHICHIRIVICHE – CORO.....	64
IV.2.4 CORO – PUNTO FIJO: .....	65
IV.2.5 PUNTO FIJO – CAIMARE CHICO .....	66
IV.2.6 CAIMARE CHICO – CABIMAS .....	66
IV.2.7 CAIMARE CHICO - MARACAIBO: .....	67
IV.2.7.1 OPCIÓN DE CABLE DIRECTO .....	67
IV.2.7.2 OPCIÓN DE BRANCHING UNIT.....	68
IV.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	69
IV.4 ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO ESTIMADO.....	80
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>81</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>81</b>
V.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN Y DOCUMENTACIÓN. ....	81
V.2 RESULTADOS DE LA PLANIFICACIÓN. ....	83
V.3 RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN Y DISEÑO. ....	85
V.3.1 MAIQUETÍA – PUERTO CABELLO.....	86
V.3.2 PUERTO CABELLO – CHICHIRIVICHE.....	88
V.3.3 CHICHIRIVICHE – CORO .....	90
V.3.4 CORO – PUNTO FIJO .....	92
V.3.5 PUNTO FIJO – CAIMARE CHICO .....	94
V.3.6 CAIMARE CHICO – CABIMAS .....	95
V.3.7 CAIMARE CHICO - MARACAIBO.....	99
V.4 RESULTADOS DEL PRESUPUESTO .....	124
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>126</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>126</b>
VI.1 CONCLUSIONES.....	126
VI.2 RECOMENDACIONES.....	128
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>130</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>133</b>
ANEXO 1 DATOS DEL CABLE ALBA-1 .....	133
ANEXO 2 DATOS DEL CABLE ARCOS-1.....	134
ANEXO 3 DATOS DEL CABLE PANAM .....	135
ANEXO 4 DATOS DEL CABLE GLOBENET. ....	136
ANEXO 5 DATOS DEL CABLE AMERICAS II .....	137
ANEXO 6 DATOS DEL CABLE PAC.....	138

ANEXO 7 DATOS DEL CABLE SAC..... 139

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Reflexión y Refracción de la Luz. ....	10
Figura 2. Reflexion total interna.....	11
Figura 3. Apertura Numérica de la fibra óptica.....	12
Figura 4. Propagación de Modos en la Fibra.....	13
Figura 5. Funcionamiento fibra monomodo.....	14
Figura 6. Funcionamiento de fibra multimodo de índice gradual.....	15
Figura 7. Funcionamiento fibra multimodo de índice escalonado.....	15
Figura 8. Técnica OVD.....	17
Figura 9. Método VAD.....	18
Figura 10. Método VCD.....	19
Figura 11. Método PCVD.....	19
Figura 12. Estirado de la preforma.....	20
Figura 13. Protección suelta de la fibra.....	21
Figura 14. Protección Holgada Multifibra.....	22
Figura 15. Maxitubo.....	22
Figura 16. Protección ajustada.....	23
Figura 17. Protección Compacta.....	23
Figura 18. Técnicas de cinta.....	24
Figura 19. Estructura de un cable Óptico.....	25
Figura 20. Cable planta externa de estructura rígida.....	27
Figura 21. Cable externo de estructura suelta: Ranurado.....	27
Figura 22. Cable externo de estructura suelta con espaciadores.....	28
Figura 23. Cable Externo de Estructura Suelta en Maxitubos.....	28
Figura 24. Tipos de Cable de planta interna.....	29
Figura 25. Estructura del Cable Submarino.....	30
Figura 26. Composición de Armaduras del Cable Submarino de Fibra Óptica.....	31
Figura 27. Cables de Fibra Submarina de Diferentes Armados.....	32
Figura 28. Cables de Fibra Submarina Colonizados bajo el mar.....	33
Figura 29. Barco Batimétrico.....	36
Figura 30. Barco Instalador de Cable Submarino.....	37

Figura 31. Colocación de una Cámara de Amarre.....	38
Figura 32. Arado preparado para realizar enterrado.....	38
Figura 33. Barco Pesquero arrastrando un Cable Submarino.....	40
Figura 34. Bandas de un material Semiconductor.....	42
Figura 35. Modelo Explicativo del Fenómeno de Emisión Espontánea.....	42
Figura 36. Comparación entre el ancho Espectral del LASER y el LED.....	43
Figura 37. Relación entre el BER y Q.....	46
Figura 38. Empalme para Cables diferente Armado. ....	47
Figura 39. Unidad de Ramificación.....	48
Figura 40. Conceptualización de un sistema DWDM. ....	54
Figura 41. División del Espectro y Ventanas de Operación.....	55
Figura 42. Ruta Número 1: Camurí – Puerto Cabello. ....	63
Figura 43. Ruta Número2: Camurí – Puerto Cabello. ....	63
Figura 44. Rutas Puerto Cabello – Chichiriviche. ....	64
Figura 45. Rutas Chichiriviche-Coro. ....	65
Figura 46. Rutas Coro – Punto Fijo.....	65
Figura 47. Rutas Punto Fijo – Caimare Chico.....	66
Figura 48. Rutas Caimare Chico – Cabimas.....	67
Figura 49. Rutas Cabimas – Maracaibo. ....	68
Figura 50. Caimare Chico - Maracaibo .....	68
Figura 51. Hoja Número1: Características de la fibra. ....	71
Figura 52. Hoja número 2: Características del transmisor. ....	72
Figura 53. Hoja número 3: Características del Receptor.....	73
Figura 54. Hoja número 4: Requerimientos del sistema por tramo.....	74
Figura 55. Cálculos de ensanchamiento por dispersión cromática.....	76
Figura 56. Cálculo de dispersión por polarización. ....	76
Figura 57. Calculo total de la dispersión introducida en el sistema. ....	77
Figura 58. Cálculo de ancho de banda del sistema por tramo. ....	77
Figura 59. Cálculo de pérdidas en la fibra óptica. ....	78
Figura 60. Cálculo de pérdidas en los empalmes. ....	78
Figura 61. Cálculo de pérdida por conexiones. ....	78

Figura 62. Calculo total de las pérdidas en el sistema.....	79
Figura 63. Calculo total de las pérdidas en el sistema.....	79
Figura 64. Mapa de red establecida en Venezuela. ....	82
Figura 65. Carta marina boca del lago de Maracaibo.....	84
Figura 66. MapSource Versión 6.12.4.....	84
Figura 67. Ruta Maiquetía – Puerto Cabello. ....	86
Figura 68. Puntos de paso (waypoints).....	86
Figura 69. Ruta Puerto Cabello – Chichiriviche. ....	88
Figura 70. Ruta Chichiriviche – Coro. ....	90
Figura 71. Ruta Coro – Punto Fijo. ....	92
Figura 72. Ruta Punto fijo – Caimare Chico. ....	94
Figura 73. Ruta Punto fijo - Cabimas. ....	96
Figura 74. Ruta Caimare Chico - Maracaibo.....	100
Figura 75. Ruta total de interconexión submarina.....	101
Figura 76. Ubicación de la cámara de amarre de camurí. ....	102
Figura 77. Ubicación de la cámara de amarre de puerto cabello.....	102
Figura 78. Ubicación de la cámara de amarre de Chichiriviche.....	103
Figura 79. Ubicación de la cámara de amarre de Coro. ....	103
Figura 80. Ubicación de la cámara de amarre Punto Fijo. ....	104
Figura 81. Ubicación de la cámara de amarre de Coro. ....	104
Figura 82. Ubicación de la cámara de amarre Cabimas. ....	105
Figura 83. Ubicación de la cámara de amarre Maracaibo. ....	105
Figura 84. Diseño del cable tramo Camurí-Puerto Cabello.....	110
Figura 85. Diseño del cable tramo Pto Cabello – Chichiriviche. ....	111
Figura 86. Diseño del cable tramo Chichiriviche - Coro.....	112
Figura 87. Diseño del cable tramo Coro – Punto Fijo.....	113
Figura 88. Diseño del cable tramo Punto fijo – Caimare Chico.....	114
Figura 89. Diseño del cable tramo Caimare Chico - Cabimas ....	115
Figura 90. Diseño del cable tramo Caimare chico - Maracaibo ....	116

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distancias por tramo de la ruta final. ....	69
Tabla 2. Requerimientos del sistema.....	83
Tabla 3. Propiedades de ruta Maiquetía – Puerto Cabello. ....	88
Tabla 4. Propiedades de ruta Puerto cabello – Chichiriviche.....	89
Tabla 5. Propiedades de ruta Chichiriviche - Coro. ....	91
Tabla 6. Propiedades de ruta Coro – Punto Fijo.....	93
Tabla 7. Propiedades de ruta Punto Fijo – Caimare Chico.....	95
Tabla 8. Propiedades de ruta Caimare Chico - Cabimas. ....	99
Tabla 9. Propiedades de ruta Caimare Chico - Maracaibo.....	100
Tabla 10. Especificaciones de la fibra G.655. ....	107
Tabla 11. Especificaciones del cable DA1. ....	108
Tabla 12. Especificaciones del cable DA2. ....	109
Tabla 13. Diseño del cable para el tramo Camurí – Puerto Cabello .....	110
Tabla14.Diseño del cable para el tramo Puerto Cabello - Chichiriviche. ....	111
Tabla 15. Diseño del cable para el tramo Chichiriviche – Coro.....	112
Tabla 16. Diseño del cable para el tramo Coro – Punto fijo. ....	113
Tabla 17.Diseño del cable para el tramo Punto fijo – Caimare Chico. ....	114
Tabla18. Diseño del cable para el tramo Caimare Chico - Cabimas .....	115
Tabla 19. Especificaciones de diseño Caimare chico - Maracaibo .....	116
Tabla 20. Cálculo de datos para cálculos del sistema.....	117
Tabla 21. Cálculo de dispersión tramo Camurí – Pto Cabello. ....	118
Tabla 22. Cálculo de pérdidas tramo Camurí – Pto Cabello. ....	118
Tabla 23. Verificación de funcionalidad Camurí – Pto Cabello.....	118
Tabla 24. Cálculo de dispersión tramo Pto Cabello - Chichiriviche. ....	119
Tabla 25. Cálculo de pérdidas tramo Puerto Cabello-Chichiriviche.....	119
Tabla 26. Verificación de funcionalidad Puerto Cabello-Chichiriviche. ....	119
Tabla 27. Cálculo de dispersión tramo Chichiriviche - Coro. ....	119
Tabla 28. Cálculo de pérdidas tramo Chichiriviche – Coro. ....	120
Tabla 29. Verificación de funcionalidad Chichiriviche-Coro .....	120
Tabla 30. Cálculo de dispersión tramo Coro – Punto fijo. ....	120

Tabla 31. Cálculo de pérdidas tramo Coro – Punto fijo. ....	120
Tabla 32. Verificación de funcionalidad Coro-Punto fijo. ....	121
Tabla 33. Cálculo de dispersión tramo Punto fijo – Caimare Chico. ....	121
Tabla 34. Cálculo de pérdidas tramo Punto fijo – Caimare Chico. ....	121
Tabla 35. Verificación de funcionalidad Punto fijo – Caimare Chico. ....	121
Tabla 36. Cálculo de dispersión tramo Caimare chico – Cabimas. ....	122
Tabla 37. Cálculo de pérdidas tramo Caimare chico – Cabimas. ....	122
Tabla 38. Verificación de funcionalidad Caimare chico - Cabimas. ....	122
Tabla 39. Cálculo de dispersión tramo Punto fijo - Maracaibo. ....	122
Tabla 40. Cálculo de pérdidas tramo Punto fijo – Maracaibo. ....	123
Tabla 41. Verificación de funcionalidad Punto fijo - Maracaibo. ....	123
Tabla 42. Equipos a utilizar en la red. ....	124

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo las telecomunicaciones han sido una herramienta fundamental para el desarrollo de la humanidad. La imperante necesidad que siente el hombre por comunicarse con sus semejantes ha llevado al desarrollo de nuevas y mejores tecnologías en el ámbito de las telecomunicaciones. Ya no es suficiente estar en contacto constante con el círculo social cercano, sino además, con el resto del mundo.

Es por ello que muchas empresas prestadoras de servicio de telecomunicaciones se han propuesto modernizar constantemente sus tecnologías, para colocarse a la vanguardia y poder satisfacer, con un nivel óptimo de servicio, el creciente aumento de la cantidad de usuarios, que, además, demandan más y mejores servicios de telecomunicaciones.

Este proyecto brinda una posibilidad para poder cumplir estos objetivos, mantener un nivel de prestación de servicios de telecomunicaciones óptimo, y satisfacer la creciente demanda de usuarios que se desarrollan en la zona Centro Occidental de Venezuela, donde el incremento de clientes ha copado la capacidad de la red de fibra óptica existente, degradando el servicio prestado por las compañías que actualmente hacen uso de esta red, afectando negativamente la imagen, desencadenando demandas insatisfechas, provocando la migración de clientes a otras compañías prestadoras de servicio y generando un incesante aumento de costos. Por lo anterior se plantea el **Diseño de la Red de Comunicaciones Submarinas, utilizando un cable de fibra óptica, para la zona Centro Occidental**, desde Maiquetía hasta Maracaibo, pasando por Puerto Cabello, Chichiriviche, Coro, Punto Fijo, Caimare Chico y Cabimas.

Este trabajo de grado se encuentra redactado en seis capítulos que presentan de forma sistemática el desarrollo de este diseño. Se hace especial énfasis en su proceso de ejecución y los resultados que se obtuvieron. Es de resaltar que se realizó un gran compendio de información teórica, reseñado dentro del capítulo dos, que podrá servir de referencia a estudios posteriores, con información sobre el área de fibra óptica, y fibra óptica submarina. De igual modo, se presentan las dificultades y facilidades que se encontraron durante el desarrollo de este proyecto, contando también con las

recomendaciones destinadas, no únicamente al público en general que desee formular un proyecto similar, sino a las instituciones y empresas que de alguna forma se vieron involucradas y forman parte indispensable del desarrollo de este tipo de proyecto. Se concluye con la bibliografía, donde se encuentran todas las fuentes de información que dieron sustento a este proyecto, para que pueda servir de referencia a futuros trabajos e investigaciones que se deseen realizar en este campo tan innovador de las telecomunicaciones.

El crecimiento y ampliación de las telecomunicaciones permite que el desarrollo del país ocurra de manera equilibrada, colocando al alcance de todos los ciudadanos, y con un fácil acceso, la información; liberando así la concentración de la información en determinados puntos geográficos y brindando la posibilidad que las distintas entidades geográficas puedan desarrollarse armoniosa y equilibradamente.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO**

En el siguiente capítulo se presenta la razón principal que lleva al desarrollo de este proyecto. Se explica la necesidad de ser implantado y todos los beneficios que se lograrían, tanto para las partes interesadas, como para la sociedad venezolana. Destacándose un abanico de nuevas opciones y herramientas tecnológicas al alcance cada vez de más venezolanos, que ayudarían a incrementar su calidad de vida y les brindarían la posibilidad de estar en contacto más directo con las nuevas tecnologías.

### **I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Una de las áreas de mayor auge en los últimos años ha sido, sin duda, el sector de las telecomunicaciones, ya que el hombre, en su deseo de acortar el tiempo y la distancia ha buscado la forma de interconectarse entre sí y con el mundo, para lograr una comunicación efectiva y rápida. Es así como han sido diseñados diversos dispositivos, aparatos y sistemas que han permitido satisfacer esas expectativas en una manera eficiente. Este ha sido uno de los retos más grandes de los últimos tiempos.

El progreso en el campo de las telecomunicaciones ha impactado positivamente la sociedad y ha mejorado muchos aspectos de ésta, gracias a las grandes innovaciones que presenta esta rama del conocimiento.

Muchas naciones han comenzado a adoptar nuevas tendencias para facilitar el intercambio de información, que permita interconectar regiones de su territorio, para así poder llegar hasta los lugares más remotos, prestarles nuevos servicios y generarles beneficios.

La masificación de las telecomunicaciones ha hecho que se busquen nuevos medios, cuya capacidad y velocidad sea mayor, para poder satisfacer la creciente demanda de los servicios. Con la aparición de la fibra óptica se logró un aumento considerable en la tasa de transmisión, con mayor capacidad y mejores velocidades.

En Venezuela existe una red de fibra óptica establecida, propiedad de una de las grandes empresas de telefonía nacional. Esta compañía arrienda parte de ésta infraestructura a las distintas empresas de telecomunicaciones, quienes hacen uso de ella para prestar una mejor calidad en sus servicios.

Actualmente, en la zona Centro Occidental del país, el incremento de abonados ha traído como consecuencia la saturación de esta red de fibra óptica, mermando el rendimiento del servicio prestado por las compañías que actualmente hacen uso de esta red, afectando negativamente la imagen, generándose demandas insatisfechas, migración de clientes actuales a otras compañías prestadoras de servicio y continuo aumento de costos. La empresa que patrocina este proyecto evalúa crear su propio tendido de fibra óptica, para atender esas demandas y aprovechar las oportunidades comerciales que de ellas se derivan. Por lo anterior se plantea el Diseño de la Red de Comunicaciones Submarinas, utilizando un cable de fibra óptica, para la zona Centro Occidental, desde Maiquetía (Camurí) hasta Maracaibo, pasando por Puerto Cabello, Chichiriviche, Coro, Punto Fijo, Caimare Chico y Cabimas.

El objetivo es satisfacer la demanda actual y futura, mejorar la calidad de los servicios, reducir los costos, fortalecer la imagen de la empresa y apalancar la expansión de la organización en la zona Centro Occidental del país.

## **I.2 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar la Red de Comunicaciones Submarinas para la zona Centro Occidental de Venezuela.

## **I.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Compilar información sobre los requerimientos de la empresa, para lograr el establecimiento de las diferentes posibilidades teóricas que solucionen el problema.
- Contrastar los requerimientos, para adaptar a las posibles alternativas, seleccionando la mejor solución para el problema.
- Establecer los lugares precisos donde se ubicarán las estaciones terrenas, situando con exactitud los lugares donde la fibra emergerá a tierra.

- Realizar la investigación del lecho marino y los precedentes de rutas de fibra óptica submarina, para lograr la definición la ruta teórica.
- Diseñar la ruta teórica considerando la posibilidad de nuevos puntos de interconexión para la futura expansión de la red.
- Realizar los cálculos teóricos necesarios para la selección de los equipos de comunicaciones ópticas y tipos de fibra a usar en los diferentes segmentos del diseño.
- Estimar los costos de cada uno de los equipos seleccionados en el diseño, para la elaboración del presupuesto final.

#### **I.4 JUSTIFICACIÓN**

La creciente demanda de usuarios de la red de telecomunicaciones de la zona Centro Occidental de Venezuela y la falta de recursos físicos capaces de suplir esta demanda, para seguir brindando los niveles de calidad de servicio óptimos exigidos por los clientes, genera la necesidad de diseñar una nueva red física.

Los diseños son concursos en los que se promueven el desarrollo de nuevas ideas, generando un enriquecimiento colectivo, ya que este aporte de nuevas ideas y conocimientos se combinarán y publicarán para el aprendizaje y crecimiento de las generaciones futuras.

Con este trabajo se busca no únicamente el diseño de una red capaz de suplir en el presente todos estos requerimientos, sino además, incorporar elementos capaces de subsistir al paso del tiempo, lo cual se logra, entre otros, con la implantación de las últimas y más desarrolladas tecnologías de telecomunicaciones, en este caso la fibra óptica.

El propósito de este trabajo es concebir un diseño de una red de fibra óptica, para la zona Centro Occidental de Venezuela, que logre satisfacer la demanda, actual y futura, y supla los niveles de calidad de servicio exigidos por los usuarios, lo cual repercutirá de manera positiva en la imagen de la empresa.

## **I.5 LIMITACIONES Y ALCANCES**

Este trabajo especial de grado incluye el diseño de una red de comunicaciones submarinas entre la zona Centro Occidental del país, sin incluir su implementación. A su vez, se buscó el diseño óptimo para que sea viable y aplicable.

Se utilizaron las herramientas existentes tanto en la compañía donde se realiza el proyecto como las que se encontraron dentro de la Universidad Católica Andrés Bello.

Aquellas herramientas o materiales de apoyo que resultaron de utilidad para el proyecto y no se encontraron dentro de las instituciones anteriormente mencionadas, se estudió el adquirirlas pero una limitante fue su costo.

Los distintos equipos y tipos de fibra óptica, sometidos al estudio para la elaboración del diseño, serán los provistos por la empresa.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

El siguiente capítulo abarca toda la información teórica recolectada, que sirve de sustento para el desarrollo del diseño propuesto. Entre esta información se encuentran los antecedentes, características y evolución de cables submarinos, tanto internacionales como nacionales; la fibra óptica como medio de transmisión y su fabricación; tipos de cable, en particular los submarinos; técnicas de instalación; mantenimiento; cálculos de enlace de potencia; funcionamiento de los equipos; y todo lo concerniente a la técnica de transmisión DWDM.

#### **II.1. ANTECEDENTES**

Se explica a continuación la evolución y se hace una breve reseña histórica sobre la aparición e instalación de los primeros cables submarinos. Además, se mencionan los diferentes cables de fibra óptica submarinos existentes en Venezuela, junto con sus características y especificaciones.

##### **II.1.1 CABLES SUBMARINOS**

Como podemos encontrar en el libro de Bern Dibner, “*The Atlantic Cable*”, el telégrafo fue el primer invento de importancia y a gran escala de una aplicación de la energía eléctrica. El telégrafo permitía acortar distancias entre ciudades del mismo continente. Con ayuda del telégrafo el tiempo que se tomaba en transmitir un mensaje entre dos ciudades de un mismo continente era casi el mismo tiempo que tomaba cruzar una calle. La primera línea de telégrafo se construyó entre Washington y Baltimore en 1844, y las autopistas entre ambos lugares fueron, en poco tiempo, alineadas con los postes que cargaban el cable de cobre, donde de manera silente los mensajes eléctricos viajaban constantemente, incrementándose cada vez más con el paso del tiempo.

Luego existió la idea de comunicar sitios más lejanos aún. Sitios que estaban separados por mares, ríos u océanos, es allí cuando comienzan las pruebas y nacen las ideas de realizar un tendido de cable submarino. Para realizar dicho tendido de cable telegráfico submarino era necesario la utilización de un material aislante que protegiera el cable del

medio ambiente, en este caso del agua, quien propagaba la electricidad que viajaba a través de los mismo imposibilitando la comunicación.

Samuel Morse, inventor y pintor estadounidense nacido en 1791 en la ciudad de Boston, Massachusetts, y fallecido el 2 de abril de 1872, reconocido por su enorme contribución a la creación del telégrafo y elaboración de un método de transmisión conocido como Código Morse. (Mabee), intentó en 1842 la primera conexión submarina de un cable de telégrafo utilizando como materiales aislantes cáñamo empapado en alquitrán y brea, envuelto de una capa de caucho. También se probó otra forma de aislamiento cuando se realizó un tendido de cable telegráfico atravesando el río Hudson, Nueva York. Este aislamiento consistía en 2 cables de cobre cubiertos en algodón, aislados con una capa de caucho y envueltos en plomo. Después de varios meses de perfecto funcionamiento la línea se rompió por un témpano de hielo a comienzos de 1846. (Dibner, 1959).

En el año 1847 Werner Von Siemens, mecánico alemán, nacido en Lenthe el 13 de diciembre de 1816 y fallecido en Berlín el 6 de diciembre de 1892, conocido por introducir el uso de gutapercha en el aislamiento de los cables, y fundador de Siemens AG, creador del dinamo y el telégrafo de aguja de precisión (Siemens, 2007), introduce el uso de gutapercha como aislante para los cables submarinos.

La gutapercha es una goma extraída del árbol de la gutapercha, nativo de la península de Malaca y Malasia. Esta goma se torna suave dentro de agua caliente; mientras que en el frío se endurece, y una vez obtenida esta condición se mantiene aunque se cambie de ambiente (Burns, 2010). Esta característica convirtió la gutapercha en un material aislante ideal para cables submarinos, ya que en las profundidades frías del mar, se resaltaba su característica de hermetismo, que contribuía con su función aislante, sin llegar a ser frágil.

Dicho aislante, por sus características, funciona a la perfección y logra que el desarrollo de la comunicación a través de cables submarinos se haga posible, incluso después de la invención del teléfono. Este aislante se siguió usando para los cables telefónicos sumergibles hasta la aparición del polietileno 1947 (Varney, 2000). A partir de

ese año, los recubrimientos para aislar los cables de cobre se realizaron con polietileno en vez de gutapercha.

El polietileno es el nombre que recibe una gran variedad de resinas obtenidas por un proceso de polimerización de etileno. (IDES, 2012). El polietileno es el polímero de mayor volumen de producción y uso por sus características de flexibilidad y dureza que lo vuelven manejable y atractivo para diversos usos, uno de ellos el aislamiento de cables, con mayor eficiencia y durabilidad en comparación con la gutapercha.

Con el desarrollo de materiales más resistentes al medio ambiente, el desarrollo del cable submarino también se acrecentó. Presentando así mayores trayectorias y con coberturas de mayores distancias, debido a su fiabilidad y mayores facilidades que presentaba realizar este tipo de comunicaciones.

### **II.1.2 APARICIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA**

En el año 1950 la fibra óptica comenzó a ser de interés para los investigadores de esa época, ya que se empiezan a dar cuenta de su factibilidad para la transmisión de información y muchas otras aplicaciones que seguían siendo desarrolladas para este nuevo material. No es sino hasta 1952, cuando Narinder Singh Kapany (físico indio nacido el 12 de octubre 1926, conocido como el padre de la fibra óptica, graduado de la universidad de Agra en India, con doctorado en la Universidad de Londres en 1955) (SikhFoundation, 2011), basado en estudios realizados por John Tyndall (físico irlandés nacido el 2 de agosto de 1820 y fallecido el 4 de diciembre 1893, conocido por su estudio sobre los colides y el efecto que genera cuando un haz de luz los penetra, conocido como Efecto Tyndall) (Eve A.S, 1945), realizó experimentos que condujeron a la invención de la fibra óptica como elemento transmisor de datos a través del uso de la luz.

En el año 1956 se le empieza a dar el primer uso de importancia a la fibra óptica usándola como un transmisor de imágenes en un endoscopio. En este mismo año Charles K. Kao, profesor e investigador chino nacido en Shanghái el 4 de noviembre de 1933, conocido por conducir la investigación sobre el desarrollo de la fibra óptica como medio de transmisión óptimo y de bajas pérdidas. Galardonado con el Premio Nobel de física 2009 y considerado el padre de la comunicación óptica. (Nobelprize.org, 2009), estima que la

máxima pérdida permisible en una transmisión utilizando fibra óptica era de 20 dB/Km. Es así como en 1966, Charles K. Kao propone que con la elaboración de una fibra de vidrio de mayor transparencia, se podrían sustituir los pares de cobre, utilizados en la transmisión de mensajes telefónicos, por fibra de vidrio, que brindaría una mayor capacidad y velocidad a estos sistemas de transmisión. (Nobelprize.org, 2009).

Es en el año 1970 cuando investigadores del grupo empresarial *Corning Glass*, fabrican la primera fibra óptica de alta pureza dopada con titanio, lo que generó la primera fibra óptica con pérdidas del orden de 0,5 dB/Km.

El 22 de abril de 1977, se realiza la primera transmisión telefónica exitosa a través de fibra óptica. Esta prueba la realizó el grupo empresarial *General Telephone and Electronics*, en Long Beach, California, con una tasa de 6Mbit/s. (Bates, 2001).

En el año 1986, se realiza el primer tendido internacional de cable submarino de fibra óptica entre Inglaterra y Bélgica llamado UK-Belgium que opera a una velocidad de ciento cuarenta mega bits por segundo (140Mbps). (Varney, 2000).

Actualmente, este cable recibe el nombre de “*Pan European Crossing (UK-Belgium)*” con una longitud total 117Km conecta la ciudad de Bredene, Bélgica, con Dumpton Gap, en Inglaterra.

### **II.1.3 LLEGADA CABLES FIBRA ÓPTICA VENEZUELA**

No es sino hasta 1993, cuando la fibra óptica empieza a funcionar en Venezuela. Es en este año cuando se inician los trabajos para la instalación del cable costero de fibra óptica y también, entran en servicio los cables submarinos de fibra óptica Américas I, Columbus II y Panamericano, todos bajo la tutela de la empresa CANTV. Mediante estas nuevas interconexiones submarinas, se hace accesible la comunicación simultánea digital de voz, datos y video entre Venezuela y Norteamérica, el Caribe, Suramérica y Europa. (CANTV, 2011).

#### **II.1.3.1 CABLES EN FUNCIONAMIENTO**

En la actualidad Venezuela posee conexiones de cables submarinos internacionales con islas del Caribe, Norte, Centro y Sur América. El cable submarino más reciente es el

ALBA-1, en funcionamiento a partir del 2012, con una longitud de 1.600 Km, que conecta a Venezuela con Cuba y Jamaica (Ver Anexo 1). También, tenemos el ARCOS, en funcionamiento desde diciembre del 2001, con una longitud total de 8.201 Km conectando a Venezuela con Belice, Nicaragua, México, Colombia, Bahamas, Panamá, Estados Unidos, Guatemala, Honduras, Costa Rica, República Dominicana y Curazao (Ver Anexo 2). El cable Pan American (PAN-AM), en funcionamiento desde febrero de 1999, con una longitud total de 2.857 Km, conecta a Venezuela con Chile, Aruba, Colombia, Panamá, Perú, Ecuador y Estados Unidos (Ver Anexo 3). El cable GLOBENET, en funcionamiento desde octubre de 2000, con una longitud total de 22.500 Km, conecta a Venezuela con Estados Unidos, Brasil y Bermudas (Ver Anexo 4). El cable Américas II, sucesor del cable Américas I, en funcionamiento desde agosto de 2000, con una longitud total de 9.000 Km, conecta a Venezuela con Brasil, Guayana Francesa, Estados Unidos, Martinica, Trinidad y Tobago y con la isla de Curazao (Ver Anexo 5). El cable PAC, en funcionamiento desde febrero de 2001, con una longitud total de 8.500 Km, conecta a Venezuela con Panamá, Estados Unidos y México (Ver Anexo 6). El cable SAC, en funcionamiento desde junio de 2000, con una longitud total de 20.000 Km, conecta a Venezuela con Brasil, Panamá, Argentina, Estados Unidos, Perú y Chile (Ver Anexo 7) (Egypt, 2011).

## **II.2. LA FIBRA ÓPTICA**

Para Castro, (Lechtaler & Fusario, 1999). La Fibra óptica se puede definir como un hilo fino de vidrio o plástico que permite transportar la luz, generalmente en la banda de los infrarrojos y por lo tanto no visible por el ojo humano. Esta luz, modulada convenientemente, permite transmitir señales de información entre dos puntos a velocidades muy altas, con tasas de errores muy bajas.

Según fuentes electrónicas, “El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el núcleo de la fibra, gracias al cumplimiento de leyes de la óptica, como la ley de la refracción (principio de reflexión interna total) y la ley de Snell.”

### **II.2.1 LEY DE SNELL**

Según (Jardón & Linares, 1995), cuando un rayo de luz incide en la interfaz entre 2 medios de diferentes índices de refracción con un ángulo  $\theta_i$ , su dirección de propagación se modifica a un ángulo de refracción  $\theta_t$  aplicándose la ley de Refracción de Snell.

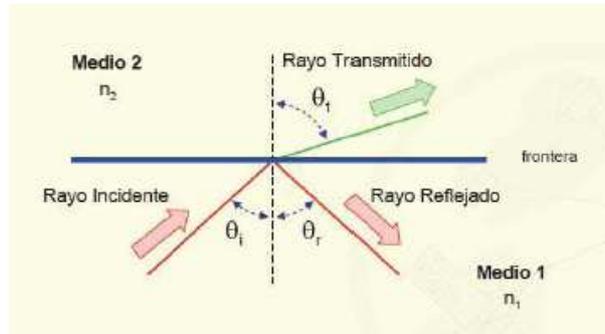


Figura 1. Reflexión y Refracción de la Luz.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

Para Colombia TIC e Innovación ICT (2011), la Ley de Snell, es una fórmula simple utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de índice de refracción distinto. La ley de Snell dice que el producto del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz que incide sobre la superficie separatriz de dos medios.

(Jardón & Linares, 1995), afirma que dicha ley viene dada como:

$$\frac{\text{Sen}(\theta_t)}{\text{Sen}(\theta_i)} = \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

Donde  $\theta_i$  es el ángulo de incidencia,  $\theta_t$  es el ángulo de refracción,  $\eta_2$  es el índice de refracción del medio 2 y  $\eta_1$  el índice de refracción del medio 1.

### II.2.2 REFLEXION TOTAL INTERNA

Según (Vilca, 2009), Se denomina reflexión interna total al fenómeno que se produce cuando un rayo de luz, atravesando un medio de índice de refracción  $\eta$  más grande que el índice de refracción en el que este se encuentra, se refracta de tal modo que no es capaz de atravesar la superficie entre ambos medios reflejándose completamente. Considere un haz de luz que se desplaza en el medio a y la frontera que se encuentra entre el medio a y el medio b, donde  $\eta_a$  es mayor que  $\eta_b$ .

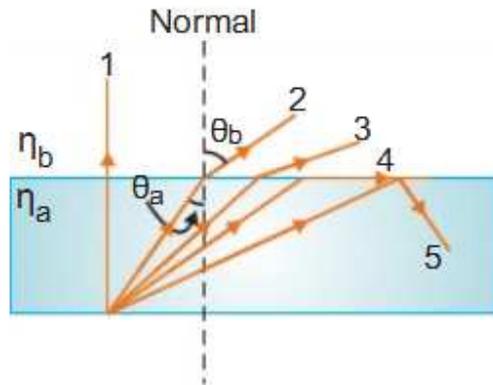


Figura 2. Reflexion total interna.

Fuente: (Vilca, 2009).

Para la figura 2, varias posibles direcciones del haz se indican con los rayos 1 al 5. Los rayos refractados están doblados alejándose de la normal porque  $\eta_a$  es mayor que  $\eta_b$ . En algún ángulo particular de incidencia  $\theta_c$ , denominado ángulo crítico, el rayo de luz refractado se mueve paralelo a la frontera, de modo que  $\theta_b = 90^\circ$ . Para ángulos de incidencia mayores a  $\theta_c$  el haz se refleja enteramente en la frontera como lo muestra el rayo 5 de la figura. Este rayo se refleja en la frontera cuando cae sobre la superficie.

Haciendo uso la ley de la refracción de Snell para hallar en ángulo crítico, cuando  $\theta_a = \theta_c$  y cuando  $\theta_b = 90^\circ$  obtenemos.

$$\text{Sen}\theta_c = \frac{\eta_a}{\eta_b} \quad \text{Para } \eta_a > \eta_b$$

### II.2.3 APERTURA NUMÉRICA DE LA FIBRA

Según (Jardón & Linares, 1995), para que el rayo luminoso que incide sea guiado a lo largo de la fibra, es necesario que en la interfaz núcleo/recubrimiento exista reflexión total. Si se analiza el caso limite donde “a” debe ser igual al ángulo crítico del caso, es

posible determinar el máximo ángulo de aceptación de la fibra  $\theta$  ( $\theta_{m\acute{a}x}$ ), cuyo seno se define como la apertura numérica de la fibra. Luego la apertura numérica de la fibra se define como:

$$N.A = \text{SEN}(\theta_{m\acute{a}x}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

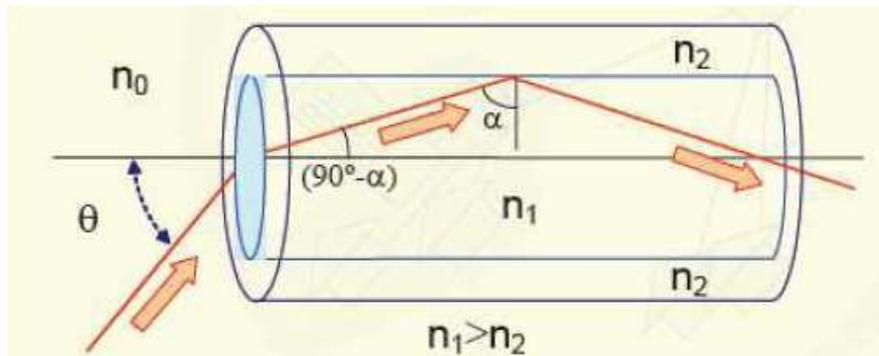


Figura 3. Apertura Numérica de la fibra óptica.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

## II.2.4 MODOS EN LA FIBRA

Para (Jardón & Linares, 1995), con las ecuaciones de Maxwell es posible demostrar que el número de modos/ángulos que se propagan en la fibra es discreto y finito. Además existen condiciones para las cuales se propaga un solo modo, en este caso se habla de fibras monomodo.

Para que un rayo pueda ser guiado, no solo debe cumplirse la condición de reflexión total interna, el rayo reflejado 2 veces debe interferir constructivamente con otro rayo de una misma onda, los ángulos que cumplan esto resultarán reforzados y los que no, debilitados hasta desaparecer. Solo ciertos ángulos son posibles y se denominan: Ángulos congruentes.

Según (Jardón & Linares, 1995). Cada ángulo discreto da lugar a una configuración de campo particular en la sección transversal de la fibra y se denomina modo.

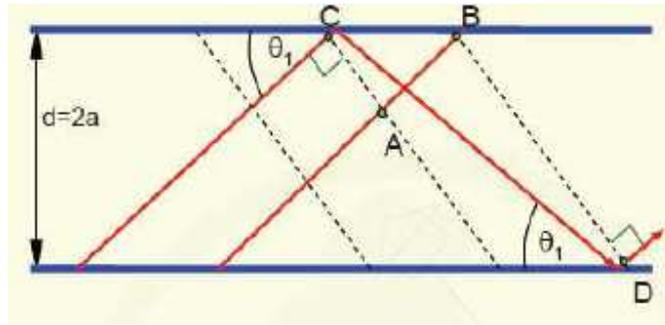


Figura 4. Propagación de Modos en la Fibra.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

Una caracterización común en el análisis modal es la llamada frecuencia normalizada ( $V$ ), que viene expresada como:

$$V = \frac{2. \pi. a. NA}{\lambda}$$

El número de modos de una fibra óptica, depende de la frecuencia normalizada:

$$N = \frac{V^2}{2} \cdot \frac{g}{g+1} \quad N = \frac{V^2}{2} \text{ si } g = \infty \quad N = \frac{V^2}{4} \text{ si } g = 2$$

El término “ $g$ ”, es el factor de potencia del perfil del índice de refracción, su valor es 2 para índice gradual e  $\infty$  para índice escalonado. Si  $V$  es menor o igual a 2,405 entonces solo el modo fundamental será conducido y se dice que se cuenta con una fibra monomodo.

## II.2.5 FIBRAS MONOMODO

(Cabezas, 2007). Son fibras donde sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de "monomodo" (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único). Potencialmente, esta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/km.

Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar, construir y manipular. Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo

orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ).

Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo, ya que sus pequeñas dimensiones implican un manejo delicado y presentan dificultades de conexión que aún se dominan mal.

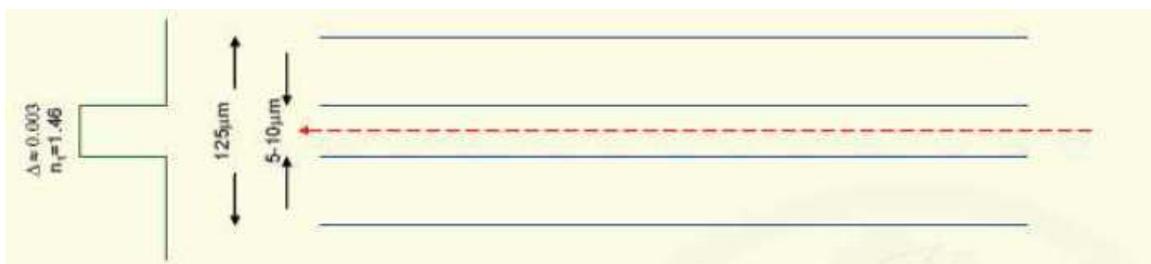


Figura 5. Funcionamiento fibra monomodo.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

## II.2.6 FIBRAS MULTIMODO

Según fuentes electrónicas, “Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 km, es simple de diseñar y económico.

El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión. Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, tenemos dos tipos de fibra multimodo.”

### II.2.6.1 FIBRAS MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL

(Cabezas, 2007). Las fibras multimodo de índice de gradiente gradual tienen una banda de paso que llega hasta los 500MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del

núcleo hacia la cubierta. Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

La fibra multimodo de índice de gradiente gradual de tamaño 62,5/125 mm (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) está normalizado, pero se pueden encontrar otros tipos de fibras: multimodo de índice escalonado 100/140 mm, multimodo de índice de gradiente gradual 50/125 mm.

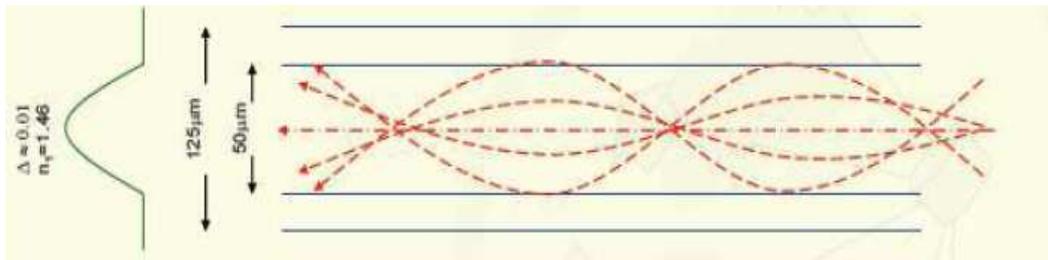


Figura 6. Funcionamiento de fibra multimodo de índice gradual.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

#### II.2.6.2 FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO

Para Cabezas (2007). Las fibras multimodo de índice escalonado están fabricadas a base de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico, con una atenuación de 100 dB/km. Tienen una banda de paso que llega hasta los 40 MHz por kilómetro. En estas fibras, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación brutal del índice, de ahí su nombre de índice escalonado.

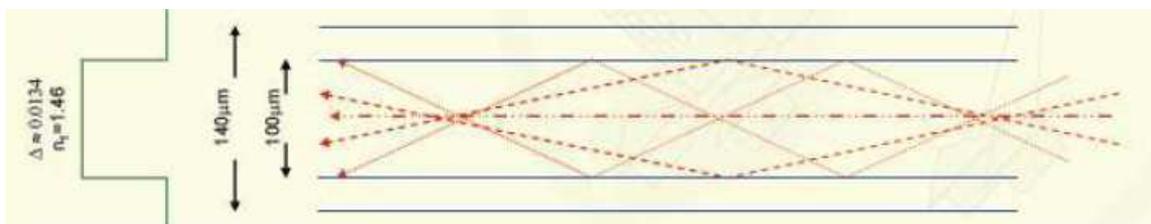


Figura 7. Funcionamiento fibra multimodo de índice escalonado.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

## II.2.7 FABRICACIÓN DE LA FIBRA

(Sendra, 1999). A partir de los análisis sobre el comportamiento de las fibras ópticas parece claro que una parte fundamental para el guiado de señales ópticas es el control de los índices de refracción en el interior de la fibra. Al menos son necesarios dos materiales distintos que sean transparentes a la luz en el intervalo de longitudes de onda de trabajo. Como en la práctica la transparencia absoluta no existe se pide que los materiales tengan una atenuación óptica muy baja y que también lo sea la absorción intrínseca así como la dispersión espacial. Hay numerosos materiales que cumplen estas características.

También es fundamental evitar la dispersión espacial debida a motivos extrínsecos como puedan ser las burbujas, grietas, tensiones, gránulos, etc. Esto restringe el número de materiales útiles y los únicos que cumplen las especificaciones son algunos vidrios, plásticos y sustancias mono cristalinas

Otro aspecto importante es que ha de ser posible (para la fabricación de fibras con índice gradual) la ligera modificación del índice de refracción mediante la disolución de varias sustancias y por tanto estas deberán ser solubles en un amplio margen de composiciones (no es simple). Esta última característica no puede obtenerse en materiales mono cristalinos y por tanto tan sólo nos quedan los vidrios para fibras de índice gradual aunque ambas pueden utilizarse en fibras de índice abrupto. La gran ventaja que ofrecen los vidrios los han hecho ser al final los únicos materiales con uso real. Por último los plásticos tienen características mucho peores aunque son mucho más baratos y pueden usarse para sistemas de transmisión de corto alcance y pequeños anchos de banda.

Para (Jardón & Linares, 1995), en todos los procesos de producción se produce inicialmente una preforma. La preforma es una varilla de vidrio con composición geométrica y óptica proporcional a la fibra ( $\phi = 10 - 50mm$ ,  $L = 0.5 - 2mt$ ). Mientras un extremo es calentado a altas temperaturas la preforma es estirada.

Existen distintos métodos de producción de la fibra óptica, estos se dividen en 2 grandes bloques: Por fusión de vidrio y por deposición de fase gaseosa, siendo el último el más utilizado en la producción industrial actual.

La deposición en el vidrio ocurre por una reacción de los componentes ultra-puros volátiles y una llama oxidrogenada o plasma. Actualmente es el más utilizado en la fabricación de preforma monomodo y multimodo, de baja atenuación y/o dispersión. Están enfatizados en aumentar la velocidad de deposición y aumentar el tamaño de la preforma.

Entre estos métodos se encuentran: OVD, MCVD, PCVD y VAD.

### II.2.7.1 MÉTODO OVD

Una varilla de vidrio fundido  $Al_2O_3$  o grafito es rotada longitudinalmente y calentada por un mechero con gas propano u oxihidrogenado. El  $O_2$ ,  $SiCl_4$  y cualquiera de los dopantes alimentan el mechero, el cual deposita un delgado tizne en el sustrato. Se extrae la barra del sustrato y el tubo (poroso) es calentado hasta el punto de fusión (1400-1600°C) colapsando a un sólido transparente. Durante el proceso la preforma es rociada con  $Cl_2$  como agente limpiador (secado). El mechero se mueve hasta que suficientes capas se depositan (se puede variar la proporción de dopantes). (Jardón & Linares, 1995).

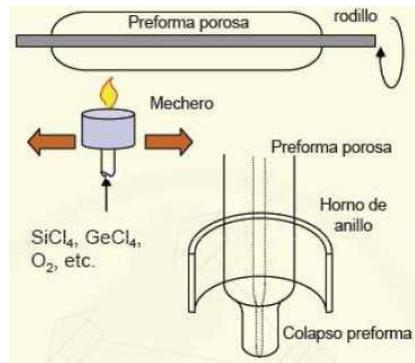


Figura 8. Técnica OVD.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

### II.2.7.2 MÉTODO VAD

Utiliza hidrólisis por llama con soplado vertical o inclinado (creado por Japón). Las partículas de tizne se depositan en la cara final de la varilla de vidrio fundido. La preforma creada es elevada para mantener constante las distancias. Se pueden utilizar varios quemadores para crear el perfil deseado. Después de la deposición la preforma es

colapsada en un horno de anillo donde también se le rocía con  $Cl_2$ . Este método tiene desventajas por la velocidad de deposición. (Jardón & Linares, 1995).

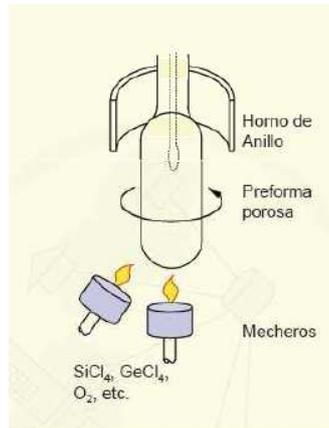


Figura 9. Método VAD.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

### II.2.7.3 MÉTODO VCD

Un tubo de vidrio fundido, es rotado longitudinalmente y calentado en una zona pequeña (mechero gas propano). El  $O_2$ , el  $SiCl_4$  y cualquiera de los dopantes se introducen dentro del tubo, creando una capa de vidrio si la temperatura es de  $1600^{\circ}C$  (no hay reacción con llama). El mechero se mueve hasta que suficientes capas se depositan en la pared interna del tubo. Se crea tanto el núcleo como el recubrimiento. El procedimiento de cierre se hace con un calentamiento por zonas a  $2000^{\circ}C$ , no hay necesidad de lavado. (Jardón & Linares, 1995).

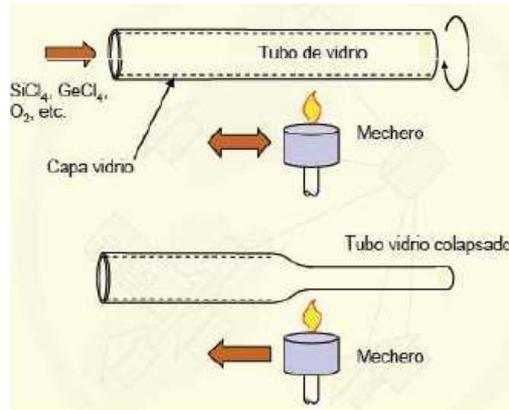


Figura 10. Método VCD.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

#### II.2.7.4 MÉTODO PCVD

La producción de la preforma por este método sigue básicamente el mismo proceso del método MCVD. La diferencia radica en la técnica de la reacción (plasma de baja presión). Se crea un plasma cuando el gas es excitado, por ejemplo con microondas. Se ioniza el gas, es decir, se descompone en sus portadores de cargas eléctricas. Permite un incremento en la en la precisión del perfil del índice de índice de refracción y mayor velocidad de deposición. (Jardón & Linares, 1995).

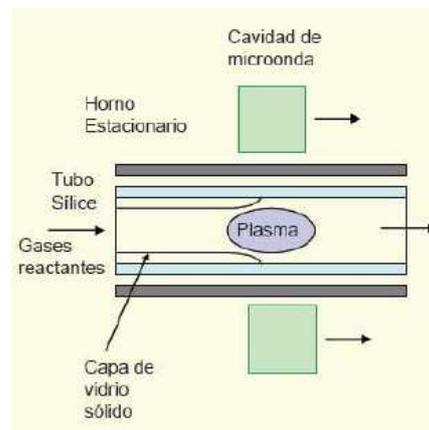


Figura 11. Método PCVD.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

### II.2.7.5 ESTIRADO DE LA FIBRA

Una vez tenia la preforma se procede al proceso de estiramiento de la misma. La punta de la preforma se calienta a aproximadamente 2000°C en un horno. Cuando el vidrio se ablanda, una cuerda delgada de vidrio ablandada cae ayudada por la gravedad y se enfría al caer. Cuando la fibra es arrastrada, su diámetro es constantemente supervisado. Una cubierta de plástico se aplica entonces a la fibra, antes de que toque cualquier componente. La capa protege la fibra del polvo y la humedad. La fibra se envuelve al final del proceso alrededor de una bobina. (Jardón & Linares, 1995).

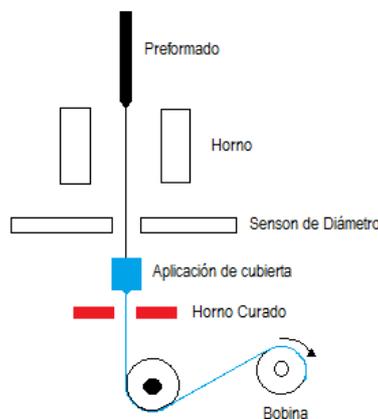


Figura 12. Estirado de la preforma.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

### II.2.8 CABLES DE FIBRA ÓPTICA

Según (Chomycz, 1998), los conductores de fibra en su protección primaria no son, en la mayoría de los casos directamente utilizables, debido al bajo factor de rotura, elongación, así como un elevado incremento de la atenuación resultado de esfuerzos de tracción, flexión y/o torsión.

Los cables de fibra óptica, se hacen con uno o más conductores de fibra protegidos y envueltos con diversas cubiertas y elementos. Se incluyen elementos de fuerza (polímeros, hilos de acero, filamentos de fibra de vidrio) de suma utilidad en el proceso de instalación. En ciertos casos se pueden incluir filamentos metálicos para alimentación o señalización.

Entre las funciones principales de los cables de fibra óptica se tienen:

- Evitar la ruptura de la fibra.
- Prevenir degradación del comportamiento.
- Aislar de elementos o medios hostiles mecánicos, eléctricos o térmicos.
- Facilitar las uniones.

### II.2.8.1 PROTECCIÓN SUELTA DE LA FIBRA

Es un pequeño tubo de plástico donde una fibra va alojada con cierta holgura, protegiéndola contra deformación y fricción. ( $\phi$  Externo 1,4 – 2mm). Debe mantener su forma y ser muy flexible, es usada en cables con 14 fibras o menos. Está compuesta por una capa interna protectora con un bajo coeficiente de fricción y una capa externa altamente resistente a influencias mecánicas (Ej. Poliéster y poliamidas).

La holgura de la fibra dentro de la protección permite movimiento radial ante esfuerzos de estiramiento y compresión, que normalmente es relleno con un material tixotrópico, no inflamable y químicamente neutro (Gel) que protege contra la entrada de compuestos externos. Son fáciles de quitar y lavar sin dejar residuos.

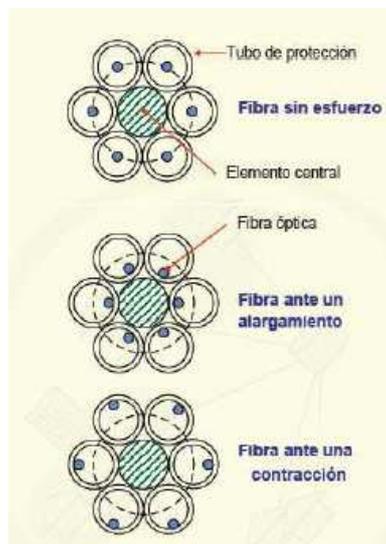


Figura 13. Protección suelta de la fibra.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

### II.2.8.2 PROTECCIÓN HOLGADA MULTIFIBRA

Similar a la protección suelta pero con 2-12 fibras en su interior ( $\phi$  2,4-3mm). Disminuyendo el diámetro de los cables simplifica su fabricación. Es rellena con un material tixotrópico, que no se congela ni licua en los rangos de temperatura entre  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ . Se utilizan en instalaciones donde se requieren altas prestaciones de calidad o se esperan condiciones ambientales.

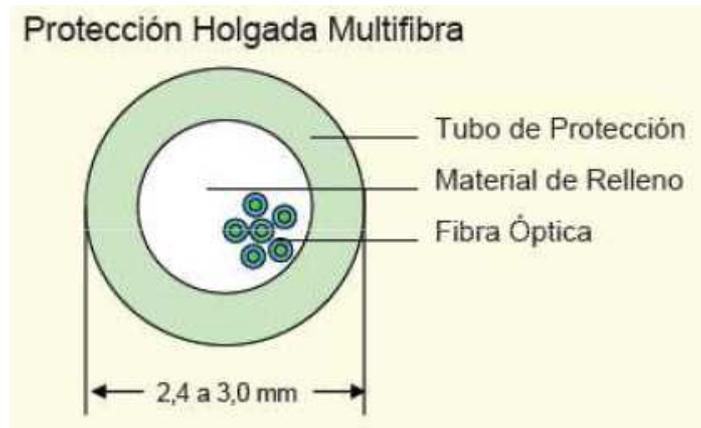


Figura 14. Protección Holgada Multifibra.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

El Maxitubo, es un mecanismo basado en la protección suelta multifibra, es un gran tubo protector ( $\phi$  6mm) que aloja hasta 12 fibras, un trenzado de las fibras dentro del tubo poseen exceso de longitud de 0,6-0,8%. Es utilizado en cables aéreos autos soportados. (Chomycz, 1998).

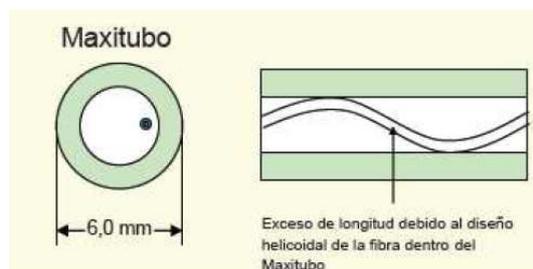


Figura 15. Maxitubo.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995)

### II.2.8.3 PROTECCIÓN AJUSTADA

Se aplica directamente sobre el revestimiento de la fibra un material plástico de protección con alto modulo elástico (poliamidas, polipropileno o poliéster). Reduce el diámetro respecto a las protecciones holgadas en al menos 0,5mm ( $\phi$  externo 0,9mm). Son utilizados conservadoramente en conexiones cortas, cableado interno de gabinetes, rabillos de fibra, y en instalaciones internas. (Chomycz, 1998).

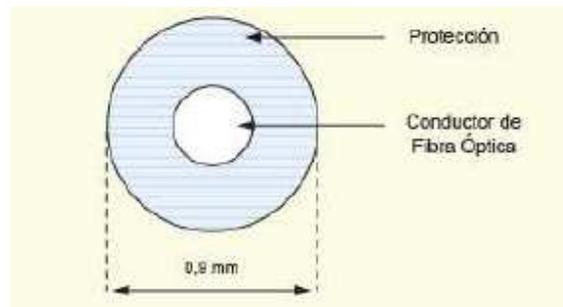


Figura 16. Protección ajustada.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

### II.2.8.4 PROTECCIÓN COMPACTA

Es una combinación de protecciones sueltas y ajustadas. El espacio libre entre la fibra y la cubierta protectora se reduce notablemente, respecto a la protección suelta. Las tensiones y compresiones a que es sometido el cable afectan de manera similar que con las protecciones ajustadas. Son utilizadas ampliamente en conexiones cortas, cableado interno de gabinetes, rabillo de fibras y en instalaciones internas. (Chomycz, 1998).

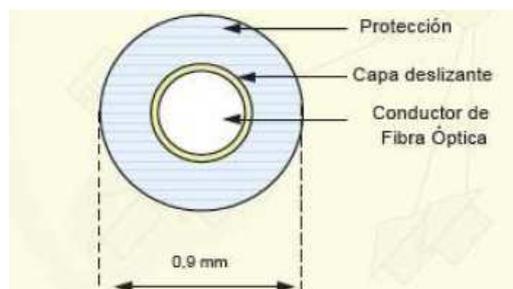


Figura 17. Protección Compacta.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

### II.2.8.5 TÉCNICA DE CINTA

Consiste en un arreglo plano de hasta 12 fibras dispuestas, una al lado de la otra, (se mantienen juntas mediante adhesivos). Pueden sobreponerse hasta 12 cintas (una encima de la otra) para formar una pila de sección rectangular, la cual puede ir rotando y formar el núcleo del cable. Tiene la ventaja de que empaqueta un gran número de fibras de manera compacta, facilitando la tecnología de conectores. Las tensiones y compresiones a que es sometido el cable afectan de manera desigual a las fibras externas e internas de la pila. Son utilizadas en conexiones internas de equipos de computación. (Chomycz, 1998).

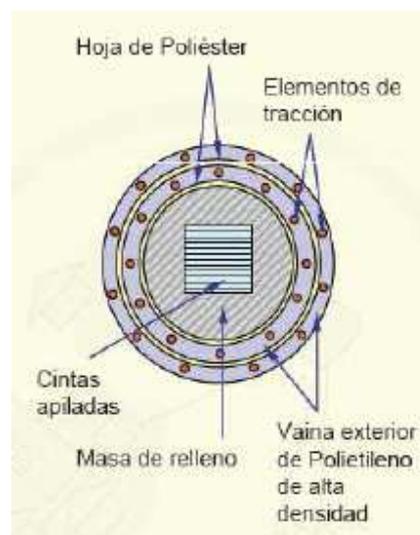


Figura 18. Técnicas de cinta.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

### II.2.8.6 ELEMENTOS DE COMPOSICIÓN DEL CABLE

Para (Chomycz, 1998), el cable de fibra óptica está constituido principalmente por:

- Alma del cable: formada a su vez por los siguientes elementos:
- Elemento Central: constituye el núcleo y soporte del cable, está rodeado por los elementos trenzados.
- Elementos trenzados: contienen los conductores que forman el cable y se disponen en una o más capas concéntricas. Puede incluir elementos ciegos.
- Elementos de soporte o de relleno: ofrecen resistencia a tensiones o rellenan espacios para mantener la estructura del cable.

- Envoltura: cubre los elementos anteriores y los mantiene unidos.
- Vaina o Chaqueta: Protege el alma del cable contra acciones mecánicas, térmicas y químicas del medio, los materiales más comunes:
  - Cubiertas de polietileno: ampliamente utilizado por poseer una baja constante dieléctrica y bajo factor de pérdida, baja densidad, alta viscosidad, alargamiento de ruptura y manejabilidad.
  - Cubiertas de PVC: usado principalmente en los cables internos. Es posible utilizarlos si se requiere resistencia al fuego en la calle.
  - Cubierta de plástico fluoruro: posee buenas propiedades eléctricas, mecánicas, térmicas y químicas. Se utiliza si hay requerimientos de soportar altas temperaturas (hasta 100°C).
  - Cubiertas de Libre e Halógenos: Tiene especial importancia en aplicaciones que requieren resistencia al fuego, altas temperaturas y ausencia de halógenos.
- Cubierta Protectora: Se utilizan PE y PVC para cables externos, protegen la armadura contra la corrosión y daños externos (durante instalación). Si se requiere resistencia a gasolinas la cubierta protectora de PE se le recubre con PVC.

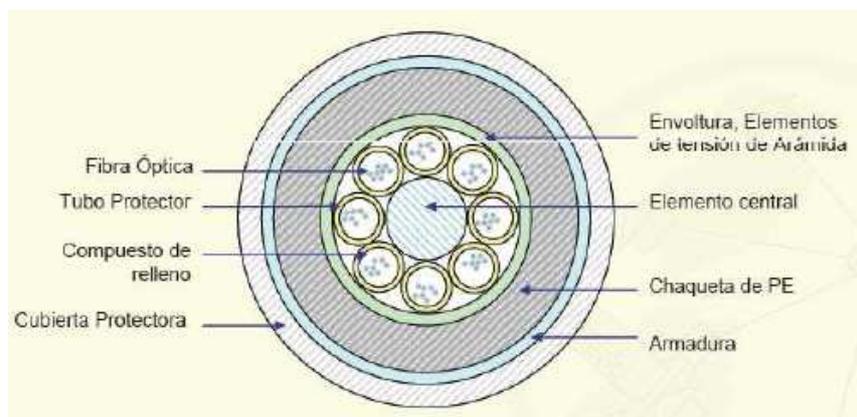


Figura 19. Estructura de un cable Óptico.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

### **II.2.8.7 CLASIFICACIÓN DE LOS CABLES ÓPTICOS**

Para (Chomycz, 1998), los cables ópticos se eligen en base a las características particulares y se agrupan por su aplicación en los siguientes tipos:

- Cables de planta externa.
- Cables de planta interna.
- Cables especiales.

En cualquier tipo de cable es importante asegurar que ni en el proceso de elaboración ni en el proceso de instalación ni en condiciones de operaciones normales sus características de transmisión óptica son alteradas.

Un criterio de suma importancia para la elección del cable es la información de la ruta, el tipo de aplicación y las especificaciones técnicas de los equipos terminales.

#### **II.2.8.7.1 CABLES DE PLANTA EXTERNA**

Según, (Jardón & Linares, 1995), son cables usados en redes telefónicas y datos en zonas urbanas e interurbanas, con longitud mayor a 2km; cursan tráfico intenso y utilizan fibras de alta calidad. Se clasifican en cables de estructura rígida y cables de estructura suelta.

Cables de estructura rígida: Las fibras se encuentran vinculadas a los distintos elementos que componen el cable de manera que forman una estructura compacta. Usualmente utilizan cubierta de PE (en algunos casos de sistemas de telefonía se incluye LAP), con protección suelta para una o múltiples fibras dependiendo del caso. Son capaces de soportar tensiones 1.000 – 2000 N, suficientes en tendidos por ductos. En aplicaciones especiales se incluye armadura.

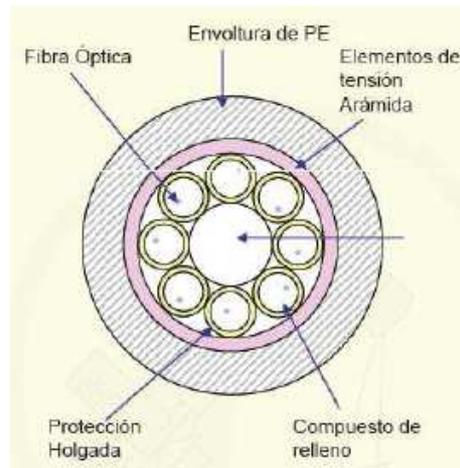


Figura 20. Cable planta externa de estructura rígida.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

- Cables de estructura suelta: Las fibras o conductores de fibras de encuentran desvinculadas a los elementos de tracción y protección. Se dividen en tres bloques:
- Cables Ranurados: Las fibras se colocan dentro de las ranuras de un elemento central plástico que ya contiene un elemento de tracción. Pueden haber más de una fibra por ranura. Las ranuras pueden ser lineales o helicoidales.

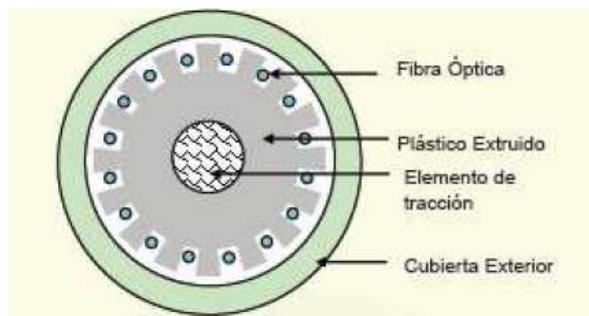


Figura 21. Cable externo de estructura suelta: Ranurado.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

- Cables con Espaciadores: Las fibras se colocan dentro de espaciadores o perfiles de plástico, existe también un elemento central y uno de relleno.

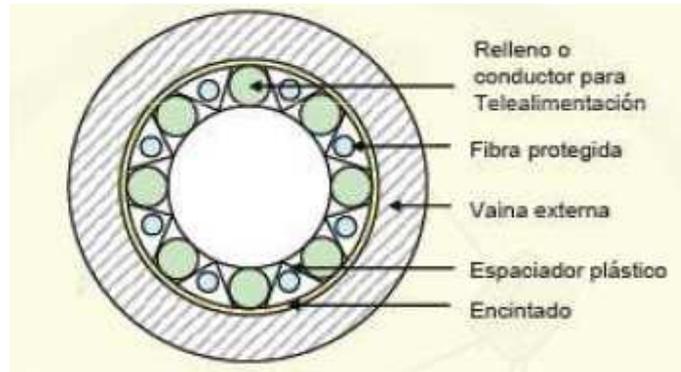


Figura 22. Cable externo de estructura suelta con espaciadores.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

- Cables en Maxitubos: se colocan dentro de un tubo con diámetro mucho mayor que las fibras, sin ningún tipo de trenzado. El tubo es recubierto con elementos de fuerza (alambres o cintas de acero recubiertas de PE). Pueden presurizarse.

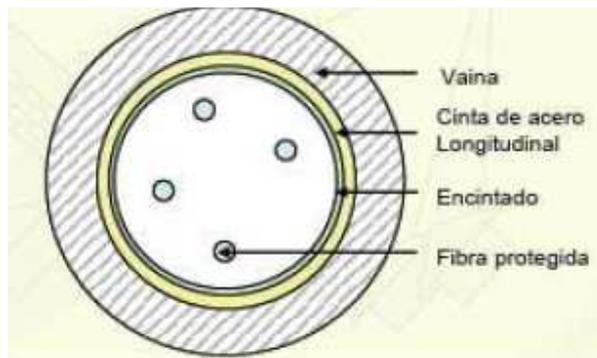


Figura 23. Cable Externo de Estructura Suelta en Maxitubos.

Fuente: (Jardón & Linares, 1995).

#### II.2.8.7.2 CABLES DE PLANTA INTERNA

Se utilizan para aplicaciones dentro de edificaciones, usan estructuras rígidas y la tensión máxima permisible es de 400N. En cables con una Fibra (distribución o bastidores de interconexión) un elemento de rigidez no metálico (vidrio o aramida y PVC) cubre la protección ajustada o compuesta ( $\varphi$  externo de 3.5mm). En diseños de hasta 6 fibras, los

elementos que contienen las fibras se trenzan alrededor de un elemento central y se las cubre con un elemento de rigidez no metálico (compuesto vidrio o aramida y PVC) de 0,9mm de espesor. En cables de redes de comunicación y datos con más de 6 fibras, se utilizan protecciones sueltas multifibra de 3mm  $\phi$ , cada uno con un máximo de 10 fibras. En cables internos con fibras monomodo, protecciones sueltas multifibra, de 2.8mm  $\phi$ . (Jardón & Linares, 1995).

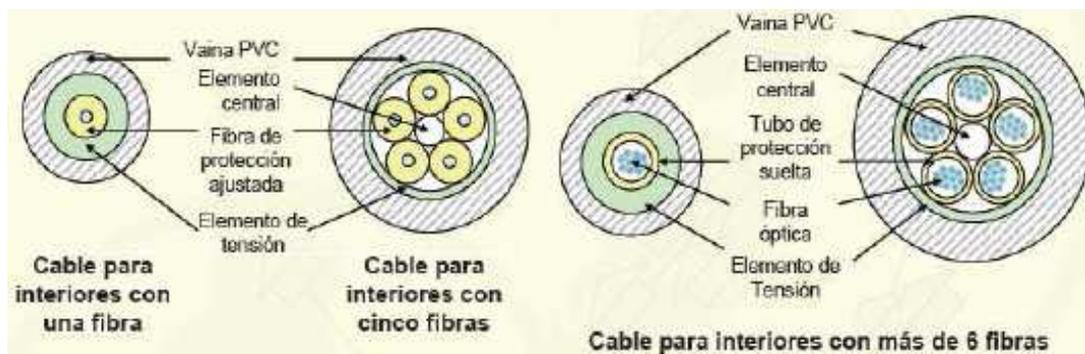


Figura 24. Tipos de Cable de planta interna.

Fuente (Jardón & Linares, 1995).

### II.2.8.7.3 CABLES ESPECIALES

Utilizados en aplicaciones navieras y aeronáuticas donde se requieren cables especiales, livianos, que ocupen poco espacio, mecánicamente estables, insensibles a vibraciones y resistentes a temperaturas. Una de las principales aplicaciones de la fibra óptica son los cables submarinos (ya no se instalan cables submarinos metálicos). En aplicaciones militares la fibra tiene la particularidad de que al ser dieléctrica no es detectable eléctricamente y son seguras contra escuchas. (Chomycz, 1998).

### II.3 FIBRA ÓPTICA SUBMARINA

La fibra óptica submarina, es un tendido de fibra óptica diseñado para ser instalado en el lecho marino. Por ende, debe ser capaz de resistir: el agua, la presión, olas, corrientes marinas, animales acuáticos, desastres naturales, y actividades humanas como la pesca y la navegación en general, además de no contaminar el medio ambiente. (Carter, y otros, 2009).

### II.3.1 COMPOSICIÓN DEL CABLE

Para lograr su objetivo el cable de fibra óptica submarina debe estar protegido contra todos los agentes que puedan causarle un daño potencial es por ello, que el cable se debe recubrir con distintos materiales para brindarle una mayor rigidez y resistencia, logrando así prolongar la vida útil del cable y evitar que deba ser reparado constantemente.

Para ello, el cable de fibra óptica submarino debe tener, un módulo óptico, que es donde se encuentran todos los hilos de fibra, y será el núcleo del cable, una capa elaborada de un material conductor, por lo general es cobre, y esta capa sólo se encontrará presente en cables de fibra óptica cuyos sistemas contengan repetidores, ya que esta capa portará la carga eléctrica necesaria para el funcionamiento de los mismos, contendrá capas de aislación y protección y armaduras, que brindaran el mayor grado de protección y rigidez del cable. (Alvarez, 2012).

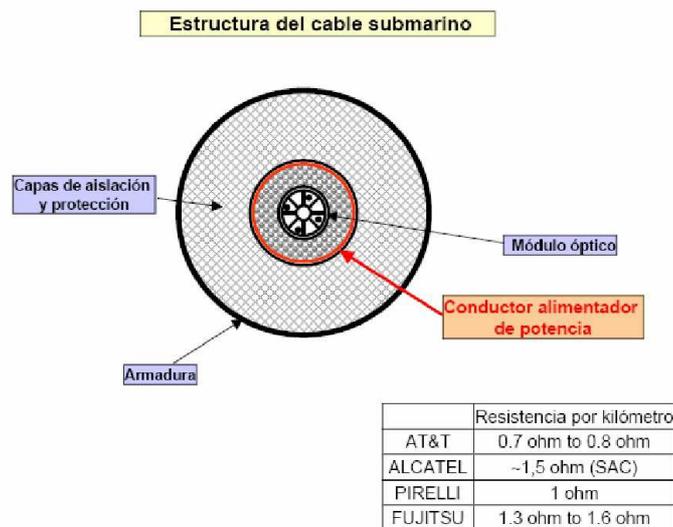


Figura 25. Estructura del Cable Submarino.

Fuente (Alvarez, 2012).

La protección y materiales usados dependerán del fabricante, lecho marino, condiciones naturales a las cuales se verá expuesto el cable, y la profundidad. Pueden existir cables con secciones sin ningún tipo de armadura tendidos en el lecho marino profundo, con corrientes estables, y a su vez, con armaduras sencilla y doble para la costa u otras profundidades menores. (Carter, y otros, 2009).

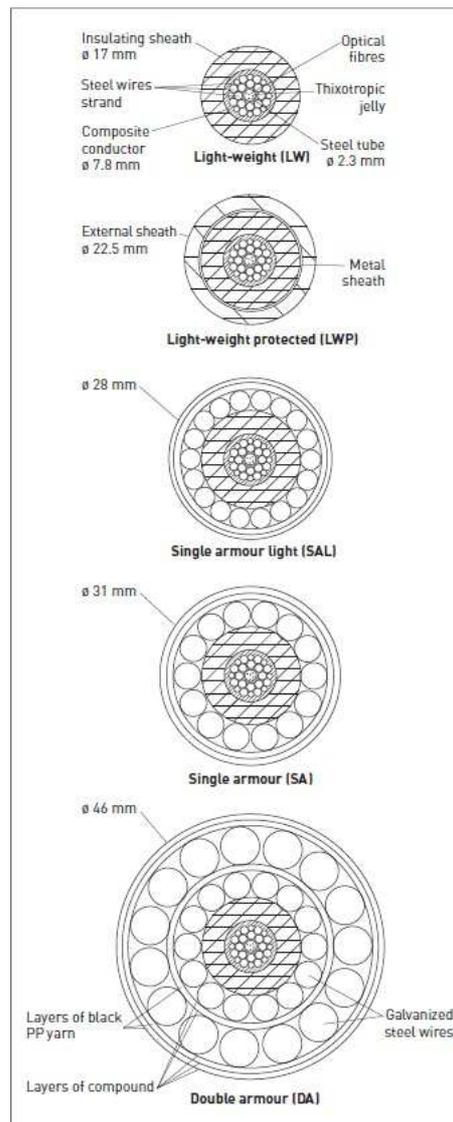


Figura 26. Composición de Armaduras del Cable Submarino de Fibra Óptica.

Fuente: (Carter, y otros, 2009).

El cable de fibra óptica submarina, se clasifica según el número de armaduras que presente.

Para el cable *Light-Weight (LW)*, o cable Ligero, su composición viene dada por:

- Tubo de Acero.
- Fibra Óptica.
- Material Aislante – Vaselina.

- Cables de Acero.
- Material Conductor (Sólo en sistemas repetidos).
- Material Aislante. (Poliétileno).

Para el cable *Light Weight Protected (LWP)*, o Cable Ligero con Protección, la composición es la misma que en el Cable Ligero (LW) pero se recubre con:

- Malla Metálica.
- Material Aislante (Poliétileno o Polipropileno Hilado.)

Para el cable *Single Armour (SA)*, O Cable de Armado Sencillo, se utiliza la misma composición del Cable Ligero con Protección (LWP), pero se le añaden:

- Cables de Acero.
- Material Aislante (Poliétileno).

Para el cable *Double Armour (DA)*, o cable Doble Armado, se utiliza la misma composición que el Cable Ligero con Protección (LWP), pero se le añaden:

- Cables de Acero Galvanizado.
- Material Aislante. (Polipropileno Hilado).
- Cables de Acero Galvanizado, mayor grosor que los de la primera capa.
- Material Aislante (Polipropileno Hilado).
- Material Aislante (Poliétileno).

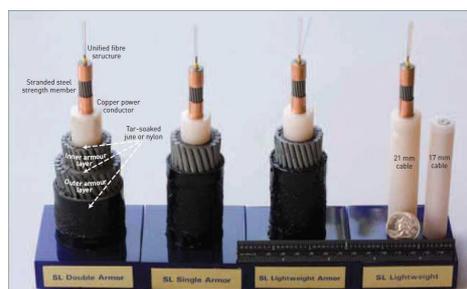


Figura 27. Cables de Fibra Submarina de Diferentes Armados.

Fuente: (Carter, y otros, 2009).

Los materiales utilizados en la elaboración del cable submarino deben ser amigables con el ambiente, para evitar cualquier tipo de efecto perjudicial en la flora y fauna marina en las cuales reposará el cable.

Es bueno recordar que la realización de un tendido de cable submarino, la pesca en esa zona queda restringida, por lo que la misma sirve de santuario para la fauna marina que se verá protegida de las actividades humanas. Es primordial que el cable no genere efectos contaminantes, por ello los materiales son sometidos a pruebas constantes para ver su interacción con el medio ambiente.

Se ha demostrado que los cables de fibra óptica submarina se mimetizan con su entorno entre 1 y 2 meses después de su instalación, siendo colonizados en su totalidad sin generar ningún efecto negativo para su entorno. (Carter, y otros, 2009).



Figura 28. Cables de Fibra Submarina Colonizados bajo el mar.

Fuente: (Carter, y otros, 2009).

### **II.3.2 PROCESO DE INSTALACIÓN DEL CABLE SUBMARINO**

Para realizar la correcta instalación del cable de fibra óptica submarino, deben seguirse 6 pasos, que asegurarán el correcto funcionamiento del mismo.

- Diseño de la ruta teórica.
- Obtener los permisos de las autoridades competentes.
- Realizar la batimetría de la ruta teórica, para definir la ruta definitiva.
- Realizar el tendido del cable submarino, enterrándolo en las zonas donde sea necesario.
- Inspección del cable tendido en el lecho marino, en caso que sea necesario.

- Publicación exacta de la ruta para todos las demás embarcaciones que usen ese espacio acuático.

A continuación se presentan de forma más detallada cada uno de los 6 pasos.

- Diseño de la ruta teórica.

Consiste en el trazado, mediante un software capaz de simular cartas marinas (también conocidas como catas náuticas o de navegación, son mapas a escalas que denotan las profundidades del lecho marino y tienen detalles como puertos, zonas de anclaje, peligros, puntos de navegación), de la ruta prevista por donde se realizará el tendido de la fibra óptica.

La selección de esta ruta debe hacerse siguiendo ciertos lineamientos y recomendaciones para preservar la integridad y escalabilidad del cable en perfecta armonía con el medio ambiente, y demás actividades marítimas.

Es por ello, que se debe respetar las zonas de anclaje y pesca, evitando traspasarlas, así mismo, el cable debe evitar pasar por zonas de seguridad, y zonas donde existan prácticas militares. Se deben evitar cambios bruscos de profundidad manteniendo un rango máximo de 25° a 30° de pendiente.

Por su parte, las estaciones terrenas deben ser ubicadas en zonas costeras cercanas y de fácil acceso, es indispensable que existan medios de comunicación y vialidad previamente dispuesta para poder llegar al sitio.

- Obtener los permisos de las autoridades competentes.

Para realizar el tendido de la fibra submarina es necesario cumplir con la normativa legal Venezolana, para ello es necesario cumplir con los requisitos impuestos por sus organismos competentes en el área, Ministerio Para el Poder Popular del Ambiente, Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB), Instituto Nacional de Espacios Acuáticos (INEA), Oficina Central de Hidrografía y Navegación (OCHINA).

También, se cuenta con tratados internacionales suscritos, donde se refiere a la importancia de la existencia de cables submarinos, su protección y resguardo, y la responsabilidad y penalizaciones por el desacato a estas normas. Los tratados

internacionales son: a) *The International Convention for the Protection of Submarine Cables* (La Convención Internacional de Protección de Cables Submarinos), año 1884, b) *The Geneva Conventions of the Continental Shelf and High Seas* (La Convención de Ginebra de la Plataforma Continental y Alta Mar), año 1958, c) *United Nations Convention on Law of the Sea (UNCLOS)* (Convención de las Naciones Unidas Sobre Derechos del Mar), año 1982. Cabe acotar que la *UNCLOS*, también es conocida como la constitución de los Mares.

Dentro de estos convenios se resaltan aspectos importantes como la libertad de tender, mantener y reparar cables fuera del mar territorial, comprendido desde la costa hasta 12 millas náuticas ó 22,22 Km mar adentro; obligaciones de Venezuela para imponer penas legales a todas aquellas personas que de manera intencional causen un daño al cable de fibra óptica submarina; proporcionar estatus especiales a las embarcaciones que se encuentren realizando tendidos o reparaciones; otorgar indemnizaciones a las embarcaciones que sacrifiquen equipos de pesca o anclas, para evitar causarle daños a un cable submarino; acceso a los tribunales nacionales para hacer cumplir las obligaciones y estatutos del tratado.

- Realizar la batimetría de la ruta teórica, para definir la ruta definitiva.

Luego de tener la ruta teórica definida, se procede a realizar una batimetría (estudio de geográfico de las profundidades marinas, utilizado para la elaboración de mapas detallados del lecho marino) de la ruta para detectar de forma detallada todo el relieve del suelo marino donde se realizará el tendido de la fibra. De esta manera se consigue especificar la ruta definitiva, aplicando las correcciones de la ruta teórica donde hubiere que hacerlo, especificando lugares donde se realizarán los enterrados de tramos, y donde se colocarán camas de arena o cemento según sea necesario para brindar soporte y protección al tendido.

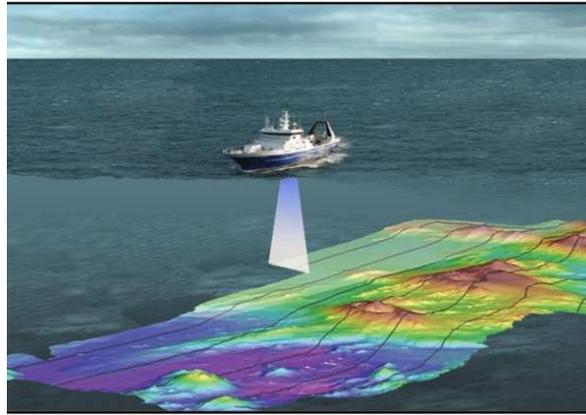


Figura 29. Barco Batimétrico.

Fuente: (NIWA, 2012).

Los datos obtenidos de la batimetría son introducidos a un software con el cual se realizarán los cambios, de existir, en la ruta teórica, para así definir la ruta final. También, se podrá determinar la longitud final del cable, y si se desea agregar más en sectores de alto riesgo, localizar las áreas donde el cable puede ser enterrado, y donde se colocarán camas de arena o concreto y pasos sobre cables o ductos submarinos previos que deban cruzarse.

Es con toda esta información ya recabada que se manada a elaborar el cable de fibra óptica, definiendo el número de hilos y tipo de fibra según el requerimiento y los equipos a utilizar, además de los empalmes y los amplificadores, en caso de sistemas repetidos, ya que el cable se fabricará a la medida siempre, y se cargará directo en el barco especialmente diseñado para hacer el tendido.

El cable se almacena enrollado en carretes dentro del barco, y es allí donde se le colocarán los empalmes y repetidores. Dentro del barco se encontrará el equipo técnico dispuesto para la instalación junto con el software utilizado para la batimetría que les servirá de guía en caso que se deseen implementar algún tipo de modificación a causa de un imprevisto.

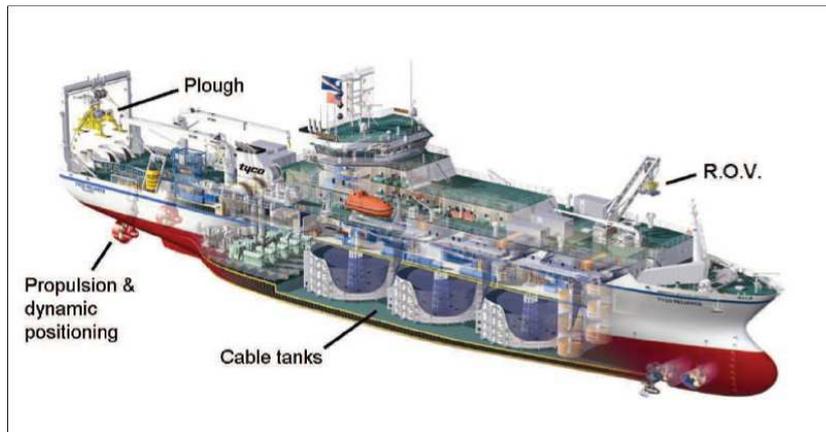


Figura 30. Barco Instalador de Cable Submarino.

Fuente: (Drew & Alan, 2009).

- Realizar el tendido del cable submarino, enterrándolo en las zonas donde sea necesario.

Para realizar el tendido del cable submarino, el barco que transporta la fibra se colocará lo más cercano a la costa posible, donde empezará el proceso de tendido. Para ello, un barco de mucho menor calado tomará una guía del cable la cual llevará hasta la costa, esta guía será halada desde la costa, y el cable se empezará a desenrollar de su carrete dentro del barco. El cable submarino, en esta fase se dejará caer al agua atado de unas bollas, que impedirán que el mismo se hunda antes de que la punta del cable llegue a la costa.

Ya con la punta de la fibra en la costa, un equipo en tierra se encargará de instalarla en el *Beach Man Hole* (cámara de amarre, es una fosa de concreto ubicada en la orilla de la playa donde se ancla la punta de del cable de fibra óptica submarino para ser empalmado con la fibra óptica que se dirigirá a la estación en tierra), y otro equipo soltará las bollas y las llevará nuevamente al barco para que el barco arranque y comience el tendido por el resto de la ruta.



Figura 31. Colocación de una Cámara de Amarre.

Fuente: (Comepo Oil Division, 2012).

Dentro del barco también se encuentra un equipo llamado *plough* (arado), el mismo es una herramienta encargada de realizar un surco en el lecho marino para ir enterrando el cable a medida que el mismo está siendo tendido. Trabaja mediante unas pistolas de agua que van removiendo el sedimento, deposita el cable en el surco, y posteriormente lo tapa con el sedimento extraído anteriormente, logrando un enterrado de una profundidad de hasta 2 metros, y 1 metro de ancho. La velocidad del arado depende del tipo de armado del cable y la dureza del lecho marino.



Figura 32. Arado preparado para realizar enterrado.

Fuente: (Carter, y otros, 2009).

- Inspección del cable tendido en el lecho marino, en caso que sea necesario.

Cuando el tendido fue realizado en su totalidad, es recomendable revisar los puntos críticos de su instalación, lugares donde existen fuertes corrientes marinas, o sitios rocosos donde el cable pudo haber quedado suspendido o en algún tipo de peligro. Es de notar que sólo se realizan este tipo de inspecciones cuando se presentaron dificultades notorias durante el proceso de tendido del cable, de manera de asegurarse que el cable se encuentra en la ruta que le fue predeterminada.

- Publicación exacta de la ruta para todos las demás embarcaciones que usen ese espacio acuático.

Luego que el tendido fue realizado, se procede a cumplir el último paso que consiste en comunicar a las oficinas encargadas de la navegación, la información sobre la ubicación exacta del tendido, para así evitar en lo más posible incidentes que arriesguen la integridad del cable. Evitando así que se ejecuten actividades marítimas que comprometan la seguridad del cable submarino.

En Venezuela el INEA, en la Gerencia de Transporte, se encarga de comunicar a las capitanías de puerto las diferentes actividades que se llevan a cabo durante todo el proceso de instalación del cable, evitando así que algún navío interrumpa con el proceso, terminado el tendido, INEA se comunica con OCHINA, para enviar la información actualizada y así quede registrado la ruta exacta donde el cable se encuentra ubicado.

### **II.3.3 REPARACIÓN DE AVERÍAS DE CABLES SUBMARINOS**

Una de las principales causas de daños en los cables de fibras óptica submarino son las actividades humanas, en especial la pesca. Las anclas y redes de pesca son el mayor peligro para el cable submarino, ya que el mismo es halado, removido y cortado por las anclas o las mismas redes de arrastres.

Según estadísticas de *International Cable Protection Committee (ICPC)*, cerca del 70% de rupturas de cables submarinos es causada por la actividad pesquera y anclajes en zonas prohibidas, y tan sólo el 12% son causadas por desastres naturales, o causas naturales, como corrientes intensas y desgaste.

Además, la mayoría de las rupturas se producen en aguas con profundidades menores a los 200 metros, y las que se producen a más de 1000 metros de profundidad son por lo general causadas por desastres naturales.

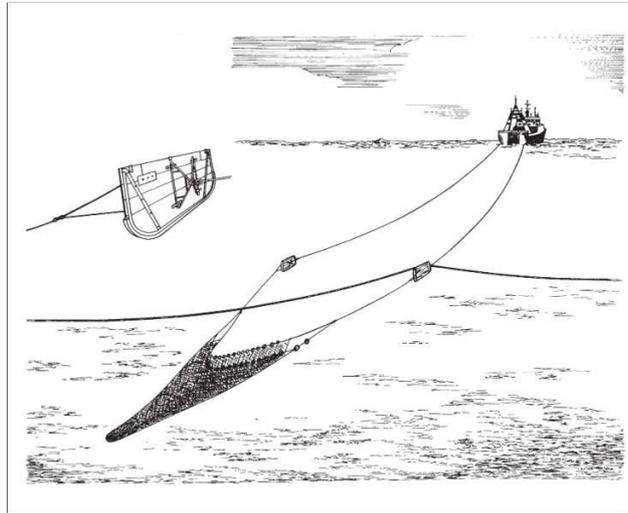


Figura 33. Barco Pesquero arrastrando un Cable Submarino.

Fuente: (Drew & Alan, 2009)

Para reparar todos los daños y resolver todos los incidentes que se presentan dentro del año, se disponen de barcos desplegados en todos los océanos de manera tal que siempre exista un barco cerca de algún cable por si se ve afectado, la reparación se haga lo más rápido posible.

El proceso de reparación consiste en recuperar el tramos afectado para remplazarlo por uno nuevo, para ello se lanza una especie de anzuelo con la cual se pescan los extremos del cable, y se sacan del lecho marino, mientras se empalma una punta con el cable nuevo, a otra punta permanecerá flotando gracias a una bolla. Se realiza el empalme de la fibra en ambos extremos y se deja caer nuevamente al fondo del mar, en esta oportunidad el cable submarino habrá adquirido una mayor distancia, ya que se le incorporó un nuevo tramo de cable.

## II.4 EQUIPOS DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA

Las redes de fibra óptica submarina están compuestas, por diferentes equipos que, según sea el caso, serán dispuestos a lo largo del diseño para lograr que la transmisión de datos se haga de una manera efectiva.

Toda red de fibra óptica submarina, como una red de comunicaciones cualquiera, debe contar, como mínimo, con los siguientes equipos para lograr su funcionamiento:

- Transmisor Óptico.
- Fibra Óptica.
- Receptor Óptico.

A continuación se explicarán con detalles cada uno de estos elementos:

- Transmisor Óptico.

El transmisor dentro de un sistema de comunicaciones es el encargado de realizar la emisión de señales que contiene la información que se quiere enviar. En este caso, dichas señales son pulsos de luz que viajan a través de una fibra óptica. Sus características más importantes, para realizar un criterio de selección adecuado, son la potencia óptica emitida, el espectro de radiación de la fuente óptica y la respuesta en frecuencia del dispositivo.

El transmisor óptico se encuentra compuesto por un modulador, una fuente de información y una fuente de luz. Como su nombre lo indica, la fuente de información es la señal que quiere ser transmitida a través de un sistema de comunicaciones óptico. Esta señal no puede ser enviada en su estado natural, sino que debe ser modulada, para así facilitar la propagación de la señal a través del medio y optimizar su ancho de banda. Luego de ser modulada la señal debe ser transformada en pulsos de luz. Para ello necesitaremos una fuente de luz. Existen 2 clases de fuentes de luz utilizadas en los sistemas de comunicaciones ópticas: el diodo emisor de luz (LED), el diodo LASER (*Light Amplified Stimulated Emission Radiation*) (LD).

El diodo emisor de luz (LED) consiste en un semiconductor, elaborado a partir de uniones de material P (material que contiene mayor número de portadores de carga positiva, huecos) y material N (material que contiene mayor cantidad de portadores de carga negativa, electrones). Cuando la unión es polarizada de forma directa, parte de la

energía suministrada en forma de corriente electrónica a la unión del material PN es emitida en forma de luz (fotones), mediante el fenómeno de emisión espontánea.

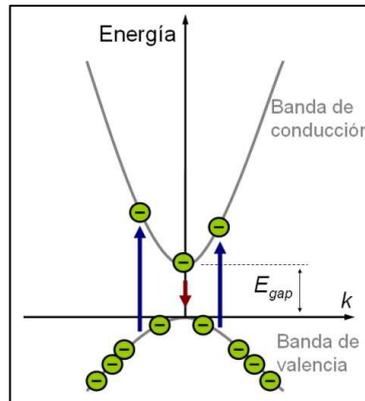


Figura 34. Bandas de un material Semiconductor.

Fuente: (Y. Yu & Cardona, 2010).

La emisión espontánea es un fenómeno que ocurre a nivel atómico entre la capa de valencia y la capa de conducción. Cuando la unión de material PN es estimulado, los electrones ubicados en la capa de valencia se excitan rompiendo el enlace covalente y suben a la banda de conducción generando un par electrón hueco, que durará nanosegundos, dependiendo del grado de excitación del electrón. Luego que el electrón pierde su excitación cae nuevamente a la banda de valencia, liberando energía en forma de fotones (luz) y fonones (vibraciones y calor).

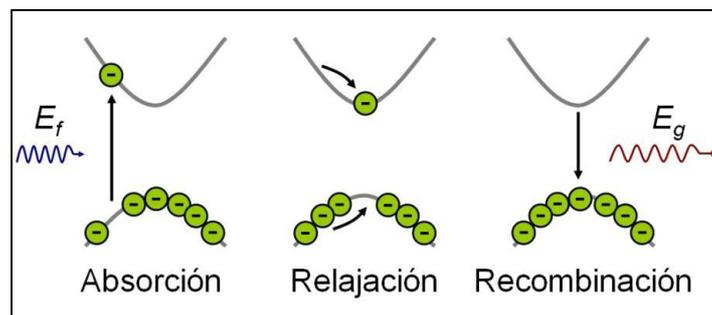


Figura 35. Modelo Explicativo del Fenómeno de Emisión Espontánea.

Fuente: (Y. Yu & Cardona, 2010).

El diodo LED se caracteriza por ser más estable a los cambios de temperatura y al envejecimiento, es económico, funciona gracias al fenómeno de emisión espontánea, lo que genera que los fotones vayan en todas direcciones y en un amplio rango de longitudes de onda.

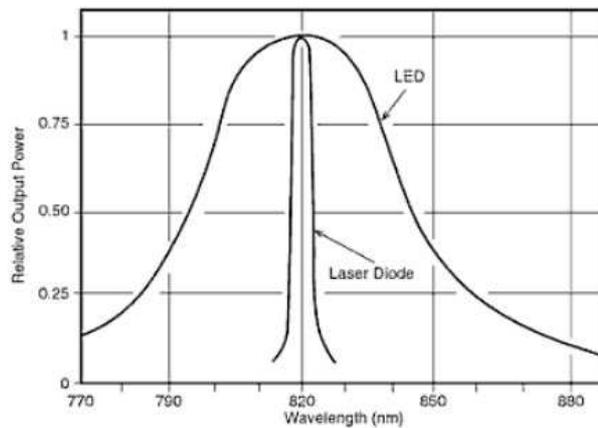


Figura 36. Comparación entre el ancho Espectral del LASER y el LED.

Fuente: (Sterling & Chantrand, 2003).

El diodo LASER (LD) se encuentra conformado, al igual que el LED, por un material semiconductor elaborado por la unión de material P y material N. Adicionalmente, la unión PN contará con un lado totalmente reflectante (100% reflectante) y otro parcialmente reflectante (entre 80% y 99%, dependiendo de la función). La unión PN al ser polarizada directamente emite un haz de luz intenso y estable, debido al fenómeno de la emisión estimulada.

La emisión estimulada parte del principio de que el electrón y el hueco pueden estar juntos durante nanosegundos, antes de caer a la banda de menor energía; y si en ese lapso de tiempo un fotón pasa por ahí generará otro con la misma frecuencia, polarización y fase que el primer fotón.

Para lograr que suceda este fenómeno, el diodo LASER cuenta con paredes reflectantes, como un resonador Fabry-Perot, en donde se genera una interferencia constructiva, ya que los fotones chocarán entre las paredes reflectantes originando el fenómeno de emisión estimulada, logrando un mayor número de fotones, lo que se traduce en una mayor

amplificación del haz de luz, que saldrá por la cara menos reflectante en una sola dirección, lo que significa que este haz de luz será coherente (anchura espectral fina) en su mayor parte. (España Boquera, 2005).

- La Fibra Óptica.

La fibra óptica será el medio por el cual viajará toda la información enviada por el Transmisor Óptico, que será leída a su llegada por el Receptor Óptico. En los apartados anteriores se mencionan las características de este medio de transmisión.

- Receptor Óptico.

El receptor óptico es el equipo utilizado para recibir las señales de luz y transformarlas nuevamente en la información que fue enviada. Para ello cuenta con un fotodiodo, que es el encargado de recibir los cambios de luz y convertirlos nuevamente en impulsos eléctricos, y un demodulador encargado de devolver la señal a su formato original, tal cual como fue transmitida.

Los fotodiodos son semiconductores elaborados por la unión de material P y material N, que al ser polarizado de forma inversa genera un flujo de corriente muy bajo (corriente de oscuridad) y en su unión una zona determinada Zona Desértica o Zona de Carga Espacial, llamada así porque dentro de ella no se encuentra ningún tipo de carga. Los fotones que vienen viajando por la fibra óptica llegarán a la Zona Desértica excitando los electrones, que producirán una elevación en la circulación de corriente, lo que se traducirá en un voltaje que indica la presencia de luz. Se utilizan 2 tipos de fotodiodos para la recepción en sistemas de comunicaciones ópticos, los diodos PIN y los diodos de Avalancha (APD) (*Avalanche Photodiode*).

Diodo PIN, su nombre es referente a su construcción, está elaborado con un material intrínseco ligeramente dopado de electrones, material I, insertado entre dos capas de material P y material N.

Como resultado de la polarización inversa del fotodiodo, la Zona Desértica abarca toda la región de material intrínseco. Seleccionando con detenimiento el espesor del material

intrínseco se logra disponer de una Zona Desértica más amplia y, con ello, de un fotodiodo de menor capacidad pero de mayor eficiencia.

Los fotodiodos APD son fotodiodos constituidos por una capa de material P, una capa de material intrínseco I, una capa de material P y luego una capa de material N. De esta manera el diodo APN genera una ganancia de corriente cuando es expuesto a los fotones incidentes, esto debido al fenómeno denominado ionización por impacto.

La ionización por impacto consiste en que cada portador (par electrón hueco), al ser acelerado por un campo eléctrico, tiene probabilidad de llegar a alcanzar una energía tal que al impactar contra otro átomo del material genere un nuevo portador con las mismas características de fase, polarización y frecuencia que el primer portador, y a su vez estos portadores nuevos participan en el proceso multiplicador, generando más portadores nuevos produciendo un efecto de avalancha.

Para el correcto funcionamiento del diodo APD, se debe polarizar de forma inversa con voltajes muy altos, entre 100V y 200V, lo que produce una ganancia de hasta 100%. Todo esto también dependerá de la proporción del dopaje presentado en los materiales del semiconductor.

Un aspecto muy importante en los fotodiodos es su sensibilidad. La sensibilidad de un fotodiodo representa la potencia óptica mínima que debe incidir sobre el foto detector para conseguir una tasa de error de bit (BER) determinado.

Partiendo que el umbral de decisión tanto para el bit 0 y el bit 1 es el mismo podemos determinar que la probabilidad de error se expresa en función de Q de la siguiente manera:

$$BER = \frac{1}{2} * erfc \left( \frac{Q}{\sqrt{2}} \right)$$

Donde:

*Erfc*: Representa la Función Error.

*Q*: Parámetro auxiliar para cálculo de error.

$$Q = \frac{MR(P_1 - P_0)}{(\sigma_{Ti1} + \sigma_{Ti0})}$$

Donde:

$M$ : es el factor de foto multiplicación del fotodiodo.

$R$ : es la respuesta del fotodiodo.

$\sigma_{Ti1}, \sigma_{Ti0}$ : Representan desviaciones típicas de ruido, expresadas como corrientes totales referidas a la entrada.

$P_1, P_0$ : Representan las potencias promedio incidentes sobre el fotodiodo durante la transmisión de los bits correspondientes.

En resumen, obtenido el valor de  $Q$ , se obtiene directamente el valor de la probabilidad de error (BER), de igual forma si se obtiene un valor de VER se puede deducir el valor de  $Q$ . A un mayor valor de  $Q$  obtendremos una menor probabilidad de error, y para lograr un  $Q$  mayor debemos aumentar la diferencia entre las potencias entre ambos tipo de bit, y de la mismo modo disminuir los aportes de ruido. (España Boquera, 2005).

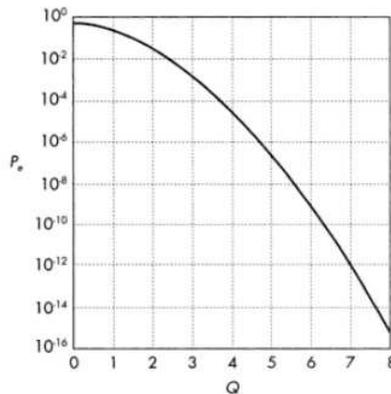


Figura 37. Relación entre el BER y Q.

Fuente: (España Boquera, 2005).

Dependiendo del diseño y propósito de la red y tomando en cuenta factores como, distancia capacidad, alcance, y costo, se le unen equipos para lograr satisfacer los requisitos de la red, como lo son:

- Empalmes (Universal Joints).
- Unidades de Ramificación (Branching Units).
- Amplificadores.

A continuación se explicarán con detalles cada uno de estos elementos:

- Empalmes (Universal Joints):

Son las uniones que se realizan entre 2 fibras ópticas de cables diferentes, o de estos a otros filamentos de fibra. A diferencia de los conectores estas uniones son fijas. El método más utilizado para realizar esta unión es el de fusión por arco eléctrico. Además del empalme a fusión existen otros tipos de empalme que se utilizan de forma temporal para reparaciones provisionales o en situaciones que no se precisa un empalme permanente. Estos empalmes se caracterizan por ser mecánicos.

En las fibras monomodo los problemas de empalme se encuentran principalmente en su pequeño diámetro del núcleo, esto exige contar con equipos y mecanismos de alineamiento de las fibras con una mayor precisión. Por lo general, los empalmes se protegen con una caja resistente al medio exacto a donde se instala. (González, 2007)

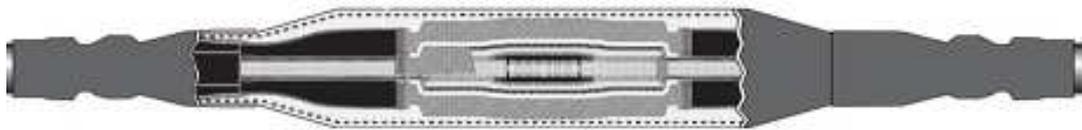


Figura 38. Empalme para Cables diferente Armado.

Fuente: (González, 2007)

- Unidades de Ramificación (Branching Units):

La unidad de ramificación, actúa como una bifurcación en la línea y proporciona el medio para dividir un cable en 2. Esta funcionalidad permite la creación de rutas rápidas (express routes) y rutas locales, (local routes). La ruta rápida consiste normalmente en un camino directo, mientras que la local proporciona acceso a otras estaciones de cable.

Las unidades de ramificación son usadas en aquellos sistemas donde se requieren múltiples estaciones de amarre. Las conexiones son realizadas en el dominio óptico y existen 3 tipos de conectividad: inserción-extracción de fibra, inserción-extracción de canal e inserción-extracción de fibra y de canal. Estas dos últimas son factibles por el uso de WDM. En el dominio eléctrico se pueden ofrecer dos tipos de conectividad: unidades de ramificación pasivas eléctricas y conmutadas en potencia. Las unidades de ramificación vienen equipadas con una circuitería de alto nivel que permite la conmutación y el enrutamiento de la información destinado a los distintos ramales.

Las unidades de ramificación para WDM son un elemento clave para este tipo de sistema, puesto que permite extraer o insertar combinaciones de longitudes de onda y fibras. La extracción inserción de las longitudes de onda es posible debido al uso combinado de circuladores y redes de difracción de Bragg en fibra óptica. (José Capmany Francoy, 2006)



Figura 39. Unidad de Ramificación.

Fuente: (José Capmany Francoy, 2006)

- Amplificadores:

Las unidades de amplificación son las encargadas de aumentar la fuerza de la señal que se ha perdido en la transmisión debido a la dispersión y las pérdidas intrínsecas de los materiales. Los amplificadores ópticos se fundamentan en la misma estructura de un LASER, con la diferencia que no posee una realimentación para evitar que el dispositivo oscile, de esta forma se logra elevar el nivel de potencia de la señal pero no generar una señal óptica coherente. Una fuente de bombeo inyecta la fuente de luz en la zona activa del amplificador. Esta fuente de luz es absorbida por los electrones que incrementan sus niveles de energía produciéndose la inversión de población. Cuando los electrones son excitados por los fotones de la señal óptica de entrada caen a unos niveles energéticos más bajos dando lugar a un nuevo fotón, igual que el fenómeno de emisión estimulada, lo que produce la amplificación de la señal. La amplificación se produce dentro de un rango de frecuencias que dependen del material, así como su estructura. (España Boquera, 2005).

Existen 3 tipos de amplificadores ópticos:

- Amplificadores de Fibra Dopada (Doped Fiber Amplifier) (DFA).
- Amplificadores Ópticos de Semiconductores (Semiconductors Optical Amplifier) (SOA).
- Amplificadores Raman.

- Amplificadores de Fibra Dopada (Doped Fiber Amplifier) (DFA):

Los amplificadores DFA son elaborados con tramos de fibra óptica dopadas de materiales capaces de aumentar el flujo de energía dentro de la fibra óptica convencional, desencadenando el fenómeno de emisión estimulada. Aumentando la cantidad de fotones que circulan a través de la fibra óptica, lo que se traduce en un aumento de la potencia de transmisión.

Los más comunes son los EDFA, que consiste en fibra dopada con Erblio. Los amplificadores EDFA no presentan una ganancia uniforme con la longitud de onda debido a la saturación. El máximo de ganancia se alcanza alrededor de los 1530nm-1535nm. Cuando se le suministra una potencia alta la respuesta de la ganancia en todo el rango de la

Banda C es constante, lo contrario sucede cuando la potencia de entrada es más bajas. Esto es un grave inconveniente en los sistemas WDM, ya que no todos los canales se amplifican por igual. (Chomycz, 1998).

- Amplificadores Ópticos de Semiconductores (Semiconductors Optical Amplifier) (SOA).

Los amplificadores SOA son elaborados con materiales semiconductores de la misma manera que un fotodiodo LASER (LD), sólo que para evitar un haz de luz coherente, interferencia destructiva para la señal transmitida, se suprime la retroalimentación, oscilación entre las paredes reflectantes. Se compone por la unión de material PN recubierto con un material parcialmente reflectante, además se polariza por debajo de la corriente de umbral, lo que garantiza que no ocurran rebotes de fotones entre las paredes creando un haz de luz. (España Boquera, 2005).

- Amplificadores Raman:

Los amplificadores Raman se basan en un fenómeno físico denominado Dispersión Estimulada de Raman (*Stimulated Raman Scattering*) (SRS). El SRS se origina a partir de la interacción de la luz y las vibraciones moleculares producidas por la propagación en el medio de transmisión. Este fenómeno es de naturaleza no lineal y afecta a las señales que se propagan por la fibra óptica, transfiriendo potencia desde longitudes de ondas elevadas a otras más bajas. Esta amplificación ocurre dentro de la fibra óptica, se introduce, además de la señal de datos que se desea transmitir, una señal de bombeo. La señal de bombeo será la encargada de amplificar la señal de datos dentro de la fibra óptica. El punto óptimo de transferencia de potencia es cuando la señal datos se encuentra a 13THz por debajo de la señal de bombeo, 100 nm, cuando la longitud de onda es 1.550nm (Headley & Agrawal, 2005).

## **II.5 FÓRMULAS DE CÁLCULOS DE ENLACES.**

La selección de los equipos a utilizar en el diseño, debe regirse por las distancias y las potencias y sensibilidad de los equipos, para ello se realizan cálculos que permiten conocer mediante una evaluación si el equipo satisface los requerimientos para ser implementado en el sistema de comunicaciones diseñado.

### II.5.1 CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DE LA FIBRA.

(Chomycz, 1998). Para la correcta selección del cable es necesario considerar, la distancia, la atenuación del enlace y el ancho de banda del cable a utilizar

La atenuación total del cable considerando reserva será:

$$A_{Total} = L * A_L + E * A_E + C * A_C + AR * L$$

Donde:

$A_{Total}$ : Atenuación Total del cable Fibra Óptica (dB).

$A_L$ : Coeficiente de atenuación de la Fibra (dB/Km).

$L$ : Longitud Total de la Fibra Óptica (Km).

$E$ : Número de Empalmes.

$A_E$ : Atenuación por Empalme (dB).

$C$ : Número de Conectores.

$A_C$ : Atenuación por Conector (dB).

$AR$ : Reserva de Atenuación (dB/Km).

Con respecto a la reserva de atenuación ( $AR$ ), es un valor importante a tomar en cuenta en el diseño, ya que permite considerar una diferencia de atenuación para el caso de futuros empalmes (reparaciones) y la degradación de la fibra en su vida útil. El valor de la reserva de atenuación dependerá de la importancia del enlace y la particularidad de la zona donde será instalado, tomando valores que oscilan entre 0,1 dB/Km y 0,6 dB/Km.

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

$$M = P_T - P_U$$

Donde:

$M$ : Margen de potencia (dB) máxima atenuación permisible.

$P_T$ : Potencia del transmisor (dB).

$P_U$ : Potencia de umbral (dB). Dependiente de la sensibilidad del receptor.

El umbral de sensibilidad del receptor para una tasa de error de bit (BER) es la mínima cantidad de potencia óptica necesaria para que el equipo óptico receptor obtenga el BER deseado dentro del sistema digital.

Por lo tanto de la expresión:

$$A_T = M$$

$$A_L = \frac{M - E * A_E - C * A_C - AR * L}{L}$$

Podemos hallar la máxima atenuación por Km para el cable a ser seleccionado.

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

$$A_{Total} = L * A_L + E * A_E + C * A_C$$

Si tomamos en cuenta la fórmula de Margen de Potencia (M), se obtiene que el Margen de Enlace ( $M_E$ ) viene dado por:

$$M_E = M - A_{Total}$$

Donde ( $M_E$ ): Margen de enlace (dB).

## II.5.2 CÁLCULO DEL ANCHO DE BANDA.

El ancho de banda de la fibra se verá limitado por la dispersión modal y la dispersión del material. También, hay que tomar en cuenta la longitud de onda ( $\lambda$ ) a utilizar, ya que a ciertos valores produce dispersión intermodal.

El ancho de banda se irá incrementando en función de la longitud de la fibra óptica, mediante la siguiente expresión se puede ver ese efecto:

$$b = B_1 * L_1$$

Donde:

b: Ancho de Banda por longitud de onda (MHz\*Km).

$B_1$ : Ancho de Banda del cable de fibra óptica (MHz), a una longitud ( $L_1$ ).

$L_1$ : Longitud de referencia de la fibra óptica para determinar un ancho de banda ( $B_1$ ).

Para fibras de índice gradual con un ancho de banda (B) en (MHz) y una longitud (L) en (Km) se puede aplicar el método de las potencias:

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

Donde  $\gamma$ : Exponente longitudinal que varía entre 0,6 y 1. Su valor empírico es 0,8.

El Ancho de Banda no tiene una disminución lineal por la dispersión de modos, por ello se aproxima con la constante  $\gamma$ .

### **II.5.3 CÁLCULO DE DISPERSIÓN DE FIBRA MONOMODO.**

En el caso de las fibras de tipo monomodo, no se calcula el Ancho de Banda sino, la dispersión.

Para ello se toma en cuenta el ensanchamiento del pulso que viene dado por la siguiente expresión:

$$\Delta T = M(\lambda) * \Delta\lambda * L$$

Donde:

$\Delta T$ : Ensanchamiento del pulso (ps).

$M(\lambda)$ : Dispersión cromática de la fibra óptica  $\left(\frac{ps}{nm*km}\right)$ .

$\Delta\lambda$ : Ancho Espectral medio del emisor (nm).

L: Longitud de la fibra óptica (Km).

Con el valor del ensanchamiento del pulso ( $\Delta T$ ) podemos obtener un valor aproximado del ancho de banda, mediante la siguiente expresión:

$$B = \frac{0,441}{\Delta T}$$

## II.6 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN LONGITUDES DE ONDAS DENSAS

Multiplexación por División en Longitudes de Ondas Densas (DWDM) (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), es una técnica de multiplexación de ondas de luz, permitiendo que varios rayos de luz viajen a través de la misma fibra óptica, sin interferencia entre ellos.

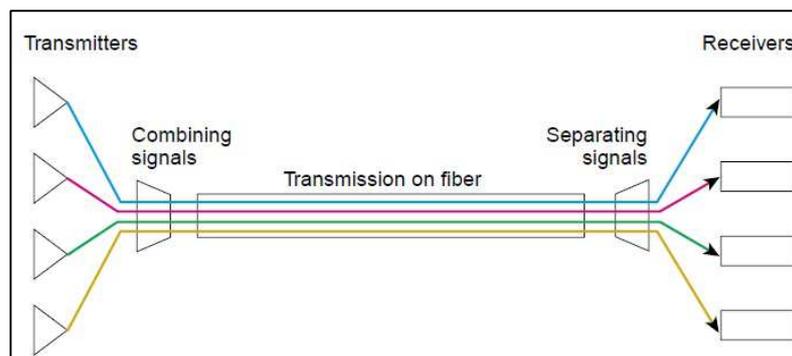


Figura 40. Conceptualización de un sistema DWDM.

Fuente: (CISCO, 2009).

En el DWDM, se crean canales de luz, cada canal es un haz de luz a una determinada frecuencia dentro de la Banda C (área del espectro que va desde 1528nm hasta

1564nm) que viajará a través de la fibra óptica con un determinado espaciado entre cada canal.

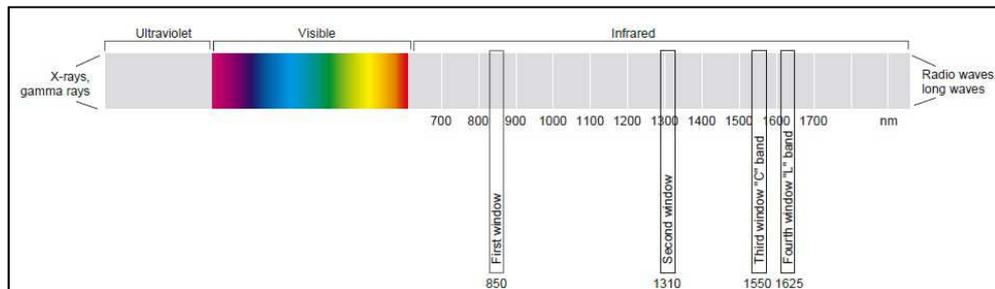


Figura 41. División del Espectro y Ventanas de Operación.

Fuente: (CISCO, 2009).

Por ser la Banda C un recurso limitado, el espaciado entre canales determinará la cantidad de canales disponibles para ser usados en la multiplexación. La ITU aprobó la división de la Banda C en la Banda Azul (área de espectro entre 1528nm y 1546nm) y la Banda Roja (área del espectro entre 1546nm y 1564nm), esto se debe a que la región de mayor ganancia para las fibras dopadas con erbio (EDFA) son coincidentes con la Banda Roja, de esta manera si no se necesitan muchos canales se pueden ubicar dentro de la Banda Roja abaratando los costos del sistema.

Los espaciados más comunes dentro de sistemas DWDM son de 200GHz, 100GHz, 50GHz, y 25 GHz obteniendo así hasta 128 canales, incluso a veces más dependiendo de la amplificación del sistema o si el mismo es repetido o no.

Un espaciado de 100GHz, esto representa un espaciado mucho menor respecto a CWDM definido en la recomendación UIT-TG.671, brinda unos 40 canales para ser usados en el sistema. Cada canal funcionará de manera independiente creando una especie de túnel óptico bidireccional por donde se transmitirá la información, y cada uno tendrá su propio tráfico.

Esta técnica permite las facilidades de aumentar los canales de transmisión o capacidades de fibras existentes sin tener que dotar el sistema de nueva estructuración

física, tendidos equipos, estaciones. Lo único que se necesitará colocar en cada estación será un equipo DWDM que se encarga de multiplexar y demultiplexar cada canal de información.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

El trabajo especial de grado se planteó originalmente en una estructura concisa de cinco etapas, siguiendo una metodología de proyecto factible. Las etapas planteadas fueron las siguientes:

#### **III.1 INVESTIGACIÓN Y DOCUMENTACIÓN**

Esta etapa consiste en la recolección de documentos e información referente a la ejecución de este proyecto; como por ejemplo: proyectos anteriores, información teórica sobre el tema, fórmulas, criterios e investigaciones, que sirvan de soporte al trabajo de grado.

Esta etapa se subdivide a su vez en cuatro grandes bloques. 1) Se realizó el levantamiento de información sobre fibra óptica, con una investigación sobre los conceptos básicos, principio, importancia, funcionamiento, fabricación y tipos de cables. 2) Se procedió a realizar una investigación sobre precedentes de fibra óptica submarina, primero en general y luego en el caso específico de Venezuela, que sirvan de sustento al trabajo de investigación realizado. 3) Se ubicaron diversos trabajos elaborados anteriormente relacionados diseños de redes de fibra óptica submarina que ayuden a la elaboración del diseño propuesto. 4) Se hizo un levantamiento de información exhaustivo relacionado a tendidos de fibra óptica submarina, especificaciones, tipos, herramientas, instalación, fabricación, transporte y mantenimiento.

#### **III.2 PLANIFICACIÓN**

Etapla enfocada a la recolección de los requerimientos del proyecto, especificaciones técnicas, capacidades, ubicación de estaciones terrenas, equipos existentes con sus especificaciones técnicas y los costos.

Para esto se llevó a cabo una reunión con el tutor empresarial quien brindó toda la información necesaria que se tomaría en cuenta para la toma de decisiones del diseño

final. En esta etapa básicamente se recolectó información referente a: número de longitudes de onda ( $\lambda$ ) a utilizar, velocidades, tipo de transmisión, lugares donde emergerá la fibra y puntos de ampliación del diseño para un futuro. Además, se reunieron todos los datos referentes a herramientas que pudieran facilitar y lograr la realización del diseño de manera eficiente para la siguiente etapa. Entre estos datos recolectados se encuentran: Cartas actualizadas del lecho marino de la zona Centro Occidental venezolana y programas de computación (software) que permite la simulación de rutas sobre el lecho marino.

### **III.3 EJECUCIÓN Y DISEÑO**

Es en esta etapa donde se centró la elaboración y el contraste de las distintas ideas planteadas por cada uno de los integrantes del diseño, para así obtener la mejor ruta para la Red.

Para ello se recabó la información compilada en las etapas anteriores y se procedió a realizar los distintos diseños que satisfagan los objetivos del trabajo de investigación. Luego se procedió a contrastar y seleccionar las ideas de cada integrante para que con la ayuda del tutor se obtuviera la mejor ruta, partiendo de allí y con la aplicación de las fórmulas se seleccionaron los equipos cumpliendo con los requerimientos previamente establecidos y rentabilidad en cuanto a costos de implementación, mantenimiento y expansión a futuro.

### **III.4 PRESUPUESTO**

En esta etapa se centra la elaboración de un presupuesto detallado que muestre los costos de los equipos utilizados dentro del diseño.

Al culminar esta etapa se obtuvo un presupuesto detallado de todos los equipos que deberían ser utilizados en el diseño de la red de fibra óptica submarina. El mismo estaba planteado con el desglose total de cada parte y el cálculo final del precio en bruto que llevaría el diseño como tal, sin incluir los servicios que éste necesita para su puesta en funcionamiento ni demás pruebas que se deben de realizar antes de su operación. Debido a restricciones de confidencialidad de la empresa, se presenta un presupuesto estimado del costo de ejecución del proyecto, y el tiempo estimado de fabricación e instalación.

### **III.5 CIERRE**

Durante la ejecución de esta etapa se redactó el trabajo de grado en su totalidad, cumpliendo con los formatos y requisitos indispensables para su presentación ante la escuela.

Consistió en la redacción periódica y sistemática del libro de TEG. De esta manera se consiguió que el mismo pudiera ser revisado con anterioridad por varias personas ajenas al proyecto para detectar los posibles errores de redacción y por ende fallos en su comprensión. De igual modo se plantearon diversas reuniones con el tutor en donde se revisó de manera minuciosa el trabajo de grado en sus diferentes capítulos.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO**

El desarrollo del trabajo de grado se dio de manera consecuente con la metodología planteada, logrando así la culminación exitosa del proyecto y dentro de los plazos de tiempos definidos previamente. Primeramente, se realizó toda la etapa de investigación previa, recabando la información, en primera instancia, de internet, para definir conceptos claves, como fibra óptica, modos de transmisión, velocidades, capacidad, mejoras, implementación, de manera tal, que al momento de plantear la propuesta poder entender cuál era el fin último del proyecto y de que trataba todo su desarrollo.

#### **IV.1 INVESTIGACIÓN TEÓRICA**

Posteriormente, cuando ya fue planteado el proyecto se comenzó a realizar una investigación exhaustiva de los conceptos involucrados en el desarrollo del trabajo, como por ejemplo: fibra óptica, su importancia, sus principios, ley de Snell, funcionamiento, fabricación, tipos de protección, tipos de cable y cables submarinos. Dicha investigación fue laboriosa, ya que no se encuentra mucha documentación en el país sobre redes submarinas de fibra óptica. En consecuencia se procedió a consultar bibliografía a nivel internacional: Libros, investigaciones científicas, manuales, recomendaciones de la ITU-T, presentaciones, ponencias, y videos.

Una vez recabada la información teórica de los conceptos básicos se procedió a realizar una recolección sobre precedentes de tendidos submarinos de fibra óptica en general para conocer un poco las redes ya preestablecidas y su funcionamiento, para luego enfocarse en el caso específico de Venezuela. Los tendidos de fibra submarina previos en Venezuela sirven como precedentes para el diseño realizado.

Todo el desarrollo teórico de esta investigación es presentado en el marco teórico, capítulo 2 del presente trabajo, donde se ve reflejado con detalle los conceptos investigados y las explicaciones detalladas de los procesos y cálculo matemáticos utilizados para la formulación y realización del diseño.

Luego de contar con una substancial cantidad de información teórica, se procedió a realizar una nueva entrevista con la empresa interesada en el desarrollo del proyecto, para obtener todos los detalles del mismo, especificaciones técnicas e intereses propios que se tengan, para realizar un diseño que cumpla con dichas expectativas, número de canales, velocidades, tipo de transmisión, lugares a los que se quiere llegar y puntos de ampliación del diseño para un futuro. Además, reunir todos los datos referentes a herramientas que pudieran facilitar y lograr la realización del diseño de manera eficiente para la siguiente etapa.

Recopilados los datos, se procedió con la búsqueda y obtención de mapas costeros y las diversas cartas marinas de la costa Centro Occidental de Venezuela, para complementar los trazados de las rutas teóricas y verificar cuales sitios contaban con fácil acceso y cuáles no, descartando así locaciones y lugares de mayor complejidad.

Para la obtención de estos datos se contactaron varios entes gubernamentales encargados de las cartografías y rutas costeras marítimas como: el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, encargado de todo lo relativo a la cartografía del territorio nacional, la Oficina Coordinadora de Hidrografía y Navegación (OCHINA), encargados de suministrar las rutas de navegación y localización de las cuencas hidrográficas de Venezuela y de todas sus costas.

Por recomendaciones de la empresa, se decidió hacer la adquisición de un software, que facilitara los requerimientos de trazado y mapas, tanto de costas como las cartas con las rutas marinas. Para ello, se utilizó el software de Garmin Mapsource en su versión 6.16.3, el cual permitió utilizar distintos mapas digitalizados con todos los detalles posibles de la costa Centro Occidental de Venezuela. Así mismo, se ubicaron las cartas marinas correspondientes a las costas de Venezuela, Americas BlueChart en su versión 9.5, mediante la cual, se obtuvo la información completa, y más reciente, perteneciente el lecho marino de la plataforma continental venezolana, sobre la cual se realizará el diseño.

## **IV.2 SELECCIÓN DE LA RUTA.**

Ya con el software de simulación y todos los conocimientos teóricos previos, se procedió a la realización de hasta 3 trazados posibles para el diseño, obteniendo rutas diversas que enfoquen cuales serán los lugares exactos por donde la fibra saldrá a tierra, las posiciones donde se fijaran unidades de interconexión, todo esto presentado en tablas que contienen las coordenadas geográficas de la ruta para así identificarlas con exactitud en cualquier mapa. Se utilizó adicionalmente el software de Google: Google Earth, para visualizar y validar dichas conexiones a tierra y ubicar las cámaras de amarre de los cables de fibra existentes.

Para la realización de las distintas rutas, se procedió a dividirla en 7 secciones distribuidas de la siguiente manera:

### **IV.2.1 CAMURÍ – PUERTO CABELLO**

Esta sección recorre el lecho marino desde Maiquetía hasta la ciudad de Puerto Cabello pasando por zonas de suma importancia militar como la base de Turiamo en el Edo. Aragua; zonas de importancia portuaria como el puerto de La Guaira y el mismo puerto de Puerto Cabello, en los cuales se debe tener sumo cuidado en el diseño de la ruta ya que existen zonas prohibidas y de anclaje que pueden traer consecuencias para la integridad del cable en un futuro.

Dicha ruta parte desde el mismo punto de los tendidos de fibra submarina establecidos previamente en el país. Se realizaron dos (2) posibles rutas para el diseño de este tramo. La primera reflejada de color fucsia en la figura 42.

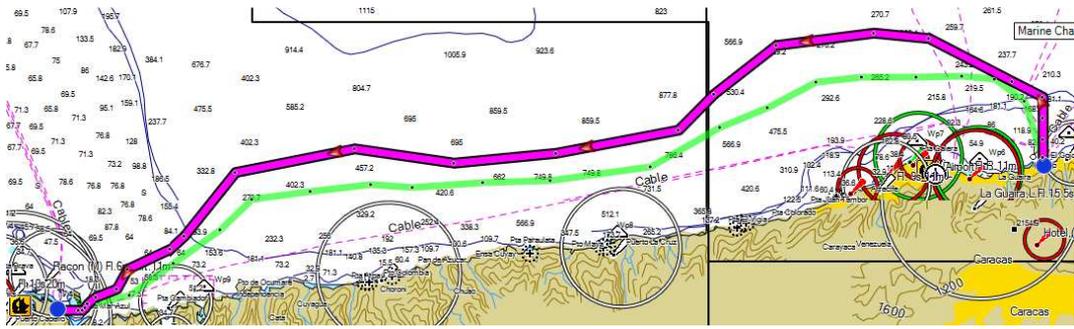


Figura 42. Ruta Número 1: Camurí – Puerto Cabello.

Fuente: Elaboración propia

Y la segunda opción reflejada de color verde en la figura 43.

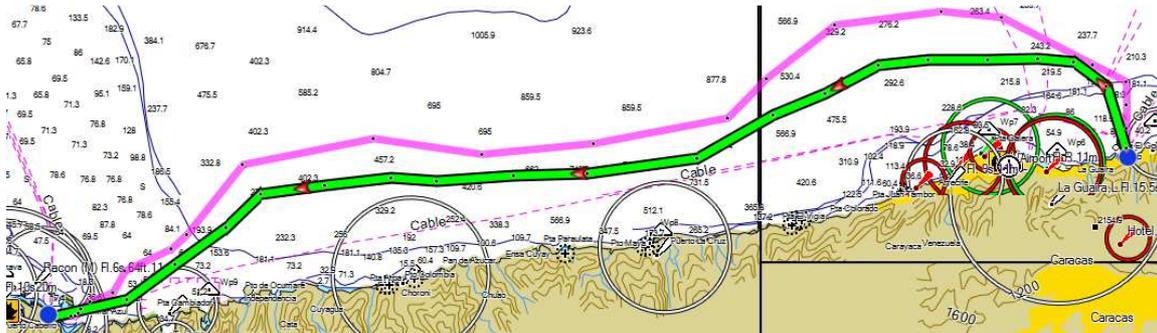


Figura 43. Ruta Número2: Camurí – Puerto Cabello.

Fuente: Elaboración propia

#### IV.2.2 PUERTO CABELLO – CHICHIRIVICHE

Parte de la ciudad de Puerto Cabello recorriendo el lecho marino hasta emerger en Chichiriviche, cuidando zonas de poca profundidad como en la entrada de la costa. Se realizaron (3) posibles rutas sobre este tramo del tendido reflejadas en la figura 44.

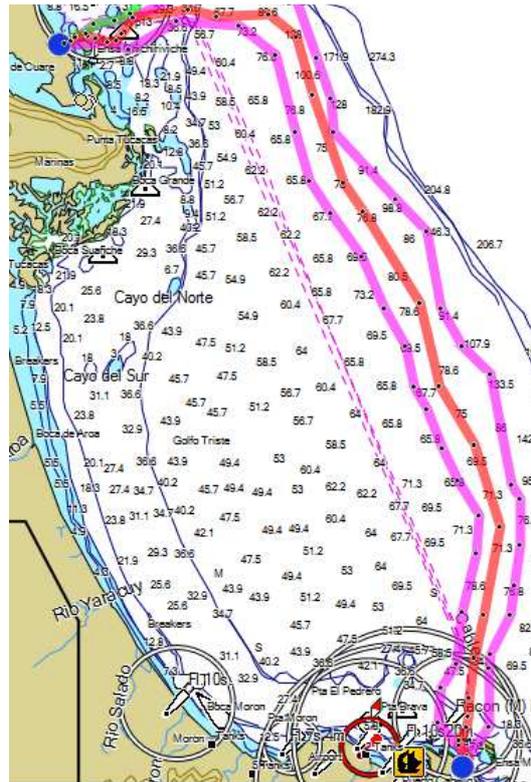


Figura 44. Rutas Puerto Cabello – Chichiriviche.

Fuente: Elaboración propia.

#### IV.2.3 CHICHIRIVICHE – CORO

Parte de la ciudad de Chichiriviche y va hasta la ciudad de Coro, atravesando la costa este del estado Falcón. Se presentan varias dificultades: caídas abruptas de las profundidades como las que suceden entre San Juan de los Cayos y Punta Aguide, cables de fibra ya instalados, fosas marinas y bajas profundidades. Se elaboraron tres (3) rutas posibles para el diseño final, dichas rutas se pueden observar en la figura 45.

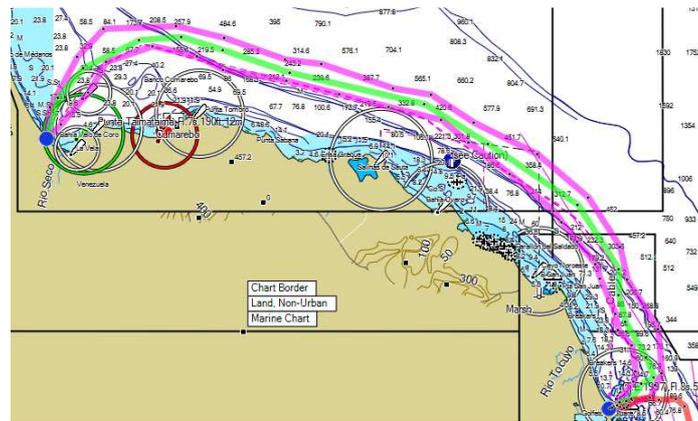


Figura 45. Rutas Chichiriviche-Coro.

Fuente: Elaboración propia

#### IV.2.4 CORO – PUNTO FIJO:

Parte de la ciudad de Coro bordeando totalmente la península de Paraguaná. Las profundidades en el recorrido sobre el lecho marino son uniformes y variando entre los 20m y los 60m, presentando pocos cambios abruptos que pudieran afectar el desempeño de la fibra. Este tendido tiene gran importancia por si en un futuro se desea ampliar la red llegando a las Antillas Neerlandesas (Curazao y Aruba). Se han elaborado dos (2) opciones de rutas sobre este tramo que se pueden observar en la figura 46.

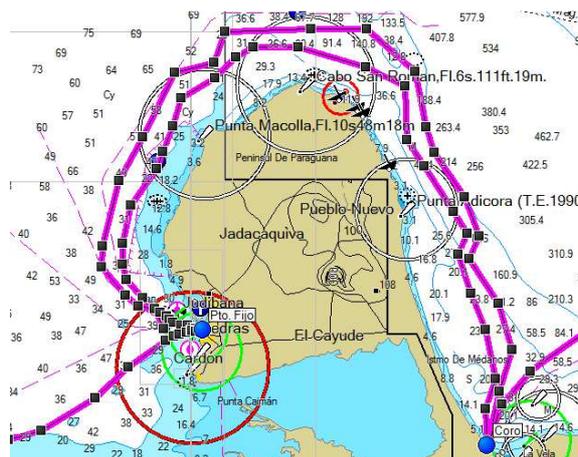


Figura 46. Rutas Coro – Punto Fijo.

Fuente: Elaboración propia.

#### IV.2.5 PUNTO FIJO – CAIMARE CHICO

El cable sale desde Punto Fijo bajando con profundidad cercana a los 20 m en la mayoría del tramo, para luego llegar a aguas poco profundas (menores a 20 m) y arenas características del Golfo de Venezuela. En este tramo se encuentran profundidades muy bajas y zonas donde abunda el tráfico marítimo. Es por ello, que el cable debe ser protegido muy bien a lo largo de esta ruta, dado a que posee condiciones muy críticas en todo su recorrido.

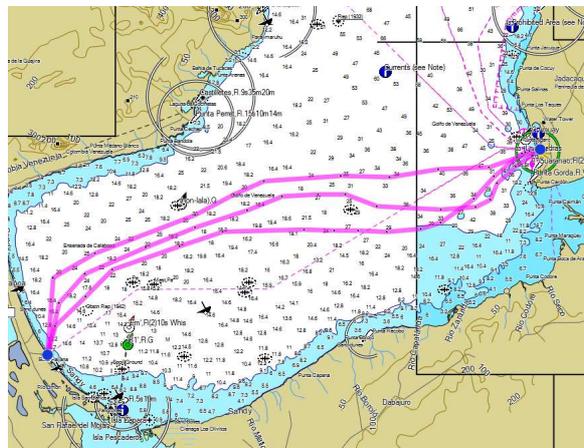


Figura 47. Rutas Punto Fijo – Caimare Chico.

Fuente: Elaboración propia

#### IV.2.6 CAIMARE CHICO – CABIMAS

Quizás una de las rutas más complicadas de elaborar por la gran cantidad de amenazas que recaen sobre el tendido en este tramo. Desde gasoductos hasta canales de tráfico portuario que generan inconvenientes a la hora de realizar la posible instalación del tendido.

La ruta nace en Caimare Chico y debe introducirse en el Lago de Maracaibo a través de un canal cercano a la Isla de Pájaros. Se encuentran inconvenientes como el de Punta de Palmas donde se atraviesan cuatro (4) gasoductos que significan peligro para la red. Para solventar este tipo de tramos se utilizan técnicas como las del enterrado con cama de

concreto, que consiste en colocar un puente de concreto pre fabricado sobre los gaseoductos para que el cable no tenga contacto directo con los mismos. Posteriormente se coloca una capa de arena sobre el cable para no dejarlo expuesto a los peligros del océano.

Al superar este tramo se va estableciendo el cable hasta llegar a Cabimas. En esta última parte se presentan aguas poco profundas con entre 3 m y 10 m de profundidad, lo que significa que el cable debe ir con un armado más resistente, para prestar más protección a los filamentos. El cable culmina en la ciudad de Cabimas. Sobre esta sección se decidió hacer solo una ruta muy bien detallada que reflejara la mejor opción para el diseño de éste tramo.

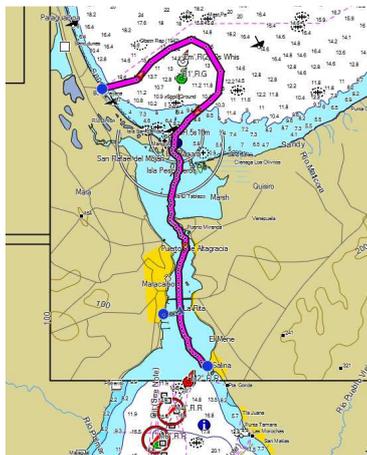


Figura 48. Rutas Caimare Chico – Cabimas.

Fuente: Elaboración propia

#### IV.2.7 CAIMARE CHICO - MARACAIBO:

Último tramo del tendido, se ha dividido en 2 opciones totalmente viables para llegar a la ciudad de Maracaibo.

##### IV.2.7.1 OPCIÓN DE CABLE DIRECTO

Se coloca un cable que parte de la ciudad de Cabimas y emerge en Maracaibo como punto final de la fibra. El primer inconveniente encontrado es cruzar al lado contrario del Lago ya que se encuentra el canal de flujo de las embarcaciones que entran y salen, por lo que se debe tener especial cuidado en el armado y el enterrado del cable en este tramo. Al

atravesar el canal de navegación comienza a emerger hasta tocar la ciudad de Maracaibo.

Se observan profundidades uniformes que dan libertad a elaborar 3 rutas diferentes reflejadas en la figura 49, que posteriormente se resumirá solo a una.



Figura 49. Rutas Cabimas – Maracaibo.

Fuente: Elaboración propia

#### IV.2.7.2 OPCIÓN DE BRANCHING UNIT

Ésta segunda opción se basa en utilizar un derivador para el cable, que sacará un tendido adicional hasta la ciudad de Maracaibo a la altura de Punta Camacho. Al igual que la primera opción el cable debe cruzar el canal de navegación por lo que se debe tener en cuenta a la hora del diseño del armado del mismo. Ésta ruta se muestra en la figura 50, de color gris.



Figura 50. Caimare Chico - Maracaibo

Fuente: Elaboración propia

Una vez establecidas las posibilidades de rutas, se procedió a contactar de nuevo a la empresa para la revisión de las mismas y así elegir la ruta final (1 por tramo) y una sola en conjunto que ofrezca la mejor solución al problema planteado. Adicionalmente en dicha reunión se recolectó información sobre: cálculos de pérdidas del tendido por sección, cálculo de dispersión, modelo del cable a utilizar e información de equipos a implementar a lo largo de la red. Con la ayuda de Google Earth, se realizó una vista aérea de los lugares exactos donde la fibra emerge para localizar las cámaras de amarre en cada una de las ciudades involucradas.

De estas rutas elegidas, la información más importante para el siguiente paso de cálculos es la distancia total del cable por cada tramo las cuales se muestran en la siguiente tabla 1.

Tramo	Distancia (km)
Camurí – Puerto Cabello	129,44
Puerto Cabello – Chichiriviche	79,211
Chichiriviche – Coro	216,81
Coro – Punto Fijo	205,889
Punto Fijo – Caimare Chico	197,829
Caimare Chico – Cabimas	158,875
Caimare Chico – Maracaibo	6,61

Tabla 1. Distancias por tramo de la ruta final.

Fuente: Elaboración propia.

### **IV.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS.**

Luego de recabar la información importante para realizar los cálculos, se procedió a hacer la elección del tipo de fibra deliberando entre fibras monomodo o multimodo. Para esta elección se decidió hacer la revisión de los documentos de la ITU-T desde el G.650 hasta el G.659 estudiando las distintas posibilidades a escoger.

Para dicha decisión se tomaron en cuenta diversos parámetros importantes para el diseño:

Longitud total del cable de fibra: dependiendo de la distancia recorrida por el cable se decide qué tipo de fibra se adapta mejor.

Tipo de Fibra: Monomodo o multimodo.

Tipo de sistema: depende del tipo de sistema a elegir, en este caso el requerido es DWDM.

Capacidad: Sabiendo que el sistema tiene una capacidad de 40Gbps se debe decidir cual tipo de fibra es la que mejor se adapta.

Una vez tomada la decisión del tipo de fibra a utilizar, se revisaron los diferentes modelos de cables provistos por la empresa para estudiar el armado y decidir cuáles de estos eran los que mejor se adaptan a los requerimientos del diseño. Para ello, se hizo consulta de un catálogo de cables de fibra óptica submarina y se decidió cuáles de ellos se escogerían, teniendo en cuenta los riesgos que este puede presentar tanto en la zona cercana a la costa como en las aguas poco profundas.

El cable a instalar debe ser diseñado y fabricado en una sola pieza, por lo que se debe saber con anterioridad que tipo de armadura de las elegidas lleva y en que tramo exacto. Para esto, se hizo una consulta sobre las normas ITU-T que contemplan la instalación de cables de redes submarinos. Se encontró en la norma G.978 que el tipo de armado elegido en su versión más resistente a daños externos se recomienda hasta profundidades de 20m, mientras que el menos armado se puede utilizar en el resto del tendido.

Ya chequeados los criterios, se procedió a realizar el diseño del cable en su totalidad basándose en las profundidades facilitadas por el software Mapsource, dividiéndose así en tramos con tipos de armaduras en específico. Se tomó en cuenta desde la orilla hasta la longitud donde el cable alcanza los 20m de profundidad el armado más robusto y el menos fuerte para el resto del tendido hasta llegar de nuevo a la orilla del siguiente tramo.

Para los tramos de la orilla hasta las cámaras de amarre se utilizó una protección adicional llamada N-pipe. La N-Pipe es una tubería sin tornillos formada por dos piezas idénticas e intercambiables que se acoplan fácilmente entre sí para dar una protección adicional al cable sobre su instalación en el tramo que va desde la orilla hasta la cámara de amarre. Para el diseño se investigaron varios tipos de N-pipe de diferentes proveedores y se eligió el más apropiado para el cable a instalar.

Una vez elegido el N-pipe y sabiendo su longitud efectiva de instalación, se procedió a calcular basándose en la distancia del cable desde la orilla hasta la cámara de amarre, el número exacto de tuberías requerido por cada orilla, en cada uno de los tramos.

Teniendo ya la ruta totalmente definida, con información de cómo realizar los cálculos de pérdidas y dispersión, y ya con diseño definitivo del cable a utilizar, se procedió a realizar el cálculo total de los parámetros importantes de cada uno de los tramos.

Para la elaboración de dichos cálculos se requirió de la ayuda de Microsoft Excel, herramienta con la cual se desarrollaron una serie de hojas de cálculo utilizando las fórmulas ya preestablecidas en el marco teórico.

Dicha documento consta de 7 hojas de cálculo distribuidas de la siguiente manera:

### Hoja 1: Características de la Fibra

Se introduce toda la información con respecto a la fibra óptica a utilizar. En dicha hoja pueden agregarse un sinnúmero de tipos de fibra identificadas con un número ordinal, ya que en relación a los cálculos, el documento pide introducir el número de la fibra correspondiente.

Características de la Fibra					
N°	Tamaño (μm)	Atenuación (dB/Km)	AN	Dispersión Cromática (ps/nm*Km)	Coefficiente PMD (ps/√Km)
1	8/125	0,23	0,20	1,30	0,125
2	8/125	0,25	0,29	9,95	0,125

Figura 51. Hoja Número1: Características de la fibra.

Fuente: Elaboración propia

En ésta primera hoja del documento deben introducirse los siguientes datos:

Tamaño ( $\mu\text{m}$ ): Tamaño de la fibra a utilizar, éste dato se especifica en la información de la fibra.

Atenuación (dB/Km): es la pérdida de potencia óptica en una fibra, y se mide en dB y dB/Km. Éste dato se especifica en la información de la fibra.

Apertura Numérica: es un número a dimensional que caracteriza el rango de ángulos para los cuales el sistema acepta luz. Éste dato al igual que los anteriores se especifica en la información de la fibra.

Dispersión Cromática (ps/nm\*Km): Es el coeficiente de dispersión que tiene la fibra, influye en la desintegración del pulso durante la transmisión.

Coefficiente PMD (ps $\sqrt{\text{Km}}$ ): Este coeficiente representa las pérdidas que produce la fibra por la polarización de la señal, influye sobre el pulso transmitido.

## Hoja 2: Información del transmisor

Se introduce la información del transmisor óptico enumerando cada uno de ellos. Al igual que en la hoja anterior pueden introducirse cualquier cantidad de transmisores en la hoja, ya que al realizar los cálculos se pide el numero del transmisor a utilizar.

Características del Transmisor						
N°	Velocidad de TX (Gbps)	Método de Modulación	Anchura Espectral del Generador (nm)	Potencia del Transmisor (dB)	Ganancia del Amplificador (dB)	Longitud de Onda (nm)
1	40	DPSK	0,1	-1,0	20,0	1550
2	40	DPSK	0,1	-1,0	25,0	1550

Figura 52. Hoja número 2: Características del transmisor.

Fuente: Elaboración propia

En ésta segunda hoja del documento deben introducirse los siguientes parámetros:

Velocidad de Tx en Gbps: es la tasa de transmisión que utilizará el equipo.

Método de Modulación del Equipo: En este caso será DPSK, se estila usar para mayor cantidad de canales PMD-QPSK.

Anchura espectral del generador: es la anchura espectral en nanómetros del fotodiodo LD.

Potencia de Transmisor (dB): Para los cálculos siempre se estima en cero, lo tomaremos un poco más bajo para tener un mejor margen de seguridad.

Ganancia del Amplificador (dB): El equipo utiliza amplificador Raman tanto en la salida de la señal, como pre-amplificación para la llegada de la señal.

Longitud de onda de trabajo: es la longitud de onda utilizada para dicho sistema, en este caso 1550nm.

### Hoja 3: Datos del Receptor

Se introduce la información del receptor óptico enumerando cada uno de ellos. Al igual que en la hoja anterior pueden introducirse cualquier cantidad de receptores en la hoja, ya que al realizar los cálculos se pide el numero del receptor a utilizar.

<b>Características del Receptor</b>			
<b>Nº</b>	<b>Sensibilidad del Receptor (dB)</b>	<b>Ganancia del Pre-Amplificador (dB)</b>	<b>Longitud de Onda (nm)</b>
<b>1</b>	-30	-25,0	1550
<b>2</b>	-30	-15,0	1550

Figura 53. Hoja número 3: Características del Receptor.

Fuente: Elaboración propia

En ésta tercera hoja del documento deben introducirse los siguientes parámetros:

Sensibilidad del Receptor (dB): Representa la potencia mínima indispensable para que el fotodiodo detecte el paso de luz.

Ganancia del Pre-Amplificador (dB): El equipo presenta, un sistema de amplificado tipo Raman, para la recepción tiene el circuito preamplificador.

Longitud de onda de trabajo: es la longitud de onda utilizada para dicho sistema, en este caso 1550nm.

#### Hoja 4: Datos del diseño

En esta hoja es donde se introducen los requerimientos del diseño por tramo y donde se colocan los números correspondientes a la fibra, el transmisor y el receptor a utilizar.

DATOS DEL DISEÑO	
Longitud Fibra (Km)	280,0
N° de Empalmes	4
Pérdidas en Empalmes (dB)	0,10
N° de Conexiones	2
Pérdidas en Conexiones (dB)	0,25
Pérdidas de otros Componentes (dB)	0,00
Márgen Óptico (dB)	6,0
N° de Fibra	1
N° de TX	1
N° de RX	1

Figura 54. Hoja número 4: Requerimientos del sistema por tramo.

Fuente: Elaboración propia

Entre los parámetros requeridos por esta tabla se tiene:

Longitud fibra (km): longitud del cable de fibra por tramo.

Nº de empalmes: se introduce el número de empalmes en cada tramo.

Pérdidas en los empalmes: atenuación que causa cada empalme por tramo.

Nº de conexiones: se introduce el valor de las pérdidas que causan las conexiones del cable a las distintas estaciones.

Pérdidas por otros componentes: son las pérdidas que agregan otros elementos que se introduzcan en el tramo.

Margen óptico: es un margen de pérdidas que se agrega al sistema, pensando si en un futuro se desea: ampliar la red con cable adicional, agregar conectores o conexiones, si existen conexiones sucias.

Tipo de fibra: se introduce el número correspondiente a la fibra que se desea de la hoja de cálculos número 1.

Tipo de transmisor: se introduce el número correspondiente al transmisor que se desea utilizar de la hoja de cálculos número 1.

Tipo de receptor: se introduce el número correspondiente al equipo receptor que se desea de la hoja de cálculos número 1.

### **Hoja 5: Cálculo de dispersión**

Ésta hoja al contrario de las anteriores está diseñada totalmente para ver resultados de los cálculos con respecto al ensanchamiento del pulso (dispersión), utilizando los datos introducidos en las hojas previas.

Dispersión en la Fibra					
Ensanchamiento por Dispersión Cromática					
N° F	N°Tx	Dispersión Cromática (ps/nm*Km)	Anchura Espectral del Generador (nm)	Longitud Fibra (Km)	$\Delta TDC$ (ps)
1	1	1,3	0,1	280	36,4

Figura 55. Cálculos de ensanchamiento por dispersión cromática.

Fuente: Elaboración propia

En el primer campo N° F se muestra el número de fibra escogido en la tabla anterior. En el segundo llamado N°Tx, se indica el modelo de transmisor elegido.

El campo de dispersión cromática indica el valor que se introdujo en la hoja 1 de parámetros de la fibra, al igual que la anchura espectral del generador que se introdujo en la hoja 3 del transmisor. La longitud de la fibra se solicitó en la hoja 4 de los requerimientos. El último campo  $\Delta T$  (ps), arroja el resultado del cálculo del ensanchamiento del pulso introducido por la dispersión cromática.

Como se sabe, la dispersión total introducida en un sistema viene dada por la suma del ensanchamiento por la dispersión cromática más el ensanchamiento por la dispersión en modo de polarización. El cálculo del segundo dato se realizó en la siguiente tabla:

Ensanchamiento por Dispersión Modo de Polarización					
N° F	N° Tx	Coefficiente PMD (ps/√Km)	Longitud Fibra (Km)	Raíz Cuadrada de la Longitud (√Km)	$\Delta T_{PMD}$ (ps)
1	1	0,125	280	16,73320053	2,091650066

Figura 56. Cálculo de dispersión por polarización.

Fuente: Elaboración propia

En el primer y segundo campo, se reflejan el número de fibra elegida y el número de transmisor que se decidió respectivamente. El coeficiente PMD se encuentra en los datos de la fibra. La longitud de la fibra se solicita en la hoja número 4 y el siguiente campo se calcula con la raíz del dato anterior. Como resultado se obtiene la última celda de la tabla que indica el ensanchamiento del pulso por la dispersión en modo de polarización.

En definitiva, el ensanchamiento total del pulso se calculó sumando los valores acumulados arrojando el resultado final de la dispersión total, en el campo  $\Delta T$  (ps).

Ensamamiento del Pulso Total				
N° F	N° Tx	$\Delta TDC$ (ps)	$\Delta TPMD$ (ps)	$\Delta T$ (ps)
1	1	36,4	2,091650066	<b>38,4917</b>

Figura 57. Calculo total de la dispersión introducida en el sistema.

Fuente: Elaboración propia.

La cuarta tabla de dicha hoja, abarca los cálculos del ancho de banda con respecto a la modulación a utilizar. Tomando en cuenta las formulas de cálculo de ancho de banda en el marco teórico.

Ancho de Banda según Codificación			
PMD-QPSK			
N° Tx	Constante	$\Delta T$ (ps)	AB (Hz)
1	1,76	38,4917	<b>45,7E+9</b>

Figura 58. Cálculo de ancho de banda del sistema por tramo.

Fuente: Elaboración propia

El campo N°Tx al igual que las tablas anteriores, muestra el modelo de transmisor escogido en la hoja 4. El campo  $\Delta T$  (ps), es el valor de la dispersión total calculado en la tabla 3 de dicha hoja. Finalmente AB (Hz), arroja el resultado del ancho de banda resultante dependiendo del tipo de modulación en este caso DPSK.

### Hoja 6: Cálculo de las pérdidas introducidas en el sistema.

En ésta hoja se realizan todos los cálculos de pérdidas del sistema por: empalmes, conexiones, naturaleza de la fibra y por otros componentes. La hoja está compuesta por 4 cuadros que realizan cálculos por separado.

El primer cuadro está enfocado en las pérdidas por la naturaleza de la fibra óptica, haciendo referencia a la ecuación de pérdidas del marco teórico.

<b>Pérdidas de la Fibra Óptica</b>			
<b>N° F</b>	<b>Atenuación (dB/Km)</b>	<b>Longitud Fibra (Km)</b>	<b>TOTAL (dB)</b>
<b>1</b>	0,35	250,0	<b>87,5</b>

Figura 59. Cálculo de pérdidas en la fibra óptica.

Fuente: Elaboración propia

El segundo recuadro, está orientado a cálculos por pérdidas en los empalmes, multiplicando el número de empalmes por las pérdidas en cada uno de ellos.

<b>Pérdidas en los Empalmes</b>			
<b>N° F</b>	<b>N° de Empalmes</b>	<b>Pérdidas de Empalmes (dB)</b>	<b>TOTAL (dB)</b>
<b>1</b>	3,0	0,3	<b>0,9</b>

Figura 60. Cálculo de pérdidas en los empalmes.

Fuente: Elaboración propia

El tercer cuadro de dicha hoja, está reservado para la realización del cálculo de pérdidas en las conexiones de las terminales terrenas.

<b>Pérdidas en las Conexiones</b>			
<b>N° F</b>	<b>N° de Conexiones</b>	<b>Pérdidas en Conexiones (dB)</b>	<b>TOTAL (dB)</b>
<b>1</b>	2,0	1,0	<b>2</b>

Figura 61. Cálculo de pérdida por conexiones.

Fuente: Elaboración propia

El último cuadro, abarca la suma de todas las pérdidas anteriores, introduciendo 2 adicionales: pérdidas por otros componentes y el margen óptico, parámetros que deben tomarse en cuenta a la hora del diseño para prever futuras contingencias como: empalmes

adicionales, conexiones sucias o ampliación del cable. Dicho cálculo total se puede ver reflejado en la figura.

Pérdida Total de la Fibra Óptica						
N° F	Pérdidas de la Fibra Óptica (dB)	Perdidas en los Emplames (dB)	Pérdida en las Conexiones (dB)	Pérdidas en Otros Componentes (dB)	Márgen Óptico (dB)	TOTAL (dB)
1	87,5	0,9	2	0,0	2,0	92,4

Figura 62. Calculo total de las pérdidas en el sistema.

Fuente: Elaboración propia

### Hoja 7: Cálculo del Balance de Potencias

En ésta hoja se realizan todos el balance de potencia del sistema, seleccionado los equipos y se demuestra si la selección de equipos es adecuada o no, para el uso en el tramo.

El primer cuadro está enfocado en las pérdidas por la naturaleza de la fibra óptica, haciendo referencia a la ecuación de pérdidas del marco teórico.

Balance de Pontencias						
N° F	N° TX	N° RX	Potencia del Transmisor Amplificado (dB)	Sensibilidad del Receptor Pre-Amplificado (dB)	Pérdida Total Fibra Óptica (dB)	FUNCIONALIDAD
1	1	1	19,0	-55,0	71,3	SIRVE

Figura 63. Calculo total de las pérdidas en el sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Finalizado todos los cálculos se procedió a la selección de los equipos capaces de cumplir con los requerimientos del diseño. Para ello, se tomó en cuenta que todos los equipos lograrán obtener pérdidas inferiores a la máxima permisible, además de debían ser compatibles entre sí.

#### **IV.4 ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO ESTIMADO.**

Reunidas ya todas las especificaciones técnicas de cada tramo, equipos por estación, tipo de cable, longitud de cada tramo, cantidad de conectores y empalmes, se procedió a estimar el presupuesto del proyecto basado en los costos brindados en una reunión con la empresa que patrocina el proyecto.

Durante la reunión se discutieron los precios de cada producto que se encontraba involucrado en el diseño, además de los costos de los estudios posteriores que debían realizarse en caso de que se quiera ejecutar el diseño. También se discutieron los distintos costos de operación e instalación que la empresa estima junto con su margen de ganancia. Se acordó además que los precios detallados no serían publicados por confidencialidad de la empresa que patrocina el proyecto, ya que esto es personalizado para cada empresa cliente y no son datos que se liberen al público.

Reunida toda la información de costos se procedió a elaborar una tabla en Excel que permitiera sumar y agrupar los diversos equipos y servicios con sus respectivos costos para obtener el presupuesto estimado del proyecto.

El trabajo fue redactado de manera conjunta, durante la elaboración del proyecto. La decantación de la información se realizaba de manera inmediata, evitando así olvidos o demoras en la elaboración del documento. Además, el capítulo 2 se le realizó incisos importantes durante todo el proceso de ejecución.

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

En este capítulo se presenta todos los resultados obtenidos a partir de la culminación de cada una de las fases establecidas en la metodología del trabajo de grado, planteando un breve recuento de que trató dicha fase y lo que se logró obtener de su realización, además de mencionar su aporte para el progreso del trabajo de grado.

#### **V.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN Y DOCUMENTACIÓN.**

La primera etapa consistió en la recolección de los datos teóricos necesarios para comenzar la investigación previa con todo lo referente a la Fibra Óptica, su proceso de fabricación, su evolución a través del tiempo, sus beneficios, y sus especificaciones técnicas de funcionamiento. Además, cualquier otra información que sea de interés para la investigación y así poder desarrollar el diseño.

En esta etapa se obtuvo como resultado el desarrollo de un marco teórico que provee el soporte teórico necesario y sirve de base para la elaboración del diseño. Este desarrollo teórico no es únicamente una consecución de conceptos y teorías matemáticas, sino además representa unas bases que brindan la comprensión necesaria para poder empezar una investigación minuciosa de los requerimientos del sistema que se va a diseñar.

Dentro de esta investigación teórica se recolectaron datos técnicos que facilitaron el proceso de diseño de las diferentes rutas. Se hizo una entrevista directamente con el presidente de Makai Ocean Engineering situada en Oahu, Hawaii; quien amablemente ofreció una serie de consejos a tener en cuenta en el diseño de las rutas.

Entre estos consejos se tienen:

- Se pueden cruzar cables a lo largo de la ruta siempre cuidando el cruce se haga de manera perpendicular, para así en caso de que se presente una falla cerca de esa

posición el levantado del cable se haga de manera independiente y sin afectar al cable cercano.

- Si existe una pendiente muy pronunciada entre 2 puntos en el lecho marino, esta ser atravesada de manera diagonal para cuidar que el cable no se desplace lateralmente con el peso.
- Evitar pendientes con inclinaciones mayores a 25°.
- Evitar hacer tendidos de cables en sitios rocosos.
- Evitar suspensiones del cable, éste siempre debe descansar en una base en el lecho marino.
- Evitar sitios de pesca y anclaje, ya que pueden ocasionar lesiones al cable en un futuro.
- Realizar el enterrado del cable a 1mts o 2mts preferiblemente.
- Sumar aproximadamente un 2% o 3% adicional de cable para el tendido por si existen irregularidades en el terreno no falte el mismo.

Adicionalmente, se estableció una entrevista con la empresa de telecomunicaciones de mas impacto en la telefonía Venezolana, para consignar información de los tendidos previos en las costas venezolanas buscando lugares exactos de estaciones terrenas en donde el cable toca tierra para así tener una idea aproximada de dónde debería partir y donde debería tocar el cable. En esta entrevista, la empresa facilitó una serie de mapas en donde se puede apreciar dicha información.

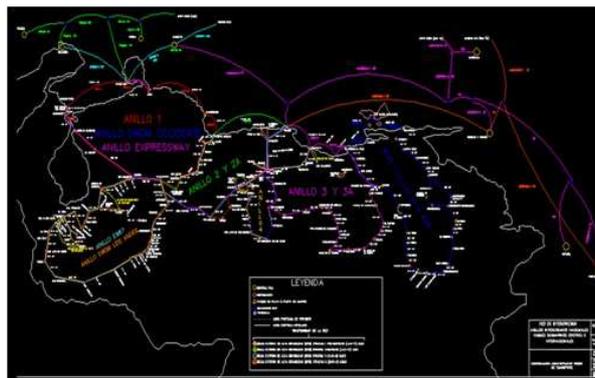


Figura 64. Mapa de red establecida en Venezuela.

Fuente: CANTV.

También, con esta recopilación se obtuvieron las fórmulas necesarias para elaborar todos los cálculos relativos a la elaboración del diseño propuesto, dispersión cromática, atenuación, ganancia de la línea de transmisión, potencia de transmisión, potencia de recepción. Esta sección está reflejada en el marco teórico.

## V.2 RESULTADOS DE LA PLANIFICACIÓN.

La segunda etapa consistía en la recolección de todos los requerimientos necesarios para llevar a cabo la elaboración del diseño. Entre estos elementos se encuentran: tipo de sistema, capacidad, lugares de conexión a tierra y posibilidad de escalabilidad del mismo.

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA			
Tipo de sistema	Tipo de fibra	Capacidad	Estaciones terrenas
DWDM No repetido	24 hilos ITU-T G.655	Máximo 40 Lambdas de 40Gbps	Maiquetía, Puerto Cabello, Coro, Chichiriviche, Punto Fijo, Caimare Chico, Cabimas, Maracaibo

Tabla 2. Requerimientos del sistema.

Fuente: Elaboración propia

Como primer resultado de esta etapa, se obtuvo que el sistema a diseñar estaría basado en la tecnología DWDM cuya capacidad se estableció en 40 Lambdas de 1Gbps haciendo un total de 40Gbps de capacidad máxima. El sistema se debe caracterizar por ser no repetido por lo que las distancias de los cables no deben sobrepasar los 400KM para que la señal logre llegar al receptor sin necesidad de regeneración. El Cable debe estar compuesto de 24 hilos de fibra haciendo referencia a la norma ITU-T G.655 y G.652.

Teniendo ya los requerimientos, se procedió a recolectar todos los datos relacionados con las cartas marinas del área centro-occidental de Venezuela. Entre ellas se obtuvieron: Boca del Lago de Maracaibo, canal de Maracaibo, Lago de Maracaibo, Caribe, Chichiriviche, Golfo de Venezuela, La Guaira, Puerto Cabello, San Juan – Cabo Codera y Vela – Punta San Juan.

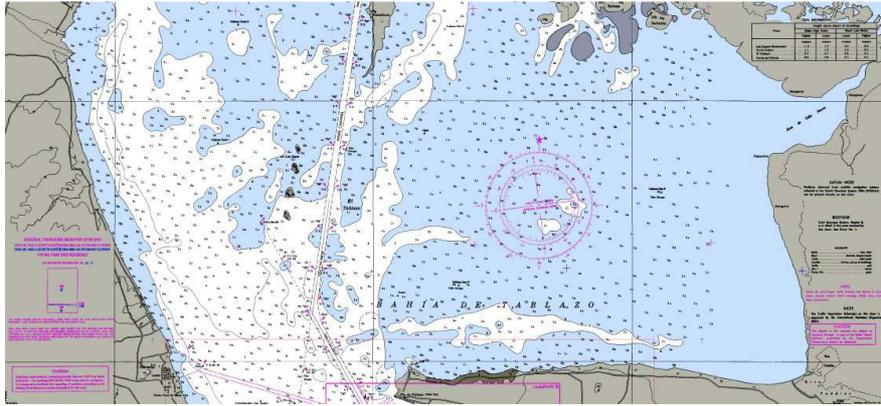


Figura 65. Carta marina boca del Lago de Maracaibo.

Fuente: Elaboración propia

Aunque las cartas son de gran ayuda para el sondeo del lecho marino, es necesario el software para una realización de la ruta más automatizada y que sea más interactiva. Se opto por utilizar el software MapSource de la empresa Garmin. Este software cuenta con herramientas de gran utilidad para realizar diseños del tipo propuesto. Entre estas herramientas se tienen: posibilidad de construir rutas teóricas extendiendo un cable virtual, cálculo de la longitud del cable virtual, recálculo de rutas, entre otras prestaciones. Este software fue adquirido con licencia original para el buen desarrollo del trabajo de grado.

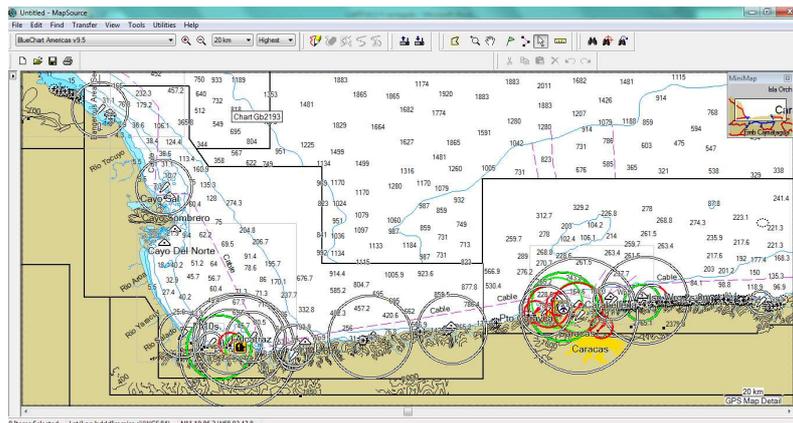


Figura 66. MapSource Versión 6.12.4.

Fuente: Elaboración propia.

### **V.3 RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN Y DISEÑO.**

Esta tercera etapa consistía en la elaboración y contrastación de las distintas rutas necesarias para cubrir el objetivo planteado. Estas rutas se dividen en 7 secciones: Maiquetía – Puerto Cabello, Puerto Cabello – Chichiriviche, Chichiriviche – Coro, Coro - Punto fijo, Punto fijo - Caimare Chico, Caimare Chico – Cabimas y Caimare Chico – Maracaibo.

En cada una de estas secciones se realizaron varias posibilidades que luego se evaluaron para obtener así la mejor ruta por cada tramo y una ruta definitiva en total. Estas rutas definitivas por sección y la ruta final se presentan a continuación por segmentos.

El programa MapSource de Garmin, entre todas sus prestaciones tiene la funcionalidad de otorgar al usuario distintos datos de la ruta establecida en una tabla solicitada en las propiedades de la ruta.

Esta tabla consiste de varios campos explicados a continuación:

- #: Enumera cada punto perteneciente a la ruta llevando un control de los puntos existentes.
- Direcciones/nombre: presenta el nombre de cada tramo de la ruta.
- Distancia: arroja la distancia del recorrido del cable hasta el punto donde se consulta.
- Distancia de la sección: muestra la distancia de cada tramo en específico
- Curso: muestra la dirección en grados hacia donde se está dirigiendo la ruta.
- Posición: Quizás uno de los más importantes, enseña la localización geográfica de cada uno de los puntos de la ruta en Lat/Long hddd°mm'ss.s.

Toda esta información es de suma importancia para recolectar la totalidad de características de la ruta final, ya que al culminar el diseño deben dejarse todos los datos geográficos claros para que la empresa proceda a la contratación de la batimetría. Es por eso que en cada tramo a explicar a continuación se detalla una tabla con los mismos.

### V.3.1 MAIQUETÍA – PUERTO CABELLO

La ruta definitiva se presenta de color verde en la figura 67, tiene una profundidad uniforme, no posee cambios abruptos, una distancia total de 129.440m y 40 puntos de paso.

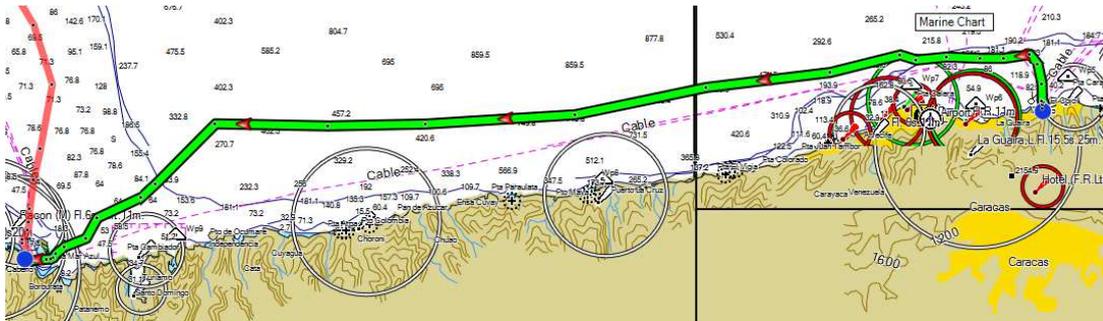


Figura 67. Ruta Maiquetía – Puerto Cabello.

Fuente: Elaboración propia

Los puntos de paso o *waypoints* son puntos que se generan al hacer el trazado de la ruta para darle forma al recorrido de la misma. Estos son de suma importancia ya que brindan información exacta del camino que recorre el cable a través de coordenadas geográficas arrojadas en las propiedades de la ruta.

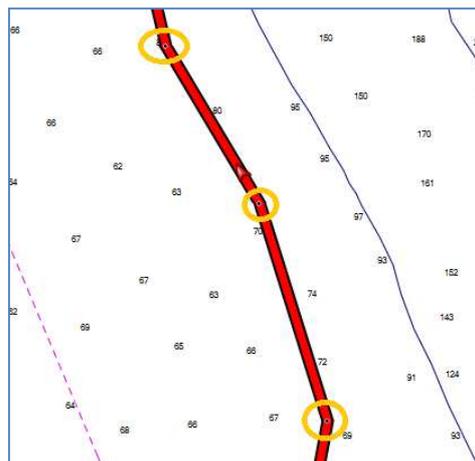


Figura 68. Puntos de paso (waypoints).

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra la tabla de propiedades de ruta con toda la información pertinente a la misma.

#	Nombre	Distancia	Distancia del tramo	Curso	Posición
1.	Camurí	0 m			N10 36 34.9 W66 52 38.1
2.	Depth Area4	18 m	18 m	55° true	N10 36 35.2 W66 52 37.6
3.	Depth Area2	99 m	82 m	49° true	N10 36 36.9 W66 52 35.6
4.	Depth Area	157 m	57 m	8° true	N10 36 38.8 W66 52 35.3
5.	Depth Area1	271 m	115 m	5° true	N10 36 42.5 W66 52 34.9
6.	10.0 m depth	478 m	207 m	356° true	N10 36 49.1 W66 52 35.4
7.	Marine Chart6	660 m	181 m	5° true	N10 36 55.0 W66 52 34.9
8.	Marine Chart5	901 m	242 m	31° true	N10 37 01.7 W66 52 30.8
9.	Marine Chart7	951 m	50 m	343° true	N10 37 03.2 W66 52 31.3
10.	Marine Chart10	1.0 km	68 m	299° true	N10 37 04.3 W66 52 33.2
11.	Marine Chart9	1.2 km	148 m	291° true	N10 37 06.0 W66 52 37.8
12.	Marine Chart11	1.2 km	36 m	335° true	N10 37 07.1 W66 52 38.3
13.	ChartGb1629(a)2	2.8 km	1.6 km	0° true	N10 38 00.2 W66 52 38.5
14.	Char49	4.8 km	2.0 km	346° true	N10 39 02.9 W66 52 54.5
15.	Char50	6.2 km	1.3 km	316° true	N10 39 33.9 W66 53 24.8
16.	Char47	9.2 km	3.1 km	263° true	N10 39 21.6 W66 55 04.8
17.	Char44	12.0 km	2.8 km	270° true	N10 39 21.6 W66 56 35.5
18.	Char46	15.9 km	3.9 km	272° true	N10 39 26.0 W66 58 44.8
19.	Char45	19.5 km	3.6 km	265° true	N10 39 16.3 W67 00 43.0
20.	Char48	21.5 km	1.9 km	285° true	N10 39 32.5 W67 01 44.9
21.	ChartI	29.8 km	8.4 km	258° true	N10 38 36.8 W67 06 14.0
22.	Char35	44.5 km	14.6 km	264° true	N10 37 49.1 W67 14 12.5
23.	Char51	60.0 km	15.6 km	260° true	N10 36 22.5 W67 22 37.9
24.	Char52	77.6 km	17.6 km	267° true	N10 35 52.7 W67 32 15.0
25.	Char53	89.1 km	11.4 km	269° true	N10 35 46.6 W67 38 31.5
26.	Char54	102 km	13.2 km	271° true	N10 35 53.4 W67 45 46.7
27.	ChartImd21(B)5	111 km	9.2 km	230° true	N10 32 42.2 W67 49 36.9
28.	ChartGb1628(a)	114 km	2.2 km	232° true	N10 31 59.5 W67 50 33.2
29.	ChartGb1628(a)1	119 km	5.5 km	249° true	N10 30 54.0 W67 53 22.4
30.	ChartGb1628(a)2	122 km	2.4 km	213° true	N10 29 48.9 W67 54 05.7
31.	ChartGb1628(a)3	124 km	2.7 km	252° true	N10 29 22.1 W67 55 28.5
32.	ChartGb1628(a)4	125 km	1.2 km	236° true	N10 29 00.4 W67 56 01.4
33.	ChartGb1628(a)5	126 km	500 m	217° true	N10 28 47.5 W67 56 11.3

34.	Marine Chart4	126 km	317 m	248° true	N10 28 43.7 W67 56 21.0
35.	Marine Chart2	127 km	498 m	266° true	N10 28 42.4 W67 56 37.3
36.	20.0 m depth	128 km	1.2 km	266° true	N10 28 40.1 W67 57 15.3
37.	10.0m-20.0m	129 km	641 m	266° true	N10 28 38.7 W67 57 36.3
38.	Depth Area3	129 km	725 m	276° true	N10 28 41.3 W67 58 00.0
39.	Land, Non-Urban	129 km	73 m	276° true	N10 28 41.6 W67 58 02.4
40.	Pto Cabello	129 km	82 m	276° true	N10 28 41.9 W67 58 05.1

Tabla 3. Propiedades de ruta Maiquetía – Puerto Cabello.

Fuente: Elaboración propia.

### V.3.2 PUERTO CABELLO – CHICHIRIVICHE

La ruta definitiva para este tramo, cuenta con 31 puntos de paso y una distancia total de 79.211m. Se decidió elegir esta ruta a diferencia de las otras ya que presentaba menos cambios bruscos de profundidades y presta más integridad en cuanto a la protección del cable. Dicha ruta se muestra en la figura 69.

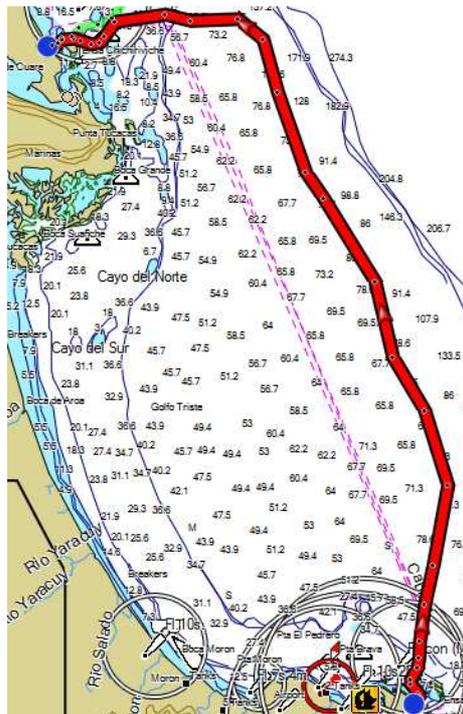


Figura 69. Ruta Puerto Cabello – Chichiriviche.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se especifican las propiedades de la ruta con toda la información de importancia:

#	Nombre	Distancia	Distancia del tramo	Curso	Posición
1.	Pto Cabello	0 m			N10 28 43.2 W67 58 02.5
2.	10.0m-20.0m4	783 m	783 m	41° true	N10 29 02.3 W67 57 45.7
3.	10.0m-20.0m3	1.0 km	224 m	348° true	N10 29 09.4 W67 57 47.3
4.	10.0m-20.0m2	2.0 km	1.0 km	317° true	N10 29 33.9 W67 58 10.7
5.	Char27	2.4 km	362 m	0° true	N10 29 45.6 W67 58 10.7
6.	Char28	3.5 km	1.1 km	34° true	N10 30 15.7 W67 57 49.8
7.	Char29	4.3 km	781 m	10° true	N10 30 40.6 W67 57 45.4
8.	Char30	5.6 km	1.3 km	3° true	N10 31 23.4 W67 57 42.9
9.	Char31	8.5 km	2.9 km	9° true	N10 32 55.5 W67 57 27.9
10.	ChartG	11.7 km	3.2 km	15° true	N10 34 35.1 W67 57 01.6
11.	Char13	18.2 km	6.4 km	12° true	N10 37 58.6 W67 56 16.5
12.	ChartGb1628(a)9	24.4 km	6.2 km	340° true	N10 41 07.5 W67 57 27.7
13.	ChartGb1628(a)8	29.5 km	5.2 km	325° true	N10 43 24.0 W67 59 05.9
14.	ChartGb1628(a)13	35.7 km	6.1 km	344° true	N10 46 35.4 W68 00 00.5
15.	ChartGb1628(a)11	43.8 km	8.1 km	324° true	N10 50 06.9 W68 02 38.6
16.	ChartGb1628(a)10	46.5 km	2.7 km	321° true	N10 51 13.6 W68 03 33.9
17.	ChartImd21(B)8	53.3 km	6.8 km	337° true	N10 54 36.6 W68 05 00.2
18.	ChartImd21(B)11	57.6 km	4.4 km	342° true	N10 56 50.5 W68 05 45.1
19.	Marine Chart12	60.5 km	2.8 km	304° true	N10 57 42.2 W68 07 02.2
20.	Marine Chart13	64.9 km	4.4 km	268° true	N10 57 37.7 W68 09 27.5
21.	Marine Chart14	67.3 km	2.4 km	282° true	N10 57 53.9 W68 10 46.5
22.	Marine Chart15	72.1 km	4.7 km	263° true	N10 57 35.1 W68 13 21.2
23.	Marine Chart16	73.6 km	1.5 km	220° true	N10 56 58.3 W68 13 52.9
24.	Marine Chart6	74.2 km	661 m	222° true	N10 56 42.4 W68 14 07.5
25.	Marine Chart18	75.0 km	766 m	260° true	N10 56 38.2 W68 14 32.4
26.	Marine Chart19	76.0 km	1.0 km	286° true	N10 56 47.3 W68 15 05.5
27.	Marine Chart20	76.7 km	692 m	284° true	N10 56 52.8 W68 15 27.6
28.	Marine Chart21	77.8 km	1.1 km	265° true	N10 56 49.8 W68 16 02.4
29.	Spot Depth3	78.2 km	469 m	235° true	N10 56 41.1 W68 16 15.0
30.	5.0 m depth	78.8 km	508 m	227° true	N10 56 29.9 W68 16 27.3
31.	Chichiriviche	79.4 km	665 m	278° true	N10 56 33.0 W68 16 49.0

Tabla 4. Propiedades de ruta Puerto Cabello – Chichiriviche.

Fuente: Elaboración propia.

### V.3.3 CHICHIRIVICHE – CORO

La ruta elegida en este tramo cuenta con 23 puntos de paso distribuidos en la costa falconiana haciendo una totalidad de 216.810m de cable que unirán Chichiriviche con la ciudad de Coro. Se eligió esta ruta en conjunto con la empresa ya que era la que presentaba menos riesgos para el cable, a diferencia de las otras en las que se podría ahorrar dinero en el cable pero los peligros de un corte o golpe al tendido era mayor. La ruta definitiva se puede observar en la figura 70, de color verde.

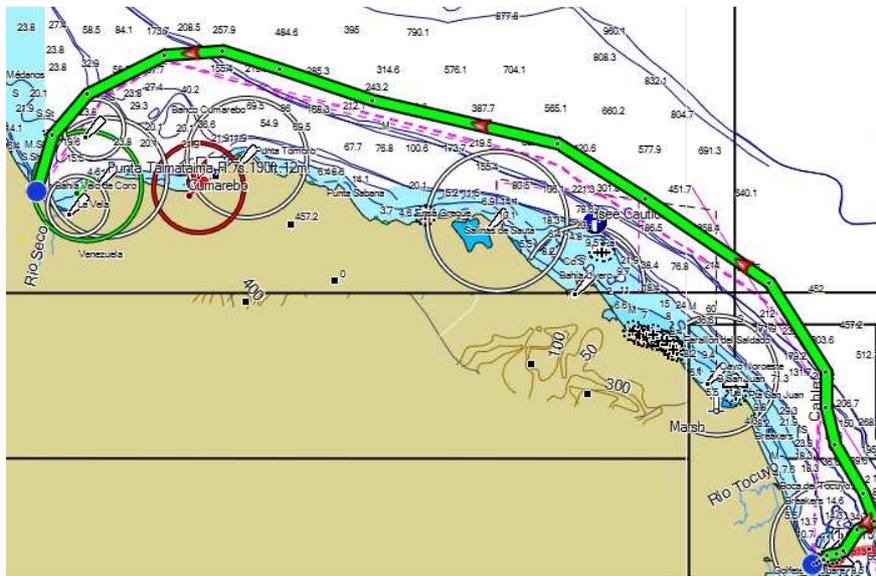


Figura 70. Ruta Chichiriviche – Coro.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan las propiedades de la ruta con toda la información de importancia:

#	Nombre	Distancia	Distancia del tramo	Curso	Posición
1.	Chichiriviche	0 m			N10 56 33.0 W68 16 49.0
2.	Spot Depth2	504 m	504 m	79° true	N10 56 36.1 W68 16 32.7
3.	Marine Chart2	1.6 km	1.1 km	57° true	N10 56 54.8 W68 16 03.5

4.	Marine Chart5	2.5 km	951 m	84° true	N10 56 58.2 W68 15 32.4
5.	Marine Chart17	3.5 km	955 m	44° true	N10 57 20.6 W68 15 10.7
6.	Marine Chart7	5.3 km	1.8 km	82° true	N10 57 28.6 W68 14 11.8
7.	Marine Chart8	6.7 km	1.4 km	69° true	N10 57 44.9 W68 13 28.4
8.	Marine Chart9	11.0 km	4.3 km	38° true	N10 59 34.0 W68 12 01.7
9.	Marine Chart10	14.5 km	3.5 km	67° true	N11 00 17.9 W68 10 14.3
10.	Marine Chart25	19.4 km	4.9 km	335° true	N11 02 42.6 W68 11 22.7
11.	Spot Depth	29.0 km	9.5 km	325° true	N11 06 56.2 W68 14 22.4
12.	Spot Depth1	35.2 km	6.2 km	344° true	N11 10 08.7 W68 15 19.7
13.	Marine Chart	40.9 km	5.7 km	0° true	N11 13 13.0 W68 15 19.3
14.	Marine Chart1	58.8 km	17.9 km	323° true	N11 20 55.4 W68 21 16.5
15.	Marine Chart11	86.0 km	27.2 km	300° true	N11 28 12.0 W68 34 16.2
16.	Marine Chart23	105 km	19.0 km	298° true	N11 32 58.2 W68 43 30.9
17.	Marine Chart26	141 km	36.1 km	281° true	N11 36 42.9 W69 02 59.5
18.	Marine Chart22	159 km	18.4 km	286° true	N11 39 25.3 W69 12 43.8
19.	Marine Chart3	171 km	11.3 km	285° true	N11 41 00.0 W69 18 45.0
20.	Marine Chart4	182 km	11.1 km	266° true	N11 40 37.4 W69 24 52.2
21.	Marine Chart24	198 km	16.0 km	247° true	N11 37 16.9 W69 32 57.7
22.	Char65	207 km	9.4 km	226° true	N11 33 44.5 W69 36 38.4
23.	Coro	217 km	9.6 km	199° true	N11 28 50.6 W69 38 22.5

Tabla 5. Propiedades de ruta Chichiriviche - Coro.

Fuente: Elaboración propia.

### V.3.4 CORO – PUNTO FIJO

Cuenta con una distancia de 205,889km y 39 puntos de paso que van desde Coro bordeando la península hasta llegar a Punto Fijo. Se muestra en azul a continuación en la siguiente figura.

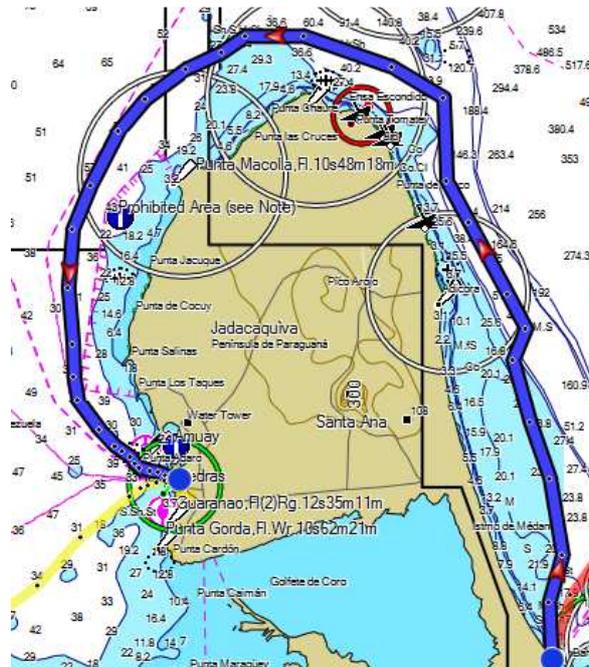


Figura 71. Ruta Coro – Punto Fijo.

Fuente: Elaboración propia

Dos rutas han sido diseñadas para esta sección. La elegida cuenta con profundidades uniformes y distanciadas de la costa entre 10 km y 18 km, además de poco peligro para el cable instalado. Esta ruta es importante ya que de ella se puede expandir la red llegando hasta Aruba y Curazao. En el caso de expansión se puede estudiar colocar un tramo de cable adicional que salga de la estación Coro o Chichiriviche.

La información detallada de la ruta se encuentra a continuación en la siguiente tabla:

#	Nombre	Distancia	Distancia del tramo	Curso	Posición
1.	Coro	0 m			N11 28 50.6 W69 38 22.5
2.	Depth Area6	50 m	50 m	357° true	N11 28 52.2 W69 38 22.6

3.	Char14	8.1 km	8.0 km	357° true	N11 33 11.1 W69 38 37.3
4.	Char66	15.1 km	7.0 km	19° true	N11 36 46.1 W69 37 23.4
5.	Char67	26.0 km	10.9 km	349° true	N11 42 32.5 W69 38 32.7
6.	Char68	34.6 km	8.6 km	338° true	N11 46 50.6 W69 40 21.4
7.	Chart9	43.8 km	9.2 km	342° true	N11 51 31.7 W69 41 56.0
8.	Chart6	48.7 km	4.9 km	26° true	N11 53 55.6 W69 40 45.0
9.	Char71	54.5 km	5.7 km	328° true	N11 56 32.3 W69 42 25.9
10.	Char72	66.4 km	12.0 km	327° true	N12 01 58.3 W69 45 58.4
11.	Char73	73.3 km	6.9 km	327° true	N12 05 06.2 W69 48 01.1
12.	Chart7	85.0 km	11.7 km	357° true	N12 11 25.0 W69 48 18.4
13.	Char75	94.6 km	9.6 km	297° true	N12 13 44.6 W69 53 02.0
14.	ChartU	110 km	15.3 km	286° true	N12 16 05.0 W70 01 08.3
15.	Char37	120 km	9.7 km	270° true	N12 16 05.3 W70 06 30.3
16.	Char34	124 km	4.5 km	240° true	N12 14 52.0 W70 08 40.6
17.	ChartGb21935	131 km	6.4 km	248° true	N12 13 35.1 W70 11 57.9
18.	ChartGb21934	139 km	7.9 km	238° true	N12 11 19.3 W70 15 41.0
19.	ChartGb21936	145 km	6.4 km	225° true	N12 08 53.8 W70 18 09.8
20.	ChartGb21931	154 km	9.0 km	211° true	N12 04 46.4 W70 20 43.5
21.	ChartGb21932	161 km	6.8 km	206° true	N12 01 27.5 W70 22 22.6
22.	ChartGb21933	169 km	8.3 km	185° true	N11 57 00.7 W70 22 47.4
23.	Char41	177 km	8.0 km	174° true	N11 52 44.8 W70 22 21.8
24.	Char86	182 km	4.6 km	178° true	N11 50 16.6 W70 22 16.2
25.	Char87	185 km	3.4 km	169° true	N11 48 30.2 W70 21 54.8
26.	Char88	190 km	5.5 km	139° true	N11 46 16.8 W70 19 54.8
27.	Char89	194 km	3.5 km	132° true	N11 45 00.6 W70 18 29.1
28.	Char90	195 km	1.4 km	120° true	N11 44 37.8 W70 17 49.0
29.	Char91	197 km	1.6 km	121° true	N11 44 11.6 W70 17 03.9
30.	Char92	198 km	1.2 km	140° true	N11 43 42.5 W70 16 39.1
31.	Char93	199 km	982 m	129° true	N11 43 22.6 W70 16 13.9
32.	Char94	201 km	1.8 km	104° true	N11 43 08.5 W70 15 14.9
33.	Char95	202 km	1.4 km	97° true	N11 43 03.2 W70 14 30.3
34.	Char96	204 km	1.3 km	112° true	N11 42 47.7 W70 13 50.7
35.	Chart4	204 km	687 m	106° true	N11 42 41.5 W70 13 28.9
36.	Cha100	205 km	596 m	104° true	N11 42 36.7 W70 13 09.8
37.	Cha101	205 km	574 m	98° true	N11 42 34.1 W70 12 51.1
38.	Land, Urban	206 km	487 m	103° true	N11 42 30.5 W70 12 35.4
39.	Pto. Fijo	206 km	13 m	103° true	N11 42 30.4 W70 12 35.0

Tabla 6. Propiedades de ruta Coro – Punto Fijo.

Fuente: Elaboración propia

### V.3.5 PUNTO FIJO – CAIMARE CHICO

Es un tramo sencillo debido a la uniformidad del lecho arenoso característico del Golfo de Venezuela. Aunque es un tramo muy delicado, donde se debe mantener la protección más alta del cable en la mayor parte del tendido por la poca profundidad del terreno. Además, las zonas más profundas presentan tráfico marítimo constante. La ruta cuenta con 24 puntos de paso y 197.829m de longitud total. Se presenta la ruta definitiva de color amarillo en la siguiente figura.

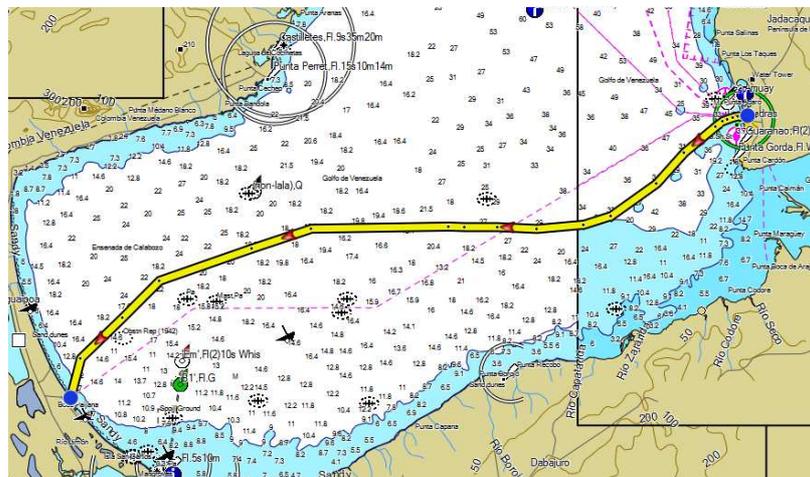


Figura 72. Ruta Punto fijo – Caimare Chico.

Fuente: Elaboración propia

La información detallada de la ruta se encuentra a continuación en la siguiente tabla:

#	Nombre	Distancia	Distancia del tramo	Curso	Posición
1.	Pto. Fijo	0 m			N11.70839 W70.20991
2.	5.0mmaxdepth2	159 m	159 m	240° true	N11.70768 W70.21118
3.	ChartUs24471(B)2	617 m	458 m	262° true	N11.70714 W70.21535
4.	ChartUs24471(B)1	1.6 km	1.0 km	265° true	N11.70631 W70.22478
5.	ChartUs24471(B)	2.4 km	766 m	276° true	N11.70698 W70.23177
6.	ChartUs24471(a)3	2.8 km	346 m	282° true	N11.70764 W70.23487
7.	ChartUs24471(a)2	3.8 km	1.0 km	250° true	N11.70449 W70.24390
8.	ChartUs24471(a)1	5.3 km	1.5 km	254° true	N11.70071 W70.25720
9.	ChartUs24471(a)	6.6 km	1.3 km	253° true	N11.69725 W70.26844
10.	ChartUs244709	8.8 km	2.2 km	238° true	N11.68679 W70.28526

11.	ChartUs244708	18.8 km	10.0 km	235° true	N11.63523 W70.36037
12.	ChartUs244707	28.7 km	9.9 km	227° true	N11.57423 W70.42648
13.	ChartUs244706	42.5 km	13.9 km	239° true	N11.50991 W70.53544
14.	ChartUs244705	49.9 km	7.4 km	255° true	N11.49266 W70.60088
15.	ChartUs244704	62.2 km	12.2 km	266° true	N11.48440 W70.71257
16.	Spot Depth3	72.4 km	10.2 km	272° true	N11.48793 W70.80643
17.	Marine Chart4	81.0 km	8.6 km	270° true	N11.48793 W70.88484
18.	Marine Chart	85.1 km	4.2 km	272° true	N11.48898 W70.92319
19.	Marine Chart6	121 km	35.8 km	269° true	N11.48479 W71.25112
20.	Marine Chart7	137 km	16.1 km	254° true	N11.44571 W71.39314
21.	Marine Chart8	162 km	25.1 km	254° true	N11.38193 W71.61411
22.	Spot Depth4	175 km	12.5 km	230° true	N11.30917 W71.70184
23.	Spot Depth5	189 km	14.1 km	231° true	N11.22877 W71.80218
24.	Caimare Chico	198 km	9.1 km	197° true	N11.15062 W71.82681

Tabla 7. Propiedades de ruta Punto Fijo – Caimare Chico.

Fuente: Elaboración propia

### V.3.6 CAIMARE CHICO – CABIMAS

El tramo más complicado de la ruta final por los peligros que presenta el cable ante la presencia de: embarcaciones, plataformas petroleras, gasoductos submarinos, bajas profundidades, canales de tráfico fluviales, cables de alta tensión, zonas de anclaje y zonas prohibidas. La ruta cuenta con 100 puntos de paso y 158.875m de longitud total. Esta ruta fue la única diseñada para la empresa, quienes la revisaron de manera exhaustiva haciendo algunas correcciones para así presentar el recorrido definitivo de color verde oscuro en la siguiente figura.

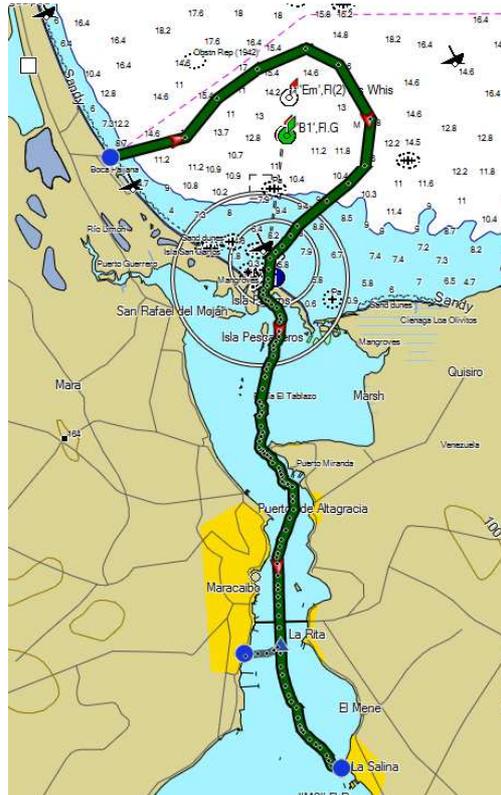


Figura 73. Ruta Punto fijo - Cabimas.

Fuente: Elaboración propia

La información detallada de la ruta se encuentra a continuación en la siguiente tabla:

#	Nombre	Distancia	Distancia del tramo	Curso	Posición
1.	Caimare Chico	0 m			N11.15062 W71.82681
2.	Spot Depth	12.7 km	12.7 km	78° true	N11.17521 W71.71334
3.	Marine Chart	20.2 km	7.5 km	44° true	N11.22372 W71.66563
4.	Marine Chart1	28.0 km	7.8 km	59° true	N11.26010 W71.60477
5.	Spot Depth1	36.4 km	8.4 km	70° true	N11.28570 W71.53239
6.	Marine Chart2	42.2 km	5.8 km	113° true	N11.26549 W71.48304
7.	Marine Chart3	51.3 km	9.1 km	145° true	N11.19812 W71.43534
8.	ChartGb2194	57.9 km	6.5 km	188° true	N11.14007 W71.44361
9.	ChartUs2448330	61.5 km	3.6 km	228° true	N11.11825 W71.46805
10.	ChartUs2448329	65.8 km	4.3 km	236° true	N11.09642 W71.50046
11.	ChartUs2448328	71.7 km	6.0 km	235° true	N11.06530 W71.54491

12.	ChartUs2448327	73.5 km	1.7 km	219° true	N11.05329 W71.55478
13.	ChartUs2448326	75.5 km	2.0 km	224° true	N11.04021 W71.56766
14.	ChartUs2448325	76.8 km	1.4 km	232° true	N11.03273 W71.57752
15.	Char33	78.1 km	1.2 km	227° true	N11.02516 W71.58584
16.	ChartUs2448323	79.6 km	1.5 km	189° true	N11.01141 W71.58797
17.	2.0mmaxdepth3	81.0 km	1.4 km	184° true	N10.99875 W71.58889
18.	2.0mmaxdepth2	81.9 km	874 m	188° true	N10.99097 W71.58998
19.	2.0mmaxdepth1	82.8 km	910 m	225° true	N10.98519 W71.59586
20.	ChartUs2448322	83.4 km	612 m	189° true	N10.97976 W71.59671
21.	ChartUs2448321	84.2 km	805 m	145° true	N10.97386 W71.59246
22.	ChartUs2448320	84.7 km	488 m	113° true	N10.97217 W71.58834
23.	ChartUs2448319	85.5 km	764 m	133° true	N10.96746 W71.58326
24.	ChartUs2448318	86.4 km	944 m	119° true	N10.96335 W71.57570
25.	ChartUs2448317	87.6 km	1.2 km	154° true	N10.95392 W71.57103
26.	ChartUs2448316	88.1 km	537 m	162° true	N10.94934 W71.56949
27.	ChartUs2448315	88.6 km	450 m	209° true	N10.94581 W71.57150
28.	ChartUs2448314	89.9 km	1.3 km	184° true	N10.93427 W71.57238
29.	ChartUs2448313	90.6 km	762 m	181° true	N10.92743 W71.57251
30.	ChartUs2448312	91.5 km	828 m	216° true	N10.92139 W71.57693
31.	ChartUs2448311	92.2 km	678 m	218° true	N10.91657 W71.58072
32.	ChartUs2448310	92.7 km	528 m	178° true	N10.91183 W71.58055
33.	ChartUs244839	93.6 km	881 m	184° true	N10.90393 W71.58110
34.	ChartUs244838	95.0 km	1.4 km	211° true	N10.89312 W71.58764
35.	2.0mmaxdepth	95.7 km	760 m	209° true	N10.88717 W71.59104
36.	ChartUs244837	96.8 km	1.1 km	192° true	N10.87779 W71.59310
37.	ChartUs244836	98.5 km	1.7 km	195° true	N10.86281 W71.59713
38.	ChartUs244835	100 km	1.8 km	194° true	N10.84683 W71.60127
39.	ChartUs244834	101 km	665 m	150° true	N10.84165 W71.59823
40.	ChartUs244833	102 km	901 m	178° true	N10.83357 W71.59793
41.	ChartUs244832	103 km	651 m	218° true	N10.82899 W71.60163
42.	ChartUs244831	104 km	1.4 km	170° true	N10.81643 W71.59935
43.	ChartUs24483	105 km	894 m	162° true	N10.80880 W71.59680
44.	10.0mmaxdepth7	106 km	656 m	205° true	N10.80345 W71.59931
45.	10.0mmaxdepth6	106 km	689 m	201° true	N10.79768 W71.60159
46.	ChartUs24484(a)15	107 km	860 m	184° true	N10.78998 W71.60214
47.	ChartUs24484(a)14	107 km	326 m	148° true	N10.78750 W71.60055
48.	ChartUs24484(a)13	108 km	472 m	114° true	N10.78579 W71.59660
49.	ChartUs24484(a)12	108 km	421 m	147° true	N10.78261 W71.59452
50.	ChartUs24484(a)11	109 km	541 m	114° true	N10.78067 W71.58998

51.	ChartUs24484(a)10	109 km	251 m	130° true	N10.77923 W71.58821
52.	ChartUs24484(a)9	110 km	468 m	123° true	N10.77693 W71.58462
53.	ChartUs24484(a)8	110 km	743 m	156° true	N10.77082 W71.58188
54.	ChartUs24484(a)7	112 km	1.2 km	123° true	N10.76473 W71.57248
55.	ChartUs24484(a)6	112 km	464 m	156° true	N10.76094 W71.57072
56.	ChartUs24484(a)5	113 km	531 m	162° true	N10.75642 W71.56921
57.	ChartUs24484(a)4	113 km	370 m	154° true	N10.75343 W71.56771
58.	ChartUs24484(a)3	114 km	638 m	178° true	N10.74770 W71.56754
59.	ChartUs24484(a)2	114 km	268 m	124° true	N10.74635 W71.56551
60.	ChartUs24484(a)1	115 km	731 m	107° true	N10.74440 W71.55913
61.	Char32	115 km	863 m	116° true	N10.74100 W71.55204
62.	ChartUs24482(B)8	117 km	1.3 km	178° true	N10.72964 W71.55168
63.	ChartUs24482(B)7	117 km	723 m	179° true	N10.72315 W71.55152
64.	ChartUs24482(B)6	119 km	1.2 km	174° true	N10.71280 W71.55034
65.	ChartUs24482(B)5	120 km	1.3 km	210° true	N10.70232 W71.55643
66.	ChartUs24482(B)4	122 km	1.8 km	201° true	N10.68712 W71.56227
67.	ChartUs24482(B)3	123 km	1.5 km	208° true	N10.67529 W71.56877
68.	ChartUs24482(B)2	124 km	961 m	195° true	N10.66693 W71.57099
69.	ChartUs24482(B)1	125 km	1.0 km	200° true	N10.65847 W71.57412
70.	ChartUs24484(C)6	126 km	588 m	199° true	N10.65349 W71.57590
71.	ChartUs24484(C)5	127 km	892 m	174° true	N10.64551 W71.57511
72.	ChartUs24484(C)4	128 km	1.6 km	176° true	N10.63082 W71.57406
73.	ChartUs24484(C)3	130 km	1.3 km	180° true	N10.61878 W71.57401
74.	ChartUs24484(C)2	130 km	624 m	179° true	N10.61317 W71.57395
75.	Chart1	131 km	953 m	178° true	N10.60461 W71.57371
76.	Chart2	132 km	1.2 km	177° true	N10.59386 W71.57307
77.	Chart3	134 km	1.5 km	179° true	N10.58065 W71.57281
78.	ChartUs24482(a)14	136 km	1.6 km	177° true	N10.56601 W71.57208
79.	Branching Unit	138 km	2.2 km	177° true	N10.54620 W71.57089
80.	Chart8	139 km	1.3 km	177° true	N10.53431 W71.57019
81.	Char10	141 km	1.9 km	178° true	N10.51746 W71.56949
82.	Char11	142 km	1.2 km	168° true	N10.50727 W71.56725
83.	Char16	144 km	1.6 km	162° true	N10.49344 W71.56277
84.	Char17	145 km	1.4 km	157° true	N10.48205 W71.55797
85.	Char20	146 km	983 m	154° true	N10.47413 W71.55401
86.	Char21	147 km	1.2 km	135° true	N10.46652 W71.54614
87.	Char22	149 km	1.4 km	170° true	N10.45401 W71.54397
88.	Char23	150 km	1.2 km	164° true	N10.44389 W71.54103
89.	Char24	150 km	433 m	157° true	N10.44030 W71.53949

90.	Char25	151 km	252 m	146° true	N10.43842 W71.53821
91.	Char26	151 km	376 m	133° true	N10.43609 W71.53572
92.	ChartUs24482(a)	152 km	1.4 km	134° true	N10.42722 W71.52640
93.	10.0mmaxdepth5	154 km	1.2 km	124° true	N10.42102 W71.51695
94.	10.0mmaxdepth4	154 km	846 m	122° true	N10.41702 W71.51037
95.	10.0mmaxdepth2	156 km	1.5 km	136° true	N10.40710 W71.50069
96.	10.0mmaxdepth1	157 km	758 m	153° true	N10.40103 W71.49754
97.	5.0mmaxdepth3	158 km	821 m	153° true	N10.39444 W71.49418
98.	5.0mmaxdepth4	158 km	691 m	110° true	N10.39229 W71.48826
99.	5.0mmaxdepth	159 km	504 m	91° true	N10.39220 W71.48366
100.	Cabimas	159 km	446 m	99° true	N10.39159 W71.47964

Tabla 8. Propiedades de ruta Caimare Chico - Cabimas.

Fuente: Elaboración propia

### V.3.7 CAIMARE CHICO - MARACAIBO

Hace referencia al último tramo de la ruta. Se diseñaron 2 posibles soluciones que cumplieran a cabalidad con el diseño.

La primera, un cable saliendo de Cabimas hasta Maracaibo atravesando el canal de navegación del lago de Maracaibo. En caso de utilizar esta opción de llegar a ocurrir una falla en el tramo Caimare Chico – Cabimas la sección siguiente Cabimas – Maracaibo se vería totalmente afectada, dejando sin comunicación a la capital del estado, además dicha solución requiere a instalación de 29.7km de cable aproximadamente.

Por su parte, la segunda opción es utilizar una unidad de ramificación (*Branching Unit*) que derivará un cable sobre el tramo Caimare Chico – Cabimas a la altura de Punta Camacho. Esta opción requerirá para su instalación una unidad de ramificación y 6.619 km de cable.

La solución seleccionada, y además recomendada por la empresa, resultó ser la de la unidad de ramificación, ya que así se ahorrará aproximadamente 23km de cable y la red se hace más robusta frente a fallas tanto internas del sistema como por agentes externos.

El diseño planteado se presenta de color negro en la figura 74:



Figura 74. Ruta Caimare Chico - Maracaibo.

Fuente: Elaboración propia

La información detallada de la ruta final de este tramo, se encuentra a continuación en la tabla 9:

#	Nombre	Distancia	Distancia del tramo	Curso	Posición
1.	Branching Unit	0 m			N10 32 46.3 W71 34 15.2
2.	ChartUs24482(a)5	625 m	625 m	218° true	N10 32 30.3 W71 34 27.8
3.	ChartUs24482(a)4	1.4 km	748 m	235° true	N10 32 16.6 W71 34 48.0
4.	ChartUs24482(a)3	2.6 km	1.2 km	250° true	N10 32 03.0 W71 35 26.3
5.	ChartUs24482(a)2	4.1 km	1.5 km	268° true	N10 32 01.2 W71 36 14.5
6.	ChartUs24482(a)1	4.9 km	819 m	264° true	N10 31 58.5 W71 36 41.3
7.	10.0mmaxdepth3	5.8 km	873 m	257° true	N10 31 52.0 W71 37 09.3
8.	Spot Depth2	6.1 km	359 m	263° true	N10 31 50.6 W71 37 21.0
9.	Depth Area8	6.6 km	467 m	317° true	N10 32 01.5 W71 37 31.6
10.	Maracaibo	6.6 km	28 m	317° true	N10 32 02.2 W71 37 32.2

Tabla 9. Propiedades de ruta Caimare Chico - Maracaibo.

Fuente: Elaboración propia

En resumen, la ruta total diseñada para la interconexión del occidente del país tocando ciudades claves como: Camurí, Puerto cabello, Chichiriviche, Coro, Punto fijo, Caimare Chico, Cabimas y Maracaibo, tiene una longitud total de 994.767m de cable y 8 estaciones terrenas situadas en dichas ciudades. La ruta total puede verse en la figura 75.



Figura 75. Ruta total de interconexión submarina.

Fuente: Elaboración propia

Utilizando el software Google Earth, se tomo una foto aérea ampliada de los lugares aledaños donde se ubicarían las diferentes cámaras de amarre en cada ciudad. En las fotos que se presentan a continuación se destaca con un círculo de color rojo la ubicación del amarre del cable a tierra y la posición exacta del mismo.

- Cámara de amarre Camurí (N10 36 34.9 W66 52 38.1)



Figura 76. Ubicación de la cámara de amarre de camurí.

Fuente: Elaboración propia

- Cámara de amarre Puerto Cabello (N10 28 41.9 W67 58 05.1)



Figura 77. Ubicación de la cámara de amarre de Puerto Cabello.

Fuente: Elaboración propia

- Cámara de amarre Chichiriviche (N10 56 33.0 W68 16 49.0)



Figura 78. Ubicación de la cámara de amarre de Chichiriviche.

Fuente: Elaboración propia

- Cámara de amarre Coro (N11 28 50.6 W69 38 22.5)



Figura 79. Ubicación de la cámara de amarre de Coro.

Fuente: Elaboración propia

- Cámara de amarre Punto Fijo (N11 42 30.4 W70 12 35.0)



Figura 80. Ubicación de la cámara de amarre Punto Fijo.

Fuente: Elaboración propia.

- Cámara de amarre Caimare Chico (N11.15062 W71.82681)



Figura 81. Ubicación de la cámara de amarre de Caimare Chico.

Fuente: Elaboración propia

- Cámara de amarre Cabimas (N10 23 30.6 W71 28 46.3)

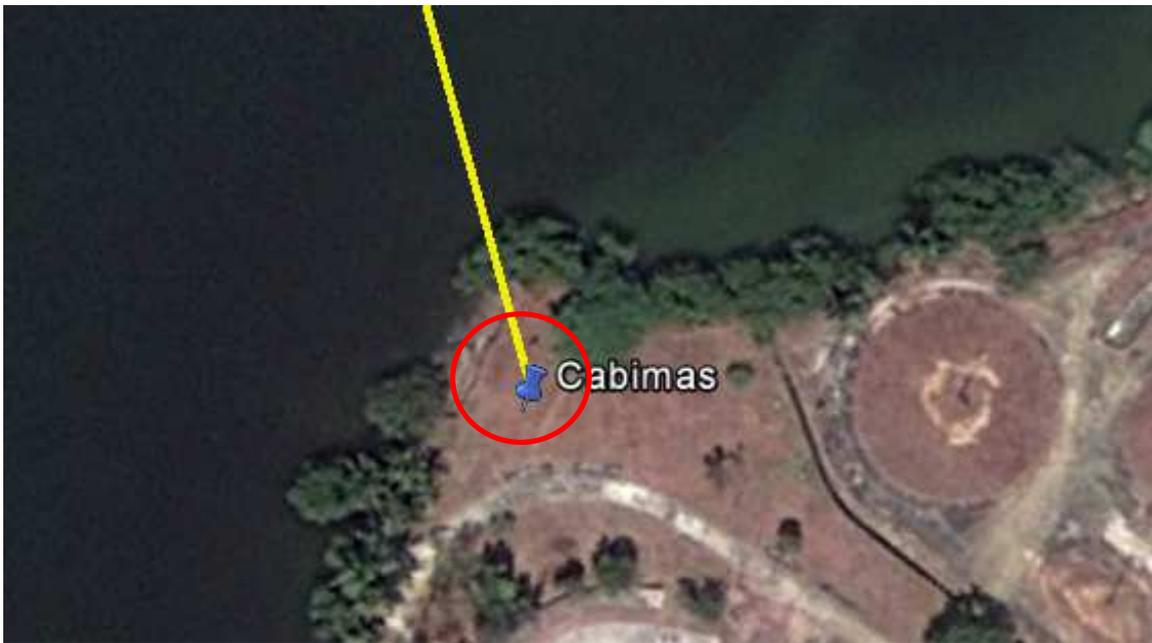


Figura 82. Ubicación de la cámara de amarre Cabimas.

Fuente: Elaboración propia

- Cámara de amarre Maracaibo (N10 32 02.2 W71 37 32.2)



Figura 83. Ubicación de la cámara de amarre Maracaibo.

Fuente: Elaboración propia

Ya con las rutas establecidas se procede a la selección del tipo de fibra y armadura de cable a utilizar.

Se eligió fibra de tipo monomodo ya que el sistema a diseñar tiene distancias desde los 6.6km hasta los 225km, las fibras monomodo son ideales para usos en sistemas de transmisión a larga distancia (mayor a 2km). Dejando como opciones las fibras descritas en la ITU-T G.652 y G.655.

Como el sistema se caracteriza por ser DWDM, las ventanas de operación de dicha tecnología oscilan entre los 1530-1610nm, es por esto que se decide trabajar con la fibra G.655 ya que esta optimizada para trabajar sobre la 3era ventana en la banda C a 1550nm. La fibra G.652 está perfeccionada para los 1310nm es por esto que se descarta. A continuación se especifica una tabla con los parámetros más importantes de la fibra seleccionada.

TIPO	NZDSF (ITU-T G655)
Longitud de onda de operación	1525nm – 1625nm
Diámetro de campo modal	9.2 ± 0.5 μm @1550 nm
Valor típico	
Diámetro del revestimiento de fibra	125 ± 1 μm
Error de concentricidad	≤0.6 μm
Error de circularidad del revestimiento	≤2%
Longitud de onda de corte de la fibra	No especificado
Longitud de onda de corte del cable	≤1300 nm
Diámetro del revestimiento	250 μm ± 15 μm
Variación de la atenuación localizada (incluye empalmes de fibra)	≤0.2 dB
Dispersión modal	≤0.2 ps / √km
Índice de refracción	-
Atenuación de regularidad	≤0.25 dB/km @ 1625 nm ≤0.25 dB/km @ 1550 nm

Dispersión cromática	$\geq 0.1$ ps/nm×km @ 1440 nm $5.5 \leq D(\lambda) \leq 10$ ps/nm×km @ 1530 - 1565nm
Región de longitud de onda de dispersión cero	$\leq 1440$ nm
Valor máximo de la pendiente de dispersión cero	$\leq 0.06$ ps / nm <sup>2</sup> ×km
Proof test de la fibra	$\geq 9$ N (1s)

Tabla 10. Especificaciones de la fibra G.655.

Fuente: Elaboración propia

La fibra al estar en un ambiente externo, necesita protección contra los agentes que la rodean, es por esto que el siguiente paso es definir el tipo de armadura a utilizar para la protección de la misma.

Según la ITU-T en la norma G.972 se especifica que la única manera de que el cable no cuente con protección externa es que éste se encuentre en aguas profundas, es decir enterrado a más de 1000m de profundidad. En el caso del diseño las profundidades no sobrepasan dicho límite por lo que se consideran aguas poco profundas y el cable necesita 2 tipos de protección: una para la llegada del cable a la costa y la segunda para los tramos intermedios.

Por recomendaciones de la empresa, se decidió utilizar la doble armadura tipo 2 (DA2) para los tramos de cable cercanos a la costa y la doble armadura tipo 1 (DA1) para los más alejados de ésta. A continuación se muestran las especificaciones de ambos tipos de cables.

DA1		
Características del cable	Unidades	Valor
Diámetro externo del cable	Mm	24,5
Cables de acero en la primera capa		18 x 1,9mm
Lay length para la primera capa	Mm	260
Cables de acero en la segunda capa		16 x 3,2mm
Lay length para la segunda capa	Mm	350
Peso del cable en el aire	Kg/m	1,9
Peso del cable en el agua	Kg/m	1,3
Máxima profundidad de despliegue en océano	M	2000
Resistencia máxima a la tracción del cable (UTS)	kN	200
Resistencia nominal a la tensión transitoria (NTTS)	kN	150
Resistencia nominal a la tracción de funcionamiento (NOTS)	kN	80
Resistencia nominal permanente (NPTS)	kN	50
Modulo	Km	15,5
Constante Hidrodinámica	Grados x Nudo	100
Radio mínimo de flexión durante tensión	M	0,75
Radio mínimo de flexión sin tensión	M	0,5
Rango de temperatura operativo	°C	desde -10 hasta 35
Rango de temperatura de almacenamiento	°C	desde -30 hasta 60
Resistencia al aplastado (IEC 794-1-E3)	kN	15
Resistencia al impacto (IEC 794-1-E4)	Nm	400

Tabla 11. Especificaciones del cable DA1.

Fuente: Elaboración propia.

DA2		
Características del cable	Unidades	Valor
Diámetro externo del cable	mm	33
Cables de acero en la primera capa		12 x 3,2mm
Lay length para la primera capa	mm	280
Cables de acero en la segunda capa		12 x 5mm
Lay length para la segunda capa	mm	450
Peso del cable en el aire	Kg/m	3,1
Peso del cable en el agua	Kg/m	2,3
Máxima profundidad de despliegue en océano	m	1500

Resistencia máxima a la tracción del cable (UTS)	kN	400
Resistencia nominal a la tensión transitoria (NTTS)	kN	300
Resistencia nominal a la tracción de funcionamiento (NOTS)	kN	200
Resistencia nominal permanente (NPTS)	kN	150
Modulo	Km	17,4
Constante Hidrodinámica	Grados x Nudo	120
Radio mínimo de flexión durante tensión	m	1,25
Radio mínimo de flexión sin tensión	m	0,75
Rango de temperatura operativo	°C	desde -10 hasta 35
Rango de temperatura de almacenamiento	°C	desde -30 hasta 60
Resistencia al aplastado (IEC 794-1-E3)	kN	20
Resistencia al impacto (IEC 794-1-E4)	Nm	400

Tabla 12. Especificaciones del cable DA2.

Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño del cable, tomando en cuenta las consideraciones dispuestas en la norma G.978 de la ITU-T se dividió el mismo en tramos de secciones de DA1 y DA2 según la profundidad. Profundidades mayores a 20m, se cubren con cable de doble armado tipo 1 y las menores a 20m con cable de doble armado tipo 2. Los tramos del mismo que van en la arena, se le colocan los N-pipe necesarios hasta la cámara de amarre. A continuación se muestra el diseño del mismo dividido por tramos:

En las figuras a continuación se ilustrará el diseño físico de cada tramo para ello es necesario conocer que los Rombos ( $\diamond$ ) representan los *Joints*, utilizados para el cambio de armado del cable, entre DA1 y DA2. Y el Triángulo ( $\triangle$ ) representa la Unidad de Ramificación, *Branching Unit*, utilizada para bifurcar el cable en cierto punto.

- Camurí – Puerto Cabello

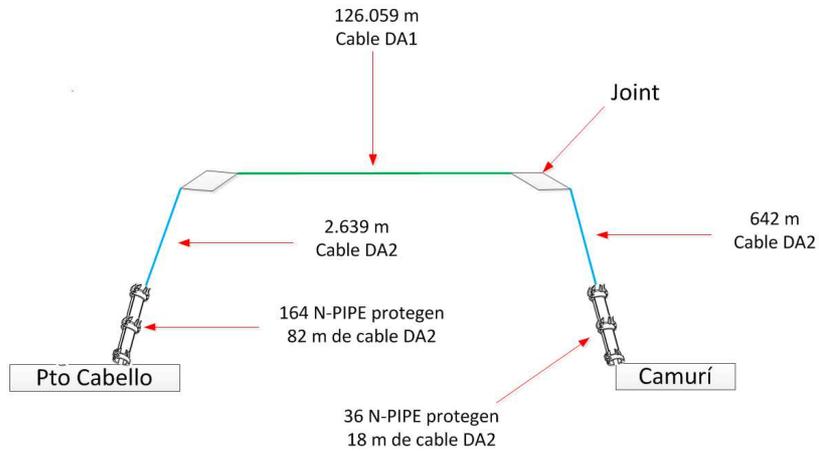


Figura 84. Diseño del cable tramo Camurí-Puerto Cabello.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Longitud (m)
DA2 + N-PIPE	18
DA2	642
Joint	-
DA1	126059
Joint	-
DA2	2639
DA2 + N-PIPE	82

Tabla 13. Diseño del cable para el tramo Camurí – Puerto Cabello

Fuente: Elaboración propia.

- Puerto Cabello – Chichiriviche

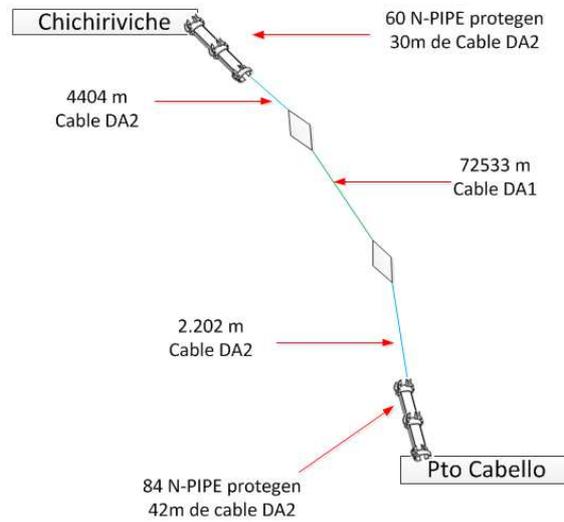


Figura 85. Diseño del cable tramo Pto Cabello – Chichiriviche.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Longitud (m)
DA2 + N-PIPE	42
DA2	2202
Joint	-
DA1	72533
Joint	-
DA2	4404
DA2 + N-PIPE	30

Tabla14.Diseño del cable para el tramo Puerto Cabello - Chichiriviche.

Fuente: Elaboración propia.

- Chichiriviche - Coro

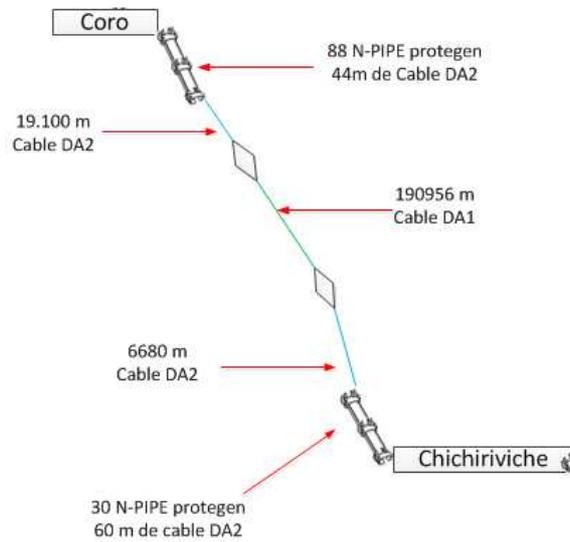


Figura 86. Diseño del cable tramo Chichiriviche - Coro.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Longitud (m)
DA2 + N-PIPE	30
DA2	6680
Joint	-
DA1	190956
Joint	-
DA2	19100
DA2 + N-PIPE	44

Tabla 15. Diseño del cable para el tramo Chichiriviche – Coro.

Fuente: Elaboración propia.

- Coro – Punto fijo

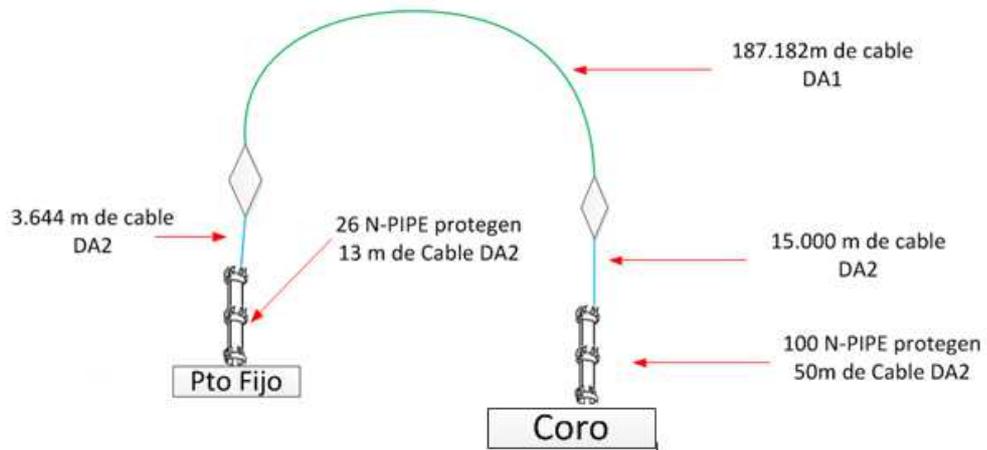


Figura 87. Diseño del cable tramo Coro – Punto Fijo.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Longitud (m)
DA2 + N-PIPE	50
DA2	15000
Joint	-
DA1	187182
Joint	-
DA2	3644
DA2 + N-PIPE	13

Tabla 16. Diseño del cable para el tramo Coro – Punto fijo.

Fuente: Elaboración propia.

- Punto fijo – Caimare Chico

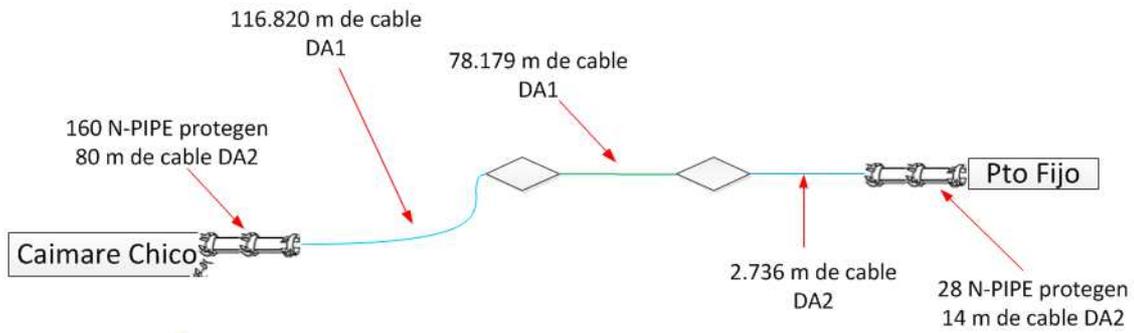


Figura 88. Diseño del cable tramo Punto fijo – Caimare Chico

Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Longitud (m)
DA2 + N-PIPE	14
DA2	2736
Joint	-
DA1	78179
Joint	-
DA2	116820
DA2 + N-PIPE	80

Tabla 17. Diseño del cable para el tramo Punto fijo – Caimare Chico.

Fuente: Elaboración propia.

- Caimare chico – Cabimas

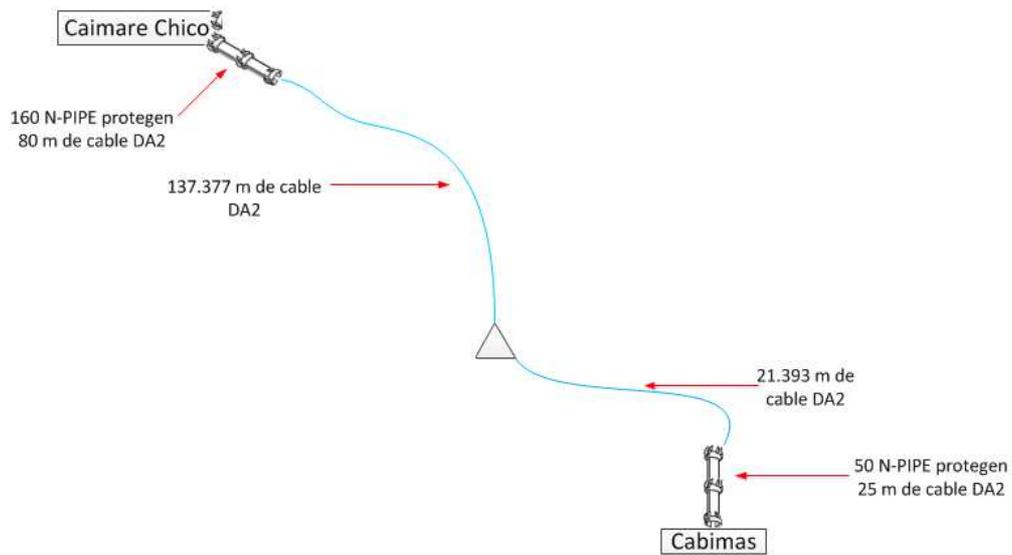


Figura 89. Diseño del cable tramo Caimare Chico - Cabimas

Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Longitud (m)
DA2 + N-PIPE	80
DA2	137377
Branching unit	-
DA2	21393
DA2 + N-PIPE	25

Tabla18. Diseño del cable para el tramo Caimare Chico - Cabimas

Fuente: Elaboración propia.

- Caimare chico - Maracaibo

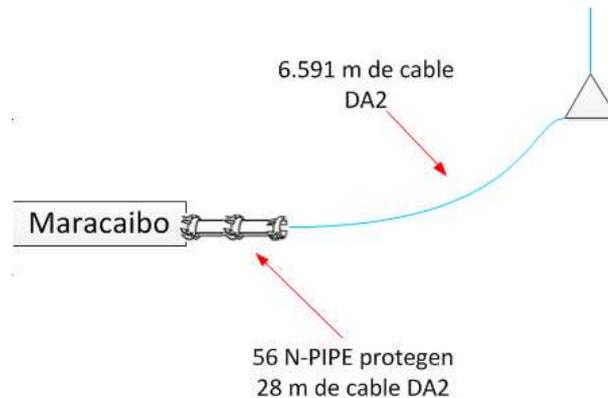


Figura 90. Diseño del cable tramo Caimare chico - Maracaibo

Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Longitud (m)
DA2	6591
DA2 + N-PIPE	28

Tabla 19. Especificaciones de diseño Caimare chico - Maracaibo

.Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso luego del diseño de la totalidad del cable, es realizar los cálculos de los parámetros más importantes por tramo: pérdidas, dispersión y balances de potencia. Para esto se introdujo información pertinente a la fibra, receptores, transmisores y datos importantes sobre el diseño para cada uno de los tramos como: distancias, número de conectores, pérdidas por conectores, número de empalmes, pérdidas por empalmes, margen óptico y pérdidas por otros equipos.

Todos los datos se mantienen fijos en la tabla exceptuando número de empalmes y la distancia del cable. Los empalmes en los tramos son solo 2, menos en los tramos Caimare Chico-Cabimas y Caimare Chico-Maracaibo que se incrementan a 4.

Cada uno de los datos usados sobre estos parámetros se especifica a continuación por bloque:

<i>Características del Transmisor</i>						
N°	Velocidad de TX (Gbps)	Método de Codificación	Anchura Espectral del Generador (nm)	Potencia del Transmisor (dB)	Ganancia del Amplificador (dB)	Longitud de Onda (nm)
<b>1</b>	40	DPSK	0,1	-1,0	20,0	1550
<i>Características de la Fibra</i>						
N°	Tamaño (μm)	Atenuación (dB/Km)	AN	Dispersión Cromática (ps/nm*Km)	Coeficiente PMD (ps/√Km)	
<b>1</b>	8/125	0,23	0,2	1,30	0,125	
<i>Características del Receptor</i>						
N°	Sensibilidad del Receptor (dB)	Ganancia del Pre-Amplificador (dB)	Longitud de Onda (nm)			
<b>1</b>	-30	-25,0	1550			
<i>Especificaciones del diseño</i>						
N° empalmes	Perdida empalmes (dB)	N° conectores	Pérdidas conectores (dB)	Pérdidas otros componentes (dB)	Margen óptico (dB)	Distancia (km)
VARÍA	0,1	2	0,25	0	6	VARÍA

Tabla 20. Cálculo de datos para cálculos del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos se obtienen los siguientes resultados por tramo:

- CAMURÍ – PUERTO CABELLO (Distancia: 129,44 Km; 2 empalmes)

Ensanchamiento del Pulso Total				
N° F	N° Tx	$\Delta TDC$ (ps)	$\Delta TPMD$ (ps)	$\Delta T$ (ps)
1	1	16,8272	1,422146265	<b>18,2493</b>

Tabla 21. Cálculo de dispersión tramo Camurí – Pto Cabello.

Fuente: Elaboración propia.

Pérdida Total de la Fibra Óptica					
Pérdidas de la Fibra Óptica (dB)	Perdidas en los Empalmes (dB)	Pérdida en las Conexiones (dB)	Pérdidas en Otros Componentes (dB)	Margen Óptico (dB)	TOTAL (dB)
29,7712	0,2	0,5	0,0	6,0	<b>36,471</b>

Tabla 22. Cálculo de pérdidas tramo Camurí – Pto Cabello.

Fuente: Elaboración propia.

Balance de Potencias			
Potencia del Transmisor Amplificado (dB)	Sensibilidad del Receptor Pre-Amplificado (dB)	Pérdida Total Fibra Óptica (dB)	FUNCIONALIDAD
19,0	-55,0	36,5	<b>SIRVE</b>

Tabla 23. Verificación de funcionalidad Camurí – Pto Cabello.

Fuente: Elaboración propia.

- PUERTO CABELLO – CHICHIRIVICHE ( Distancia: 79,211Km; 2 Empalmes)

Ensanchamiento del Pulso Total				
N° F	N° Tx	$\Delta TDC$ (ps)	$\Delta TPMD$ (ps)	$\Delta T$ (ps)
1	1	10,29743	1,112507022	<b>11,4099</b>

Tabla 24. Cálculo de dispersión tramo Pto Cabello - Chichiriviche.

Fuente: Elaboración propia.

Pérdida Total de la Fibra Óptica					
Pérdidas de la Fibra Óptica (dB)	Perdidas en los Empalmes (dB)	Pérdida en las Conexiones (dB)	Pérdidas en Otros Componentes (dB)	Margen Óptico (dB)	TOTAL (dB)
18,21853	0,2	0,5	0,0	6,0	<b>24,919</b>

Tabla 25. Cálculo de pérdidas tramo Puerto Cabello-Chichiriviche.

Fuente: Elaboración propia.

Balance de Potencias			
Potencia del Transmisor Amplificado (dB)	Sensibilidad del Receptor Pre-Amplificado (dB)	Pérdida Total Fibra Óptica (dB)	FUNCIONALIDAD
19,0	-55,0	24,9	<b>SIRVE</b>

Tabla 26. Verificación de funcionalidad Puerto Cabello-Chichiriviche.

Fuente: Elaboración propia.

- CHICHIRIVICHE – CORO (Distancia: 216,810Km; Empalmes: 2)

Ensanchamiento del Pulso Total				
N° F	N° Tx	$\Delta TDC$ (ps)	$\Delta TPMD$ (ps)	$\Delta T$ (ps)
1	1	28,1853	1,840558679	<b>30,0259</b>

Tabla 27. Cálculo de dispersión tramo Chichiriviche - Coro.

Fuente: Elaboración propia.

Pérdida Total de la Fibra Óptica					
Pérdidas de la Fibra Óptica (dB)	Perdidas en los Empalmes (dB)	Pérdida en las Conexiones (dB)	Pérdidas en Otros Componentes (dB)	Margen Óptico (dB)	TOTAL (dB)
49,8663	0,2	0,5	0,0	6,0	<b>56,566</b>

Tabla 28. Cálculo de pérdidas tramo Chichiriviche – Coro.

Fuente: Elaboración propia.

Balance de Potencias			
Potencia del Transmisor Amplificado (dB)	Sensibilidad del Receptor Pre-Amplificado (dB)	Pérdida Total Fibra Óptica (dB)	FUNCIONALIDAD
19,0	-55,0	56,6	<b>SIRVE</b>

Tabla 29. Verificación de funcionalidad Chichiriviche-Coro

Fuente: Elaboración propia.

- CORO – PUNTO FIJO (Distancia: 205,889Km; Empalmes: 2)

Ensanchamiento del Pulso Total				
N° F	N° Tx	$\Delta TDC$ (ps)	$\Delta T_{PMD}$ (ps)	$\Delta T$ (ps)
1	1	26,76557	1,793604088	<b>28,5592</b>

Tabla 30. Cálculo de dispersión tramo Coro – Punto fijo.

Fuente: Elaboración propia.

Pérdida Total de la Fibra Óptica					
Pérdidas de la Fibra Óptica (dB)	Perdidas en los Empalmes (dB)	Pérdida en las Conexiones (dB)	Pérdidas en Otros Componentes (dB)	Margen Óptico (dB)	TOTAL (dB)
47,35447	0,2	0,5	0,0	6,0	<b>54,054</b>

Tabla 31. Cálculo de pérdidas tramo Coro – Punto fijo.

Fuente: Elaboración propia.

Balance de Potencias			
Potencia del Transmisor Amplificado (dB)	Sensibilidad del Receptor Pre-Amplificado (dB)	Pérdida Total Fibra Óptica (dB)	FUNCIONALIDAD
19,0	-55,0	54,1	<b>SIRVE</b>

Tabla 32. Verificación de funcionalidad Coro-Punto fijo.

Fuente: Elaboración propia.

- PUNTO FIJO – CAIMARE CHICO (Distancia: 197,829km; Empalmes:2)

Ensanchamiento del Pulso Total				
N° F	N° Tx	$\Delta TDC$ (ps)	$\Delta TPMD$ (ps)	$\Delta T$ (ps)
1	1	25,71777	1,758146218	<b>27,4759</b>

Tabla 33. Cálculo de dispersión tramo Punto fijo – Caimare Chico.

Fuente: Elaboración propia.

Pérdida Total de la Fibra Óptica					
Pérdidas de la Fibra Óptica (dB)	Perdidas en los Empalmes (dB)	Pérdida en las Conexiones (dB)	Pérdidas en Otros Componentes (dB)	Margen Óptico (dB)	TOTAL (dB)
45,50067	0,2	0,5	0,0	6,0	<b>52,201</b>

Tabla 34. Cálculo de pérdidas tramo Punto fijo – Caimare Chico.

Fuente: Elaboración propia.

Balance de Potencias			
Potencia del Transmisor Amplificado (dB)	Sensibilidad del Receptor Pre-Amplificado (dB)	Pérdida Total Fibra Óptica (dB)	FUNCIONALIDAD
19,0	-55,0	52,2	<b>SIRVE</b>

Tabla 35. Verificación de funcionalidad Punto fijo – Caimare Chico.

Fuente: Elaboración propia.

- CAIMARE CHICO – CABIMAS (Distancia :158875m; Empalmes: 4)

Ensanchamiento del Pulso Total				
N° F	N° Tx	$\Delta TDC$ (ps)	$\Delta TPMD$ (ps)	$\Delta T$ (ps)
1	1	20,65375	1,575570333	<b>22,2293</b>

Tabla 36. Cálculo de dispersión tramo Caimare chico – Cabimas

.Fuente: Elaboración propia.

Pérdida Total de la Fibra Óptica					
Pérdidas de la Fibra Óptica (dB)	Perdidas en los Empalmes (dB)	Pérdida en las Conexiones (dB)	Pérdidas en Otros Componentes (dB)	Margen Óptico (dB)	TOTAL (dB)
36,54125	0,4	0,5	0,0	6,0	<b>43,441</b>

Tabla 37. Cálculo de pérdidas tramo Caimare chico – Cabimas.

Fuente: Elaboración propia.

Balance de Potencias			
Potencia del Transmisor Amplificado (dB)	Sensibilidad del Receptor Pre-Amplificado (dB)	Pérdida Total Fibra Óptica (dB)	FUNCIONALIDAD
19,0	-55,0	43,4	<b>SIRVE</b>

Tabla 38. Verificación de funcionalidad Caimare chico - Cabimas

Fuente: Elaboración propia.

- CAIMARE CHICO – MARACAIBO (Distancia: 6,619km; Empalmes:4)

Ensanchamiento del Pulso Total				
N° F	N° Tx	$\Delta TDC$ (ps)	$\Delta TPMD$ (ps)	$\Delta T$ (ps)
1	1	0,86047	0,321592716	<b>1,1821</b>

Tabla 39. Cálculo de dispersión tramo Punto fijo - Maracaibo.

Fuente: Elaboración propia.

Pérdida Total de la Fibra Óptica					
Pérdidas de la Fibra Óptica (dB)	Perdidas en los Empalmes (dB)	Pérdida en las Conexiones (dB)	Pérdidas en Otros Componentes (dB)	Margen Óptico (dB)	TOTAL (dB)
1,52237	0,4	0,5	0,0	6,0	<b>8,4224</b>

Tabla 40. Cálculo de pérdidas tramo Punto fijo – Maracaibo.

Fuente: Elaboración propia.

Balance de Potencias			
Potencia del Transmisor Amplificado (dB)	Sensibilidad del Receptor Pre-Amplificado (dB)	Pérdida Total Fibra Óptica (dB)	FUNCIONALIDAD
19,0	-55,0	8,4	<b>SIRVE</b>

Tabla 41. Verificación de funcionalidad Punto fijo - Maracaibo.

Fuente: Elaboración propia.

Ya hecho los cálculos de los distintos tramos, se eligieron los equipos que cumplen con dichos parámetros. A continuación se presenta una tabla con el nombre y modelo de cada uno de ellos.

Nombre	Descripción	Modelo	Ubicación
Photonic Service Switch	Transmisor y receptor con amplificación óptica integrada	1830 PSS-32	8 estaciones terrenas (1 por estación)
Branching Unit	Unidad de ramificación	URC1-BU	Tramo Caimare Chico – Maracaibo
WTC-1 Land Cable/Beach Joint	Cajetín de cierre para empalmes entre la cámara de amarre y la estación terrena	LINX WTC-1	8 estaciones terrenas (1 por estación)
N-PIPE	Tuberías articuladas para la protección del cable en la llegada a	N-55	8 Estaciones terrenas (El número depende de la longitud del cable)

	tierra		
Joints	Empalmes submarinos para conectar 2 cables de fibra distintos	URC-1 UQJ	2 por tramo
Cable submarino DA1	Cable a instalar en el lecho marino	URC- DA1	A lo largo de 7 tramos
Cable submarino DA2	Cable a instalar en el lecho marino con armadura más resistente	URC-DA2	A lo largo de los 7 tramos

Tabla 42. Equipos a utilizar en la red.

Fuente: Elaboración propia.

#### V.4 RESULTADOS DEL PRESUPUESTO

Una vez seleccionado los equipos a utilizar dentro del diseño se procedió a elaborar el presupuesto final. El presupuesto consta de: los precios individuales de los equipos en cada una de las estaciones terrenas, PSS-32 1830, LINX WTC-1, los costos de los equipos de ramificación URC1-BU, los costos de batimetría para toda la ruta con un corredor de 350 m, los costos de la compra e instalación de los 521 m de N-PIPE, los costos de elaboración de la fibra óptica submarina 654,91 Km de DA1 y 339,80 Km de DA2, y los costos de instalación, tanto de las 8 cámaras de amarre, como de los 995 Km de fibra óptica submarina. Es importante destacar que los precios no pueden ser desglosados de forma directa, por confidencialidad de la empresa. Basado en lo anterior se estima que el precio de ejecución de este proyecto oscila alrededor de los 45.000.000 \$ (cuarenta y cinco millones de dólares americanos).

El diseño realizado deja una base teórica y de diseño establecida para la futura implementación del mismo. La siguiente etapa no enmarcada dentro de los objetivos, es la contratación del barco batimétrico que se encargará de realizar el sondeo del lecho marino mediante sonares especiales manteniendo como eje principal la ruta establecida en éste trabajo de grado. Dicho barco se debe contratar con un radio de apertura de sonar de 350m, ya que en caso de que la ruta no sea la más adecuada por cualquier cambio ocurrido en las profundidades, se tenga una visión amplia que de pie a rediseñar la misma para así obtener

la más optimizada. Adicionalmente, deben comenzarse a hacer los trámites con los diferentes entes gubernamentales que otorgan los permisos para la instalación del cable.

Ya hecho el estudio batimétrico y los permisos tramitados, se ordenará el comienzo de la fabricación del cable en su totalidad, con los empalmes y unidades de ramificación todos en una sola pieza, para luego comenzar con el diseño y construcción de las cámaras de amarre y las estaciones terrenas que controlan la red.

Una vez tenidas las estaciones terrenas y las cámaras de amarre listas se procede a la carga del cable en el barco que se encargará de desplegarlo a lo largo de la costa. Éste barco contará con la batimetría total y la posición exacta de donde debe ir el cable en el fondo marino y se guiará a través de sistemas de posicionamiento global (GPS) para enterrarlo exactamente en la posición que arrojó el estudio batimétrico.

El cable instalado en la costa occidental venezolana, tocará tierra en los 8 puntos nombrados anteriormente, donde un grupo especializado de ingenieros procederá a realizar las conexiones a las cámaras de amarre y luego a las estaciones terrenas, para finalmente proceder a hacer las distintas configuraciones y pruebas que permitan el correcto funcionamiento de la red y así poder atacar los distintos problemas por los cuales se planteó el presente diseño.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se recopilan las ideas generadas a partir de la culminación del proyecto. Sus fortalezas, debilidades, y sugerencias para todos los interesados en desarrollar proyectos similares, instituciones y colaboradores, quienes apoyaron y son parte fundamental en el desarrollo de este proyecto.

#### **VI.1 CONCLUSIONES**

La aparición de la fibra óptica hizo del mundo moderno un lugar en donde la barrera de la distancia y la sectorización de la información quedaron eliminados. La fibra óptica ha permitido incrementar notablemente el flujo de información a través de las redes de comunicaciones, incrementado su capacidad y velocidad de transmisión. Su desarrollo constante a través del tiempo y la aplicación de nuevas tecnologías que mejoran su proceso de fabricación, continúan fortaleciendo el desarrollo de este material, aportando cada vez más y mejores beneficios para las telecomunicaciones en el mundo.

Las redes de fibra óptica submarina permiten la interconexión de cantidades abundantes de datos en breves lapsos de tiempo, entre puntos que son separados por masas de agua. Es de notar que el tendido de estas redes se realiza sin afectar de manera negativa al medio ambiente, más bien le brinda áreas protegidas de la actividad humana, donde la flora y fauna marina se pueden desarrollar en plena libertad.

En 1993 se instaló la primera red de fibra óptica submarina en Venezuela, de la mano de la compañía más grande de telecomunicaciones del país, contribuyendo así al desarrollo de las telecomunicaciones en las distintas regiones de Venezuela. Sin embargo, el auge de las telecomunicaciones ha traído consigo un aumento substancial en la demanda, hasta el punto de llegar casi por completo de copar la red. Es por ello que se necesita la elaboración de nuevas redes que permitan abastecer de los servicios de telecomunicaciones a todos los demandantes.

El diseño de la Red de comunicaciones submarinas para la zona Centro Occidental de Venezuela realizado en este trabajo de tesis permite, mediante la selección de las

mejores tecnologías, satisfacer esta creciente demanda del servicio de telecomunicaciones y brindar el grado óptimo de servicio a todos los usuarios.

El diseño se constituye por 7 tramos, Camurí–Puerto Cabello, Puerto Cabello–Chichiriviche, Chichiriviche–Coro, Coro–Punto Fijo, Punto Fijo–Caimare Chico, Caimare Chico–Cabimas y Caimare Chico–Maracaibo. Es de notar que el diseño cuenta con 8 puntos de amarre de fibra en tierra, brindando independencia a cada uno de sus tramos. El tramo Caimare Chico–Cabimas, y Caimare Chico–Maracaibo, nace en Caimare Chico y luego tiene una unidad de ramificación (*Branching Unit*), lo que le permite emerger en Maracaibo y a Cabimas.

La capacidad del sistema diseñado es la misma en todos sus tramos: 40 canales de 40 Gbps cada uno, con 24 hilos por cable de fibra monomodo. Permitiendo así un total de 25.000.000 de canales voz, en cada uno de los 7 tramos.

La longitud total del tendido es de 994.767 m; de los cuales, 339.801 m son de fibra óptica submarina con cable tipo DA2 y 654.909 m son de fibra óptica submarina con cable tipo DA1. Están distribuidos de la siguiente manera en cada tramo: a) 3.381 m de DA2 y 126.059 m de DA1 en el tramo Camurí–Puerto Cabello; b) 6.678 m de DA2 y 72.533 m de DA1 en el tramo Puerto Cabello–Chichiriviche; c) 25.884 m de DA2 y 190.956 de DA1 en el tramo Chichiriviche–Coro, d) 18.717 m de DA2 y 187.182 m de DA1 en el tramo Coro–Punto Fijo; e) 119.650 m de DA2 y 78.179 m de DA1 en el tramo Punto Fijo–Caimare Chico; f) 158.875 m de DA2 en el tramo Caimare Chico–Cabimas, y g). 6.616 m de DA2 en el tramo Caimare Chico–Maracaibo.

En cada uno de las estaciones terrenas se deberá proveer de un equipo *Photonic Service Switch* (PSS) 1830 PSS-32, el cual posee la capacidad de enviar y recibir información de 40 canales a 40 Gbps, a una distancia máxima sin regeneración de 3.500 Km. Además el equipo posee un amplificador de tipo Raman, que brinda una amplificación a la salida, y una pre amplificación a la llegada, asegurándonos que las pérdidas se vean reducidas y la información entre ambos terminales no sea errada.

Además del diseño, el presente trabajo consta de una compilación de información teórica referente a la fibra óptica y con especial énfasis en la fibra óptica submarina. Esta

compilación ubicada en el capítulo 2 de este trabajo, agrupa varios conceptos, cálculos fundamentales, técnicas, especificaciones, y normativas vigentes, para el correcto uso instalación y diseño de una red de fibra óptica submarina, cumpliendo con todos los estándares nacionales, e internacionales.

Este proyecto pudo ser culminado en el tiempo previsto para ello, gracias a una correcta planificación en el tiempo, previendo en esta, cambios o demoras con obtención de ciertas informaciones.

Este trabajo es la suma de un esfuerzo constante, y tangible dentro de cada una de las hojas de este proyecto. Donde se refleja claramente, que a pesar de la dificultad para encontrar información valiosa y de calidad para la elaboración del proyecto, la perseverancia y las ganas de hacer las cosas bien hacen que las barreras de la ineficiencia e ineficacia queden atrás.

## **VI.2 RECOMENDACIONES**

En caso que se desee implementar el diseño de la Red de comunicaciones submarinas para la zona Centro Occidental e Venezuela, es recomendable que el estudio batimétrico se haga con un corredor de 350 m. De esta forma se logra un rango amplio de movimiento de la ruta en caso de que en el lecho marino se encuentren algún tipo de sedimentaciones o relieves indeseados. Asegurando la integridad del cable y evitando riesgos de ruptura o daños por erosión.

Se recomienda que a la hora de realizar la compra de cable, se estime entre un 2% a 3% de mayor longitud en el mismo, logrando una holgura en cada tramo y así poder evitar riesgos, provenientes de irregularidades del lecho marino, y realizar pequeñas modificaciones a partir de los resultados del estudio batimétrico.

El mayor obstáculo para la elaboración de este proyecto resultó ser la obtención de información certera, tanto teórica como institucional.

Lamentablemente resulta muy difícil y laboriosos poder contactar a las instituciones oficiales que se encargan de regular, normar, y ejecutar redes de comunicaciones submarinas en Venezuela. A diferencia de las instituciones extranjeras, que tiene

publicados en sus sitios de internet y logran ser contactados de manera inmediata, obteniendo respuestas y facilitando todo proceso de investigación y desarrollo, aún más, sabiendo que es de carácter formativo y no lucrativo.

Es por ello que recomendamos mayor apertura, disponibilidad y atención al público general, en especial a los estudiantes, que resultan ser el futuro del país y contribuyen al desarrollo y mejora del mismo. La obtención de cartas marinas digitales, físicas e información de requerimientos legales y normas a cumplir, deberían darse de manera abierta, para así promover la participación y el desarrollo de algo tan fundamental como lo es las telecomunicaciones.

Las empresas que cuentan con estas redes instaladas previamente a la elaboración de este proyecto deberían brindar dicha información al estudiantado, de manera de que se propongan nuevos y mejores diseños de redes para incentivar a la creación de nuevos medios de comunicaciones entre las distintas regiones del país.

Nadie pretende copiar viejos esquemas, ni obtener lucro a partir de investigaciones ajenas, al contrario se pretende siempre mejorar viejos sistemas y promover la creación de nuevos y mejores, bajo precedentes que sustenten las razones de dichas mejoras.

La cooperación con grupos de investigación y estudiantes debe darse de manera eficiente y completa, y más aún de parte de las instituciones del estado, quienes son responsables por brindar una educación de calidad y del más alto nivel.

## BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, M. (Agosto de 2012). *International Cable Protection Committee*. Recuperado el 2012, de ISPC: [www.ispc.org](http://www.ispc.org)

Bates, R. (2001). *Optical Switching and Networking Handbook*. New York: McGraw Hill.

Burns, B. (15 de Febrero de 2010). *History of the Atlantic Cable & Undersea Communications*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2011, de <http://www.atlantic-cable.com/Article/GuttaPercha/>

Cabezas, J. (2007). *Sistemas de Telefonía*. Madrid: Thomson Paraninfo.

CANTV. (2011). *CANTV*. Recuperado el 2011 de Octubre de 09, de [http://www.cantv.com.ve/seccion.asp?pid=1&sid=158&id=2&und=6&cat=item\\_lc&item=item\\_7&item\\_name=Historia](http://www.cantv.com.ve/seccion.asp?pid=1&sid=158&id=2&und=6&cat=item_lc&item=item_7&item_name=Historia)

Carter, L., Burnett, D., Drew, S., Marle, G., Hagadorn, L., Bartlett-McNeil, D., y otros. (2009). *Submarine Cables and the Oceans - Connecting the World*. Londres: ICPC/UNEP-WCMC.

Chomycz, B. (1998). *Instalaciones de Fibra Óptica. Fundamentos, Técnicas y Aplicaciones*. Madrid: McGraw-Hill.

CISCO. (2009). *Virtual Institute for Fiber Optic Measurements*. Recuperado el 10 de Agosto de 2012, de VIFOM: [http://vifom.org/Fundamentals%20of%20dwdm\\_cisco.pdf](http://vifom.org/Fundamentals%20of%20dwdm_cisco.pdf)

Comepo Oil Division. (2012). <http://www.comepo.cl/>. Recuperado el 07 de Julio de 2012

Dibner, B. (1959). *The Atlantic Cable*. New York: Boundary Library.

Drew, S., & Alan, H. (2009). *Fishing and Submarine Cables Working Together*. ICPC.

Egypt, T. (06 de Diciembre de 2011). *TeleGeography*. Recuperado el 2011 de Diciembre de 28, de <http://www.submarinecablemap.com/>

España Boquera, M. C. (2005). *Comunicaciones Ópticas*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A.

Eve A.S, C. C. (1945). *Life and Work of John Tyndall*. Londres: Macmillan.

González, I. G. (2007). *Técnicas y procesos en las instalaciones singulares en los edificios*. Editorial Paraninfo.

Headley, C., & Agrawal, G. (2005). *Raman Amplification in Fiber Optical Communication Systems*. Miami: Elsevier Inc.

IDES. (2012). *IDES*. Recuperado el 15 de Octubre de 2011, de <http://www.ides.com/info/generics/27/Polyethylene-PE>

Jardón, H., & Linares, R. (1995). *Sistemas de Comunicaciones por Fibra Óptica*. México: Alfaomega.

José Capmany Franco, B. O. (2006). *Redes ópticas*. Valencia, España: Ed. Univ. Politéc. .

Lechtaler, A., & Fusario, R. (1999). *Teleinformática para Ingenieros de la Información* (2da Edición ed.). Editorial Reverte.

Mabee, C. *The American Leonardo, a Life of Samuel F. B. Morse*. New York.

NIWA. (2012). *NIWA*. Recuperado el 5 de Agosto de 2012, de <http://www.niwa.co.nz/>

Nobelprize.org. (2009). *The 2009 Nobel Prize in Physics - Press Release*. Recuperado el 2011 de Diciembre de 10, de [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2009/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2009/press.html)

Sendra, J. R. (1999). *Universidad de las Palmas Gran Canaria*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2011, de Microelectronica aplicada: [http://www.iuma.ulpgc.es/~jrsendra/Docencia/Com\\_Opt\\_I/download/Com\\_Opt\\_I/Temario/fabricacion.pdf](http://www.iuma.ulpgc.es/~jrsendra/Docencia/Com_Opt_I/download/Com_Opt_I/Temario/fabricacion.pdf)

Siemens. (2007). *Siemens*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2011, de [http://www.siemens.com/history/pool/perseunlichkeiten/gruendergeneration/werner\\_von\\_siemens\\_en.pdf](http://www.siemens.com/history/pool/perseunlichkeiten/gruendergeneration/werner_von_siemens_en.pdf)

SikhFoundation. (2011). *Dr. Narinder Singh Kapany*. Recuperado el 2011 de Diciembre de 12, de <http://www.sikh-history.com/sikhhist/personalities/kapany.html>

Sterling, D., & Chantrand, L. (2003). *Technician's Guide to Fiber Optics*. New York: Delmar Cengage Learning.

Submarine Telecoms Forum Inc. (2012). *Submarine Cable Almanac*. Virginia: Submarine Telecoms Forum.

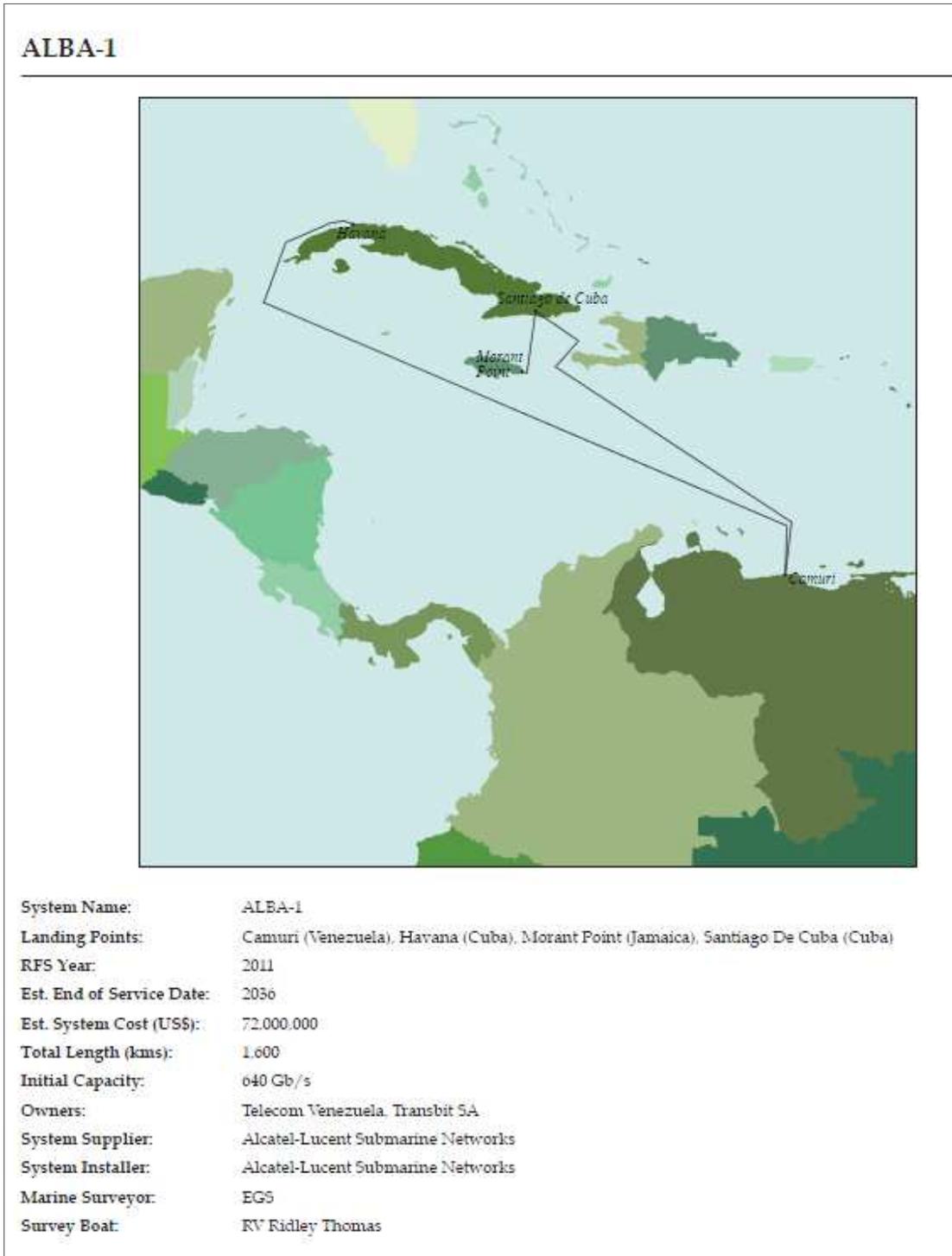
Varney, A. (23 de Febrero de 2000). *Learn About Submarine Cables*. Recuperado el 26 de Octubre de 2011, de [http://www.iscpc.org/information/Timeline\\_History.htm](http://www.iscpc.org/information/Timeline_History.htm)

Vilca, A. (2009). *Scribd*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2011, de <http://es.scribd.com/doc/52617128/23/Re%EF%AC%82exion-Interna-Total>

Y. Yu, P., & Cardona, M. (2010). *Fundamentals of Semiconductors*. California: Springer.

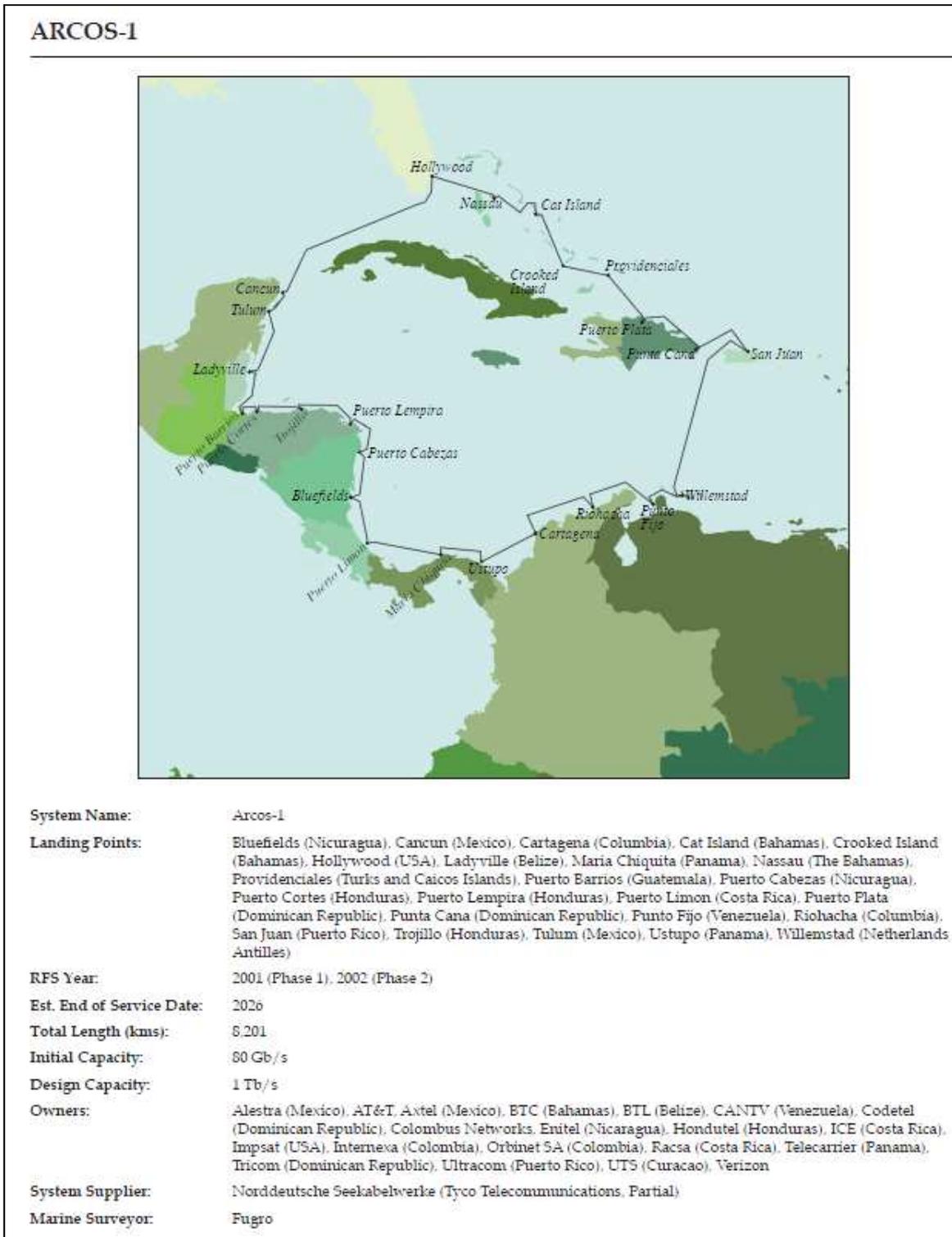
## ANEXOS

### ANEXO 1 DATOS DEL CABLE ALBA-1.



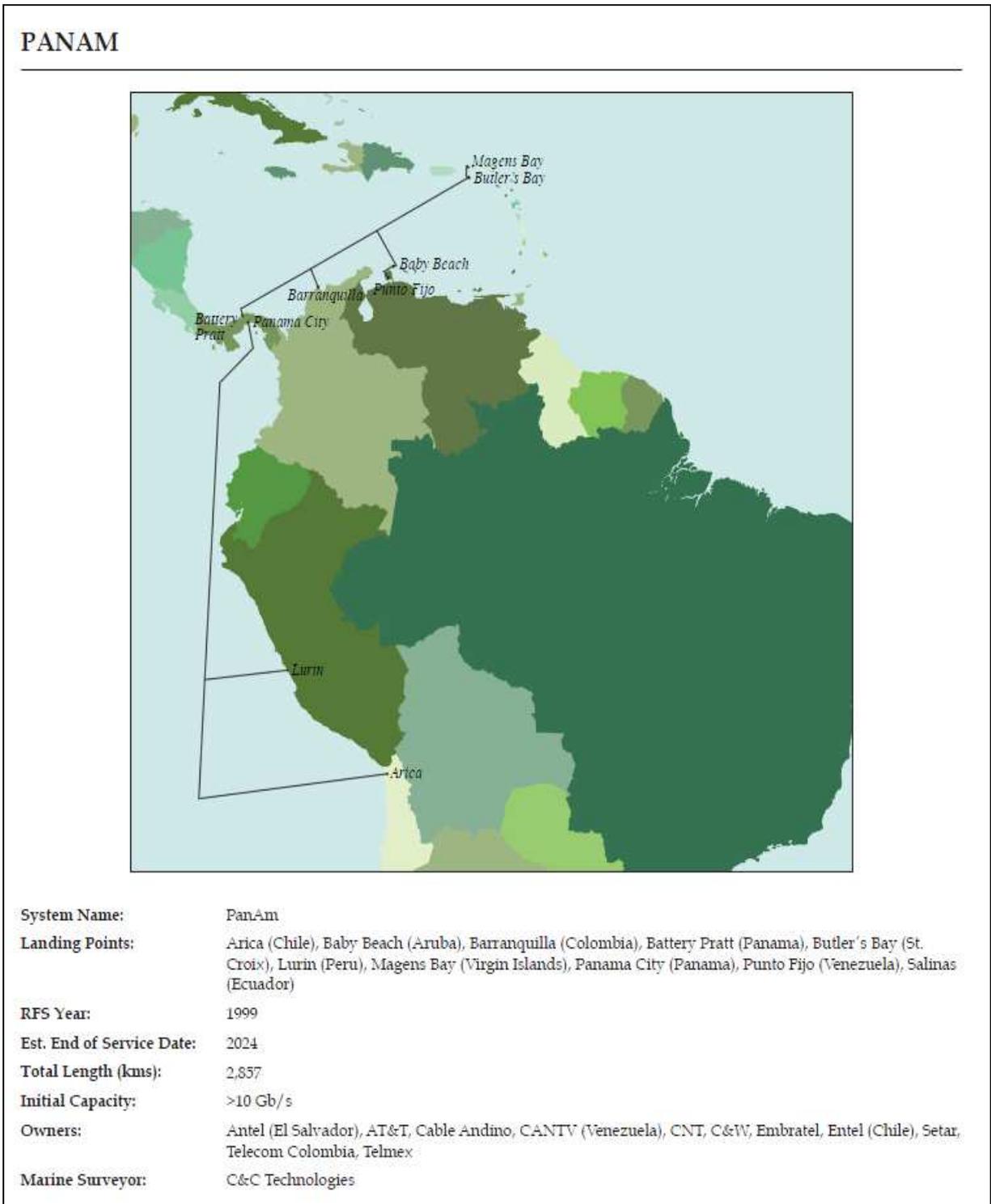
Fuente: (Submarine Telecoms Forum Inc., 2012).

**ANEXO 2 DATOS DEL CABLE ARCOS-1.**



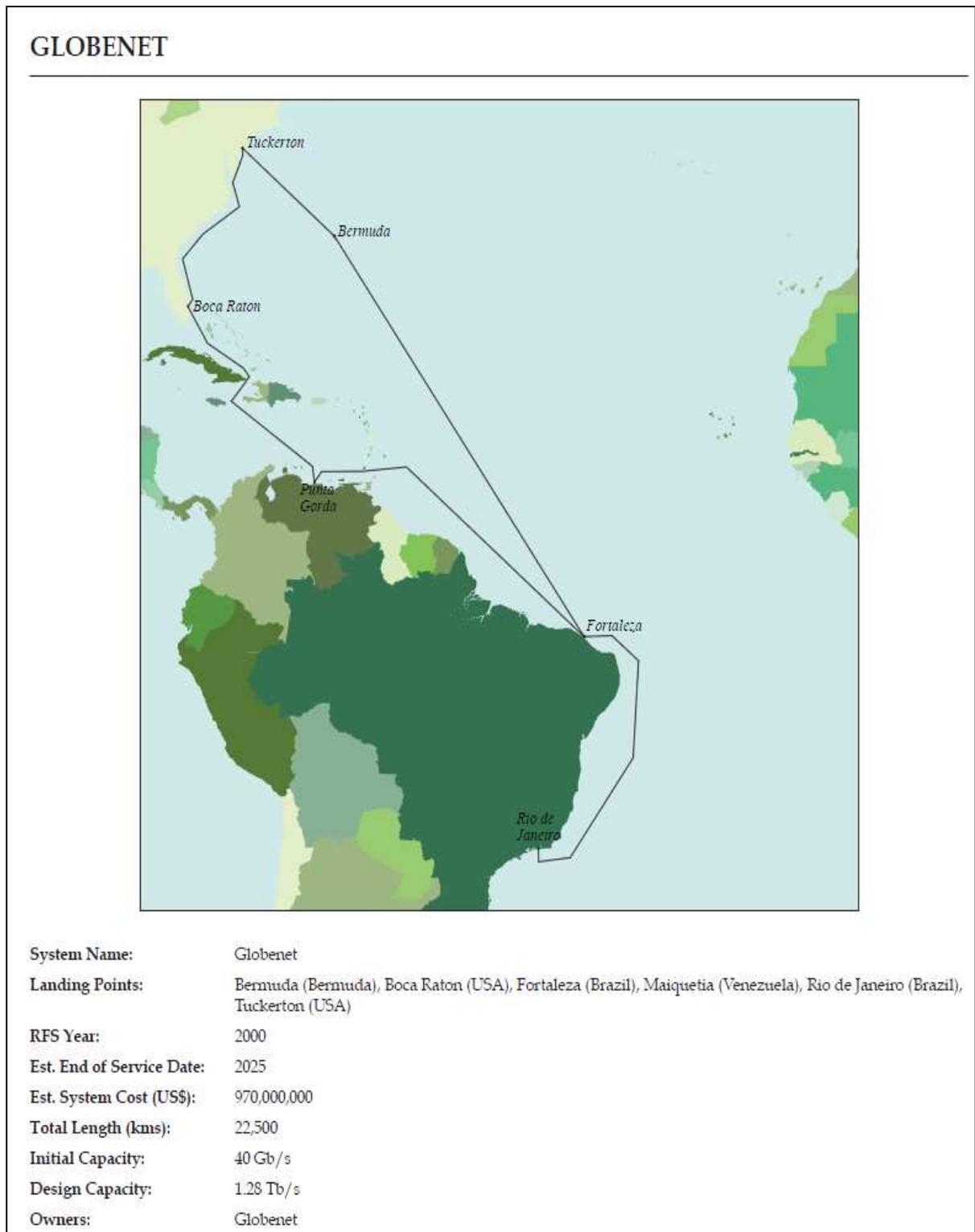
Fuente: (Submarine Telecoms Forum Inc., 2012).

### ANEXO 3 DATOS DEL CABLE PANAM.



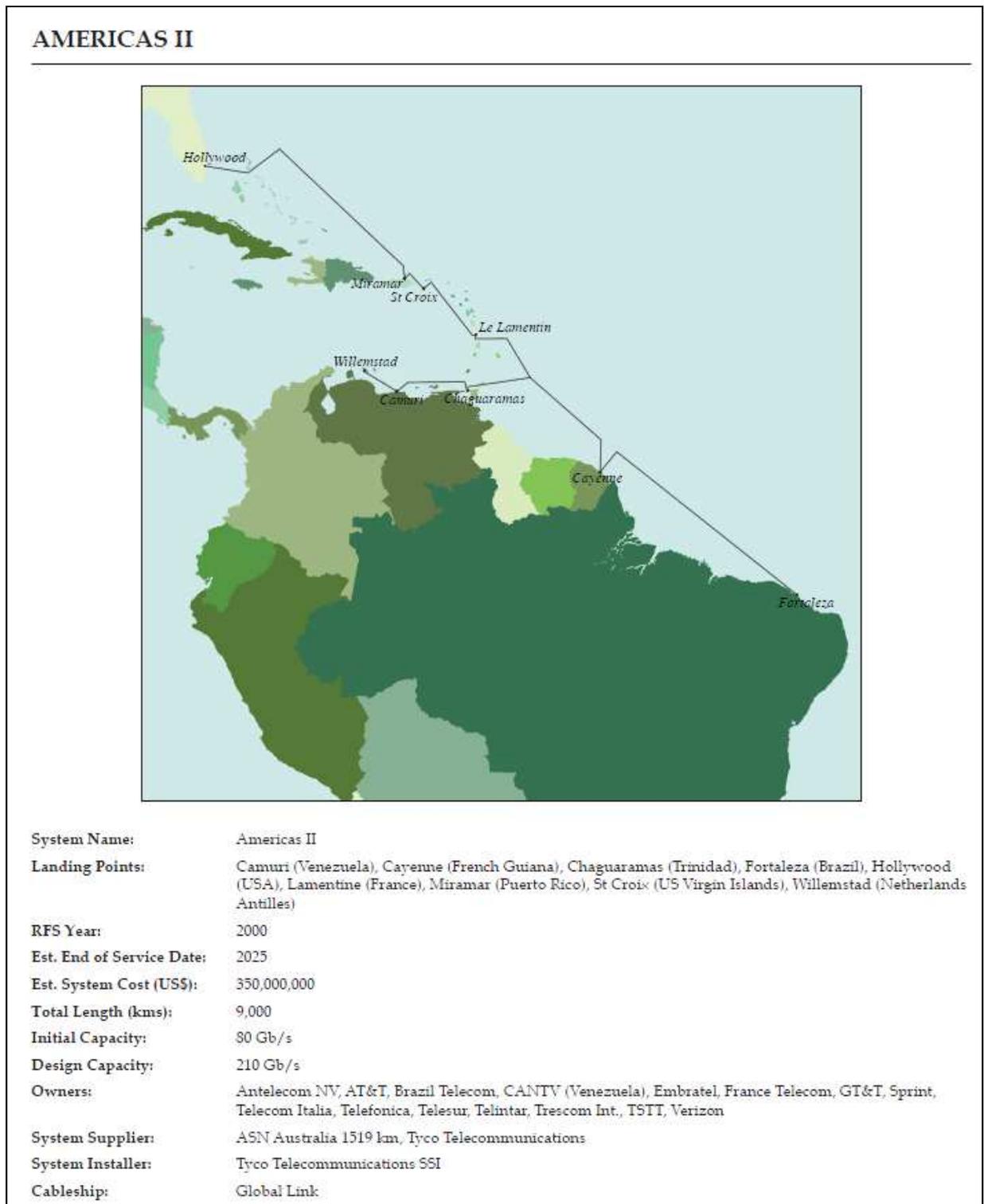
Fuente: (Submarine Telecoms Forum Inc., 2012).

#### ANEXO 4 DATOS DEL CABLE GLOBENET.



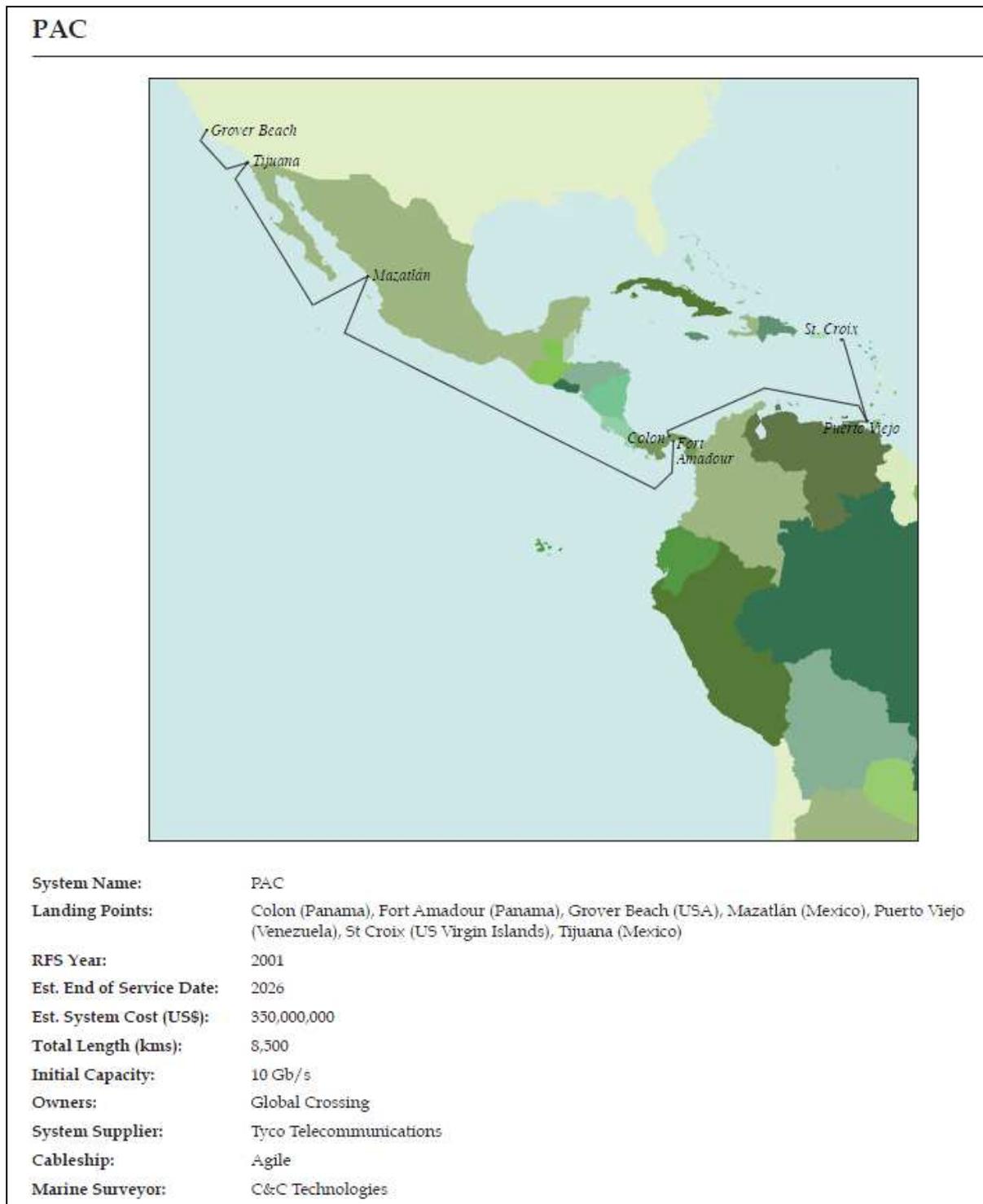
Fuente: (Submarine Telecoms Forum Inc., 2012).

## ANEXO 5 DATOS DEL CABLE AMERICAS II



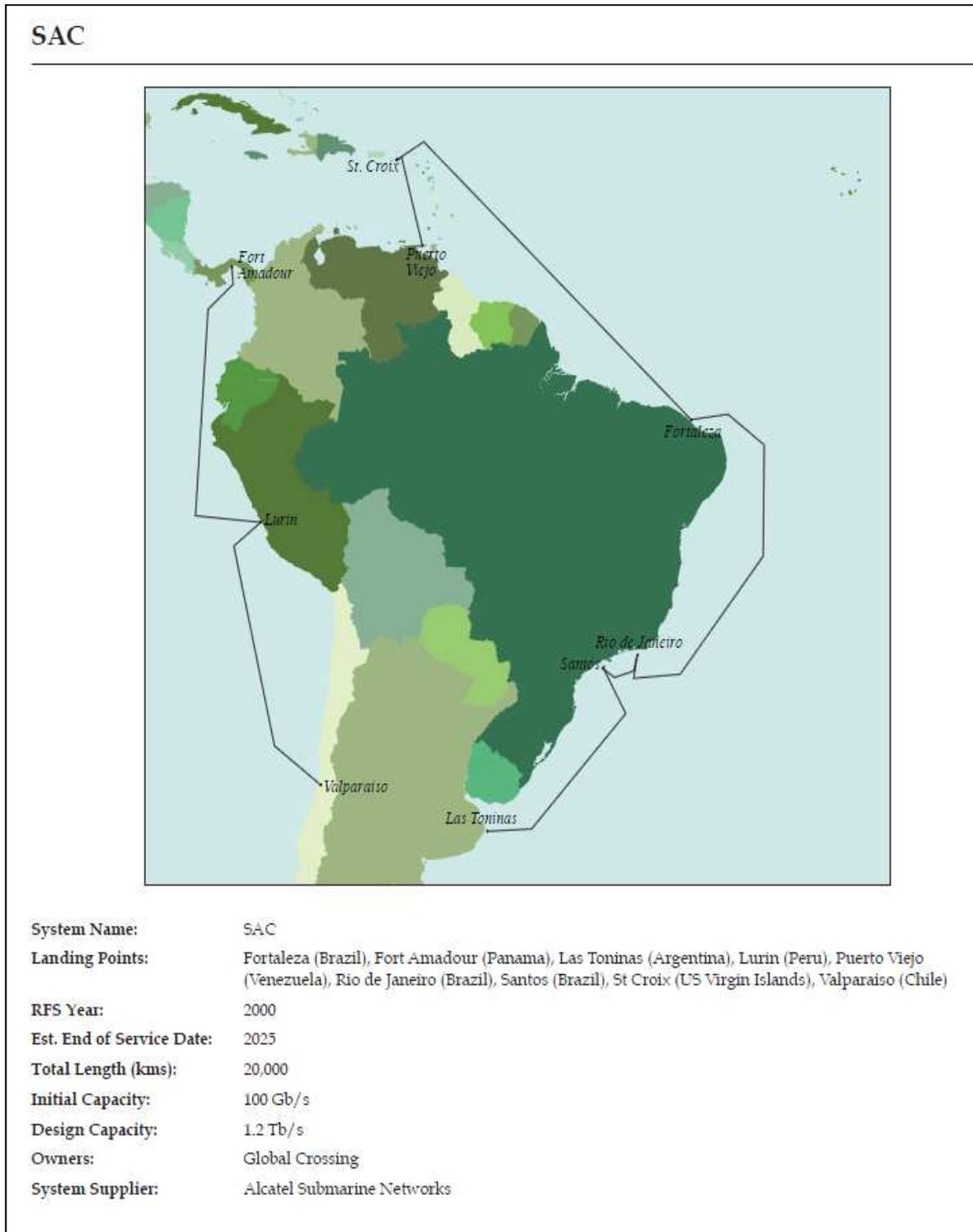
Fuente: (Submarine Telecoms Forum Inc., 2012).

## ANEXO 6 DATOS DEL CABLE PAC.



Fuente: (Submarine Telecoms Forum Inc., 2012).

## ANEXO 7 DATOS DEL CABLE SAC.



Fuente: (Submarine Telecoms Forum Inc., 2012).