

25
201



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ A R A G O N ”

**ANTEPROYECTO DE INSTALACION DE
FIBRA OPTICA PARA EL AREA METROPOLITANA**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presentan:

LUIS ANTONIO RIVAS ALCANTARA

y

LEOPOLDO SANCHEZ GARCIA

FALLA DE ORIGEN

México, D. F. 1990



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ANTEPROYECTO DE INSTALACIÓN DE UNA RED DE FIBRA OPTICA PARA EL AREA METROPOLITANA.

INTRODUCCIÓN:

1.- TELEFONÍA.

1.1.- DEFINICIÓN DE TELEFONÍA.

1.1.2.- CRONOLOGIA DE DESCUBRIMIENTOS.

1.2.- PLANTA TELEFÓNICA.

1.2.1.- SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN.

1.2.2.- PLANTA EXTERIOR.

1.2.3.- SISTEMAS DE CONMUTACIÓN.

1.2.4.- SISTEMAS DE TRANSMISIÓN.

1.2.5.- TIPOS DE MODULACIÓN.

1.3.- EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA Y NECESIDADES EN EL FUTURO.

1.4.- EVOLUCIÓN A LA R.D.S.I. (RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS).

II.- FIBRA OPTICA.

2.1.- TEORIA SOBRE FIBRA OPTICA.

2.2.- PROCESOS DE FABRICACIÓN.

2.3.- CABLES DE FIBRA OPTICA.

2.4.- TRANSMISORES OPTICOS.

2.5.- RECEPTORES OPTICOS.

2.6.- EMPALMES.

2.7.- CONECTORES.

III.- NECESIDADES A MEDIANO Y LARGO PLAZO DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN CON FIBRA ÓPTICA EN EL ÁREA METROPOLITANA.

- 3.1.- ANÁLISIS Y ESTRUCTURA ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN Y CONMUTACIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA.
- 3.2.- PRONÓSTICOS DE CRECIMIENTO Y REQUERIMIENTO A MEDIANO PLAZO DE ENLACES POR FIBRA ÓPTICA PARA EL ÁREA METROPOLITANA.
- 3.3.- PRONÓSTICOS DE CRECIMIENTO A LARGO PLAZO DE ENLACES POR FIBRA ÓPTICA PARA EL ÁREA METROPOLITANA.

IV.- ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL ANTEPROYECTO

- 4.1.- INFORMACIÓN DE COSTOS DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA Y CABLES FÍSICOS.
 - 4.1.1.- FIBRAS ÓPTICAS Y CABLES.
 - 4.1.2.- FOTODIODOS Y FOTODETECTORES.
 - 4.1.3.- COSTOS DE INSTALACIÓN.
 - 4.1.4.- COSTOS DE ENLACES URBANOS.
 - 4.1.5.- COSTOS EN ENLACES INTERURBANOS.
- 4.2.- ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE UNA RUTA EN PARTICULAR DE LA RED DE TELMEX.
 - 4.2.1.- EQUIPO NECESARIO PARA LA RUTA ESTRELLA- COR UTILIZANDO SISTEMAS DE TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA.
 - 4.2.2.- COMPARACIÓN DE COSTOS PARA DIFERENTES FABRICANTES DE EQUIPO DE FIBRA ÓPTICA.
 - 4.2.3.- COSTOS DE INSTALACIÓN.
 - 4.2.5.- CONDICIONES COMERCIALES.

V.- DISEÑO DE ENLACE DE FIBRA ÓPTICA PARA LA RUTA ES-COR.

- 5.1.- ELEMENTOS PRINCIPALES EN EL PROCESO DE DISEÑO.
- 5.2.- PROCESOS DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DEL TRANSMISOR ÓPTICO.

5.3.- PROCESO DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA.

5.4.- PROCESO DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DEL RECEPTOR ÓPTICO.

5.5.- CALCULOS.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCIÓN .

INTRODUCCION :

DESDE LOS COMIENZOS MAS REMOTOS EL HOMBRE HA TENIDO LA NECESIDAD DE TRANSMITIR SUS IDEAS Y MENSAJES A LOS DEMAS POR LO QUE SURGIERON VARIAS FORMAS Y MEDIOS DE TRANSMITIRLOS, DESDE LA ANTIGUEDAD SE PROPAGARON INFORMACIONES POR VIA OPTICA Y SE DESCUBRIERON PARA ELLO SIEMPRE NUEVAS POSIBILIDADES, DESDE LA SIMPLE SEÑAL MANUAL PASANDO POR SEÑALES DE FUMGO Y HUMO HASTA EL ALFABETO POR BANDERAS Y LOS SEMAFOROS.

YA EN 1880 GRAHAM BELL EXPERIMENTO CON EL "FOTOPONO" (INSTRUMENTO PARA TRANSMITIR EL SONIDO POR MEDIO DE ONDAS LUMINOSAS). EL DESARROLLO MAS RECIENTE ES EL RAYO LAZER MODULADO. INICIALMENTE SE DEPENDIO DE LA PROPAGACION LUMINICA EN EL AIRE; EN VIRTUD DE LA TRANSPARENCIA RESTRINGIDA Y TEMPORALMENTE MUY VARIABLE DE ESTE MEDIO (POR EJEMPLO DEBIDO A NIEBLA) SE ESTUVO LIMITANDO A DISTANCIAS RELATIVAMENTE CORTAS. EN 1970 LA POSIBILIDAD DE UNA TRANSMISION LUMINICA A TRAVES DE CONDUCTORES OPTICOS (Y POR CONSIGUIENTE INDEPENDIENTE DEL CLIMA) SE HALLO MAS CERCANA. LOS TRABAJOS PRECURSORES PARA LA FABRICACION DE VIDRIOS DE ELEVADA FUERZA - CONDICION PARA LA PROPAGACION DE LA LUZ CON POCA ATENUACION Y, CON ELLO, ESCASAS PERDIDAS DE TRANSMISION FUERON REALIZADOS EN ESTADOS UNIDOS. MEDIANTE NUEVOS PROCESOS FUE POSIBLE FABRICAR VARILLAS DE VIDRIO DE CUARZO SINTETICO Y PARTIENDO DE -- AQUELLAS, OBTENER FIBRAS FINISIMAS DE APROXIMADAMENTE 0.1 mm DE DIAMETRO DE HASTA VARIOS KILOMETROS DE LONGITUD. CONSTRUCCIONES SOPISTICADAS DE CABLES PROTEGEN LAS DELGADAS FIBRAS DURANTE EL TENDIDO Y ACCIONAMIENTO DE LOS CABLES. NUEVOS IMPULSOS HACIA -- LAS TELECOMUNICACIONES DEL FUTURO SERAN DADOS, EN EL CAMPO DE -- LOS CABLES, POR LA FIBRA OPTICA COMO ALTERNATIVA RESPECTO AL CONDUCTOR DE COBRE Y POR CONVERSORES OPTOELECTRONICOS PARA EL ACO-- PLAMIENTO DE LOS DISTINTOS SISTEMAS TRANSMISORES. A LO ANCHO -- DEL MUNDO YA HAN SIDO TENDIDOS EXITOSAMENTE MUCHOS MILES DE KILOMETROS DE FIBRAS EN ESTOS CABLES. SISTEMAS TRANSMISORES PARA REDES DE INFORMACION DE LAS ADMINISTRACIONES DE TELECOMUNICACIONES

ASI COMO PARA NUMEROSAS APLICACIONES INDUSTRIALES, YA HAN DEMOSTRADO SU EFICACIA TAMBIEN BAJO RUDAS CONDICIONES DE SERVICIO. ADEMAS EN LAS INSTALACIONES EXPERIMENTALES MAS DIVERSAS COMO ASI MISMO EN PROYECTOS PILOTO SON ABARCADOS CONTINUAMENTE NUEVOS CAMPOS DE APLICACION.

I.- TELEFONIA .

I.- TELEFONIA

1.1.- DEFINICIÓN DE TELEFONÍA

TELEFONÍA.- ES UNA RAMA DE LAS TELECOMUNICACIONES, QUE SE ENCARGA DEL ESTUDIO DE LA FORMA DE TRANSMITIR A DISTANCIA LA VOZ HUMANA POR MEDIO DE CORRIENTES DE ONDAS ELÉCTRICAS. ARTE DE CONSTRUIR, INSTALAR Y MANEJAR LOS TELÉFONOS.

TELECOMUNICACIÓN.- SIGNIFICA COMUNICACIÓN A LARGA DISTANCIA. GENERALMENTE ES UTILIZADA ESTA PALABRA PARA -- DESIGNAR LA COMUNICACIÓN CON MEDIOS ELECTROTÉCNICOS.

SE TIENE QUE LA TELECOMUNICACIÓN PUEDE SER DE UNA DIRECCIÓN, COMO SON LA RADIO Y LA TELEVISIÓN, O DE DOS DIRECCIONES COMO LA TELEFONÍA Y LA TELEGRAFÍA.

DENTRO DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES DE -- DOS DIRECCIONES TENEMOS LA TELEFONÍA CUYA FUNCIÓN ES HACER AUDIBLE EL SONIDO Y ANTE TODO LA PALABRA HABLADA POR LARGAS DISTANCIAS.

1.1.1.- HISTORIA DE LA TELEFONIA.

LOS PRIMEROS MEDIOS DE COMUNICACIÓN QUE LA HUMANIDAD UTILIZO FUERON LOS MENSAJEROS QUE TRANSMITÍAN EN FORMA VERBAL O ESCRITA EL MENSAJE, AÑOS MAS TARDE SE VALIERON DE ESTAFETAS HUMANAS, RELEVOS (QUE LLEVABAN EL MENSAJE A GRANDES DISTANCIAS), DESPUES SE EMPLEARON ANIMALES RAPIDOS COMO CABALLOS Y PALOMAS MENSAJERAS.

TAMBIEN SE UTILIZARON OTROS MEDIOS DE COMUNICACIÓN EN FORMA DE SEÑALES ÓPTICAS Y ACUSTICAS, COMO HOGUERAS, BANDERAS, TAMBORES, ESPEJOS, ETC.

A FINALES DEL SIGLO XVIII COMIENZAN A SURGIR GRANDES PERSONALIDADES, LAS CUALES REALIZAN ESTUDIOS QUE FORMAN ANTECEDENTES, LOS CUALES SIRVEN COMO SOPORTE PARA ALCANZAR EL DESARROLLO TECNOLÓGICO QUE ACTUALMENTE VIVIMOS.

EN 1792, EL ING. FRANCÉS CLAUDIO CHAPPE INVENTO EL TELEGRAFO ÓPTICO, EL CUAL, POR MEDIO DE UN POSTE PROVISTO EN SU PARTE SUPERIOR DE UN TRAVESAÑO COMPUESTO DE DOS BRAZOS MANEJABLES POR MEDIO DE CUERDAS, LOGRO ENVIAR A CONSIDERABLES DISTANCIAS MENSAJES EN CLAVE.

A PRINCIPIOS DE 1800, INVESTIGADORES DE MUCHOS PAISES ESTUDIABAN LOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS.

UNO DE ELLOS EL FÍSICO ITALIANO ALEJANDRO VOLTA DIO A CONOCER LA PILA ELÉCTRICA O BATERIA CON LA CUAL SE LOGRABA QUE UNA CARGA ELÉCTRICA SE DESLIZARA SOBRE UN ALAMBRE.

EL 20 DE JULIO DE 1820 EL DANÉS HANS CHRISTIAN ØRSTED DESCUBRIÓ LA ESTRECHA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO AL APROXIMAR A UNA AGUJA IMANTADA UN HILO RECORRIDO POR UNA CORRIENTE ELÉCTRICA, GIRABA AQUELLA HASTA COLOCARSE PERPENDICULARMENTE. EN ESTE MOMENTO NACE EL ELECTROMAGNETISMO.

EN LA DÉCADA DE 1830 SE INVENTA EL TELEGRAFO GRACIAS A LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS POR MIGUEL FARADAY SOBRE ELECTROMAGNETISMO. EL AMERICANO SAMUEL P. B. MORESE PROYECTÓ LA CONSTRUCCIÓN DE UN INSTRUMENTO TELEGRÁFICO REGISTRADOR Y ESTABLECIÓ LOS PRINCIPIOS RELATIVOS A SU CLAVE DE PUNTOS, GUIONES E INTERVALOS, FUNDADA EN LA DURACIÓN O LA AUSENCIA DE PUNTOS ELÉCTRICOS.

COMO LA NECESIDAD DE TRANSMITIR INFORMACIONES ERA GRANDE, EL TELEGRAFO SE DIFUNDIÓ RAPIDAMENTE.

EL DESEO Y LA NECESIDAD DE PODER TRANSMITIR LA VOZ HUMANA ENTRE LOS MAS DIVERSOS LUGARES FUERÓN UN DESAFÍO PARA LOS INVENTORES DE MEDIADOS DEL SIGLO XIX.

CONTINUARÓN LOS EXPERIMENTOS, SE PROBARON MUCHOS METODOS, PERO EL

14 DE FEBRERO DE 1876 EL AMERICANO ALEXANDER GRAHAM BELL PRESENTO LA PRIMERA SOLICITUD DE PATENTE DE INVENCION DE UN TELÉFONO ELECTROMAGNÉTICO.

EL TELÉFONO DE BELL APARECIO POR PRIMERA VEZ EN LA EXPOSICION DE FILADELFIA EN ESTE MISMO AÑO, ATRAYENDO LA ADMIRACION DEL MUNDO ENTERO, PUES PRODUCIA A GRAN DISTANCIA LAS PALABRAS.

1.1.2.- CRONOLOGÍA DE DESCUBRIMIENTOS.

1800-1837 DESCUBRIMIENTOS PRELIMINARES.-VOLTA DESCUBRE LA BATERIA PRIMARIA; LOS TRATADOS MATEMÁTICOS DE FOURIER, CAUCHY Y LAPLACE; EXPERIMENTOS CON ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO POR ØRSTED, AMPERE, FARADAY Y HENRY; LA LEY DE OHM (1826); PRIMEROS SISTEMAS TELEGRÁFICOS POR GAUSS Y WEBER Y POR WHEATSTONE Y COOKE.

1838-1866 EL NACIMIENTO DE LA TELEGRAFÍA.-MORSE PERFECCIONA SU SISTEMA CON LA AYUDA DE GALE, HENRY Y VAIL; STEINHEIL ENCUENTRA QUE LA TIERRA PUEDE SER EMPLEADA COMO UN CONDUCTOR; SE INICIÓ EL SERVICIO COMERCIAL (1844); SE INVENTÓ LA TÉCNICA DE LA MULTICANALIZACIÓN; WILLIAM THOMSON - - (LORD KELVIN) CALCULA LA RESPUESTA A LOS PULSOS DE UNA LÍNEA TELEGRÁFICA (1855); INSTALARON LOS CABLES TRANSATLÁNTICOS POR CYRUS FIELD Y SOCIOS.

1845 SON ENUNCIADAS LAS LEYES DE KIRCHHOFF PARA CIRCUITOS.

1864 "UNA TEORÍA DINÁMICA DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO", POR JAMES CLERK MAXWELL. PREDICE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

1876-1899 EL NACIMIENTO DE LA TELEFONÍA.-ES PERFECCIONADO EL TRANSDUCTOR ACÚSTICO POR ALEXANDER GRAHAM BELL, DESPUÉS DE VARIOS INTENTOS HECHOS POR REIS; PRIMER INTERCAMBIO

TELEFÓNICO, EN NEW HAVEN, CONN., CON OCHO LÍNEAS (1878); TRANSDUCTOR DE CARBÓN, A BOTON DE EDISON; SE INTRODUJERON LOS CIRCUITOS DE CABLES; STROWGER INVENTA LA CONMUTACIÓN PASO A PASO (1887); LA TEORÍA DEL CABLE CARGADO POR HEAVISIDE, PUPIN Y CAMPBELL.

1887-1907 LA TELEGRAFÍA INALÁMBRICA-HEINRICH HERTZ COMPRUEBA LA TEORÍA DE MAXWELL; DEMOSTRACIONES POR MARCONI Y POPOV; MARCONI PATENTA UN SISTEMA COMPLETO DE TELEGRAFÍA INALÁMBRICA (1897); SIR OLIVER LODGE DESARROLLA LA TEORÍA DE LOS CIRCUITOS SINTONIZADOS; PRINCIPIA EL SERVICIO COMERCIAL QUE INCLUYE SISTEMAS BARCO-TIERRA Y TRANSATLÁNTICOS.

1892-1899 PUBLICACIONES DE OLIVER HEAVISIDE SOBRE CÁLCULO OPERACIONAL, CIRCUITOS Y TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA.

1904-1920 LA ELECTRÓNICA APLICADA AL RADIO Y AL TELÉFONO-LEE DEFOREST INVENTA EL AUDIÓN (TRIODO) BASADO EN EL DIODO DE FLEMING; TIPOS BÁSICOS DE FILTROS DESARROLLADOS POR G. A. CAMPBELL Y OTROS; EXPERIMENTOS DE RADIOTRANSMISIÓN DE AM; LÍNEA TELEFÓNICA TRANSCONTINENTAL CON REPETIDORES ELECTRÓNICOS CON EL SISTEMA BELL (1915); NACE LA TELEFONÍA MULTICANAL SOBRE PORTADORA; E.H. ARMSTRONG PERFECCIONA LA RADIO RECEPTOR SUPERHETERODINO (1918); PRIMERA ESTACIÓN RADIODIFUSORA, KDKA, EN PITTSBURGH.

1923-1938 EL NACIMIENTO DE LA TELEVISIÓN-SISTEMAS MECÁNICOS DE FORMACIÓN DE IMAGEN DEMOSTRADOS POR BAIRD Y JENKINS; ANÁLISIS TEÓRICO DE LOS REQUISITOS DE ANCHO DE BANDA POR GRAY, HORTON Y MATHES; FARNSWORTH Y ZWORYKIN PROPO-
NEN SISTEMAS ELECTRÓNICOS; TUBOS AL VACÍO DE REYOS CATÓDICOS PERFECCIONADOS POR DUMONT Y OTROS; EMPIEZAN LAS PRUEBAS DE CAMPO Y LA TRANSMISIÓN EXPERIMENTAL.

- 1931 SE INICIA EL SERVICIO DE TELEIMPRESORES.
- 1934 H. S. BLACK DESARROLLA EL AMPLIFICADOR CON RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA.
- 1936 "UN MÉTODO PARA LA REDUCCIÓN DE PERTURBACIONES EN LA -- EMISIÓN DE SEÑALES DE RADIO POR UN SISTEMA DE MODULA- - CIÓN EN FRECUENCIA" POR ARMSTRONG, PROPICIA LA CREACIÓN DE LA RADIO DE F.M
- 1937 ALEC REEVES CONCIBE LA MODULACIÓN POR CODIFICACIÓN DE - PULSOS.
- 1938-1945 SEGUNDA GUERRA MUNDIAL.-SE DESARROLLAN LOS SISTEMAS DE - RADAR Y MICROONDAS; LA FM ES USADA EN FORMA AMPLIA EN - LAS ÁREAS; WEINER Y KOLMOGOROFF APLICAN MÉTODOS ESTADIS- TICOS A LOS PROBLEMAS DE DETECCIÓN DE SEÑALES.
- 1948 C. E. SHANNON PUBLICA "UNA TEORÍA MATEMÁTICA DE LA COMU- NICACIÓN".
- 1948-1951 EL TRANSISTOR ES INVENTADO POR BARDEEN, BRATTAIN Y SHO- CKLEY.
- 1950 EL SISTEMA MULTICANAL POR DIVISIÓN EN TIEMPO ES APLICA- DO A LA TELEFONÍA.
- 1955 J.R. PIERCE PROPONE SISTEMAS PARA COMUNICACIÓN POR SATÉ- LITES.
- 1956 PRIMER CABLE TELEFÓNICO TRANSOCEÁNICO (36 CANALES DE -- VOZ).
- 1958 SE DESARROLLAN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE DATOS A LARGA

DISTANCIA CON PROPÓSITOS MILITARES.

- 1960 MAIMAN DEMUESTRA EL PRIMER LASER.
- 1961 LOS CIRCUITOS INTEGRADOS ENTRAN EN LA PRODUCCIÓN COMERCIAL.
- 1962 PRINCIPIA LA COMUNICACIÓN POR SATÉLITE CON EL TELSTAR I.
- 1962-1966 EL NACIMIENTO DE LA COMUNICACIÓN DIGITAL DE ALTA VELOCIDAD. EL SERVICIO DE TRANSMISIÓN DE DATOS APARECE EN FORMA COMERCIAL; CANALES DE BANDA ANCHA PARA SEÑALIZACIÓN DIGITAL; LA MODULACIÓN POR CODIFICACIÓN DE PULSOS SE HA CE FACTIBLE EN LA TRANSMISIÓN DE VOZ Y TV; MEJORAS EN LA TEORÍA E IMPLEMENTACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DIGITAL; - INCLUYENDO MÉTODOS DE CODIFICACIÓN PARA CONTROL DE ERROR POR BOSE, CHAUDHURI, WOZENCRAFT Y OTROS, Y EL DESARROLLO DE LA IGUALACIÓN PARA ADAPTACIÓN POR LUCKY Y COLABORADORES.
- 1963 OSCILADORES DE MICROONDAS DE ESTADO SÓLIDO PERFECCIONADOS POR GUNNY Y OTROS.
- 1964 SE PONEN EN SERVICIO LOS SISTEMAS DE CONMUTACIÓN TELEFÓNICA COMPLETAMENTE ELECTRÓNICOS.
- 1965 EL MARINER IV TRANSMITE IMÁGENES DE MARTE A LA TIERRA.
- 1966-1975 PRECURSORES DEL FUTURO. SISTEMAS DE TV POR CABLE; ENLACES EXPERIMENTALES DE COMUNICACIÓN POR LASER; ENSAYOS EN EL CAMPO DE LA FONOVISIÓN; DESARROLLO DE TRABAJOS EN LAS FIBRAS ÓPTICAS, GUÍAS DE ONDA HELICOIDALES; FILTROS DIGITALES, DISPOSITIVOS ACOPLADOS EN CARGA Y CIRCUITOS INTEGRADOS EN GRAN ESCALA.

1.2 PLANTA TELEFONICA

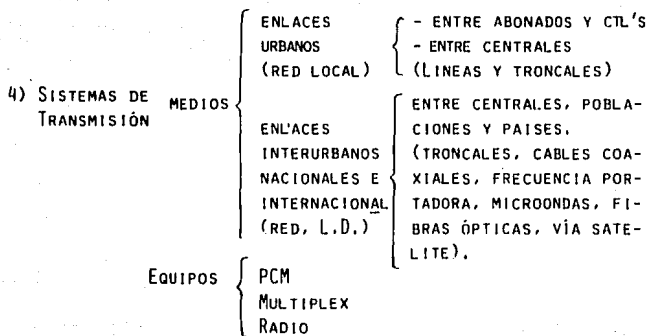
LA PLANTA TELEFÓNICA ESENCIALMENTE SE COMPONE DE CUATRO PARTES-FUNCIONALES, QUE SON:

- 1) SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN
- 2) PLANTA EXTERIOR
- 3) SISTEMAS DE CONMUTACIÓN
- 4) SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

PARA TENER UN PANORAMA GENERAL DE LOS COMPONENTES DE ESTOS SISTEMAS MOSTRAMOS EL SIGUIENTE CUADRO:

PLANTA TELEFÓNICA

1) SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN	{ PLANTAS DE FUERZA EQUIPOS DE EMERGENCIA
2) PLANTA EXTERIOR	{ RED TRONCAL RED PRINCIPAL RED DIRECTA RED SECUNDARIA RED LOCAL Ó PRIVADA RED SUBSECUNDARIA
3) SISTEMAS DE CONMUTACIÓN	{ CONMUTADOR PRIVADO DE ABONADO MANUAL (PMBX) CONMUTADOR PRIVADO DE ABONADO AUTOMATICO (PABX)



1.2.1 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN.

LA ELECTRICIDAD ES UNA DE LAS PRINCIPALES FORMAS DE ENERGÍA UTILIZADAS EN EL MUNDO ACTUAL. ES BÁSICA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA MAYORÍA DE LOS APARATOS UTILIZADOS POR EL HOMBRE.

EN LA ACTUALIDAD SE CUENTA CON DIVERSAS FORMAS DE GENERAR ENERGÍA ELECTRICA ENTRE LAS CUALES PODEMOS MENCIONAR LAS SIGUIENTES:

- BATERIAS: SON DISPOSITIVOS QUE TRANSFORMAN LA ENERGÍA QUÍMICA EN ENERGÍA ELECTRICA.
- GENERADORES: SON DISPOSITIVOS QUE PRODUCEN ELECTRICIDAD POR LA ROTACIÓN DE UN GRUPO DE CONDUCTORES EN UN CAMPO MAGNETICO. DEPENDIENDO DEL MEDIO UTILIZADO PARA MOVER AL GENERADOR SE TIENEN LOS MOTOGENERADORES GENERADORES EOLICOS, TERMoeLECTRICOS, HIDROELECTRICOS Y NUCLEARES.

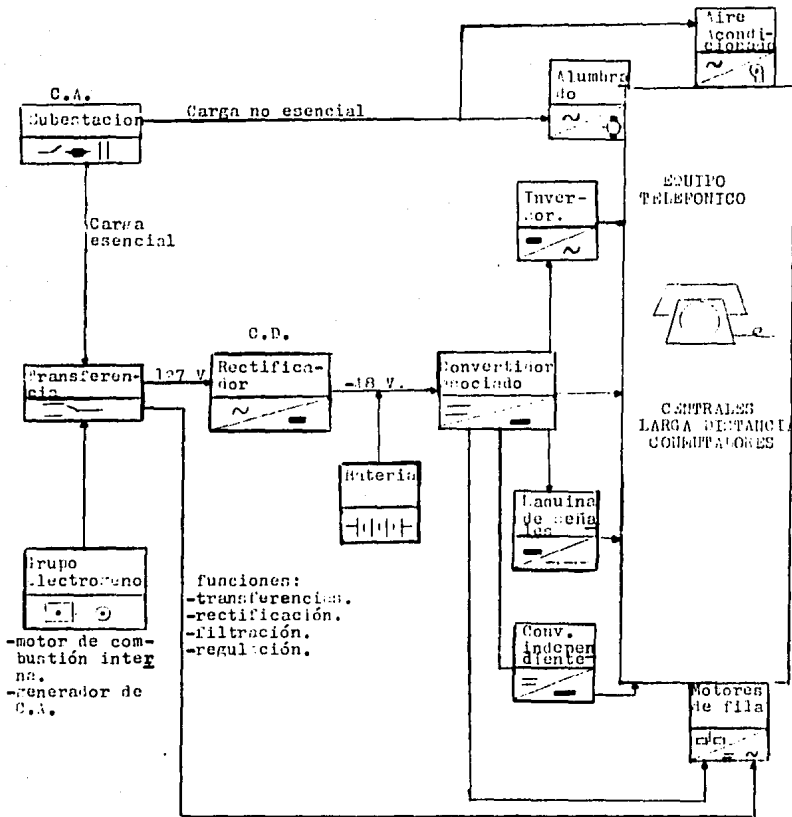
- CELDAS SOLARES: SON DISPOSITIVOS QUE TRANSFORMAN LA ENERGÍA -
DEL SOL EN ELECTRICIDAD.

LA PRINCIPAL FUENTE QUE PROPORCIONA ENERGÍA ELECTRICA A LOS ---
EQUIPOS Y SISTEMAS QUE COMPONEN LA PLANTA TELEFÓNICA ES LA - --
RED COMERCIAL DE LA Cía. DE LUZ Y FUERZA, MISMA QUE SE SUMINIS-
TRA A LOS EQUIPOS A TRAVES DE UNA SUBESTACIÓN QUE ALIMENTA A --
LOS EQUIPOS QUE FUNCIONAN CON CORRIENTE ALTERNA Y A LOS RECTIFI-
CADORES, POR MEDIO DE LOS CUALES SE OBTIENE LA CORRIENTE DIREC-
TA NECESARIA. LA CONTINUIDAD DEL SERVICIO TELEFÓNICO DEPENDE -
DEL SUMINISTRO ININTERRUMPIDO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, ES POR -
ESTO QUE PARA LOS CASOS EN QUE LA ENERGÍA ELÉCTRICA COMERCIAL -
FALLA, SE CUENTA CON EQUIPOS DE ENERGÍA COMO SON LOS GRUPOS --
ELECTROGENOS Y/O BATERIAS.

POR OTRO LADO, TODAS LAS INSTALACIONES TELEFÓNICAS CUENTAN CON
SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE QUE SUMINISTRAN LAS CONDI-
CIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD REQUERIDOS POR LOS EQUIPOS PARA
SU APROPIADO FUNCIONAMIENTO.

A CONTINUACIÓN SE MUESTRA UN DIAGRAMA A BLOQUES MOSTANDO LA INTERCONEXIÓN DE LOS EQUIPOS DE FUERZA.

INTERCONEXION DE LOS EQUIPOS DE FUERZA



1.2.2 PLANTA EXTERIOR.

LA RED EXTERIOR COMO TODO COMPONENTE DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN TELEFÓNICA, ES DE VITAL IMPORTANCIA PARA LA OBTENCIÓN DE UNA TRANSMISIÓN Y COMUNICACIÓN EFICIENTE.

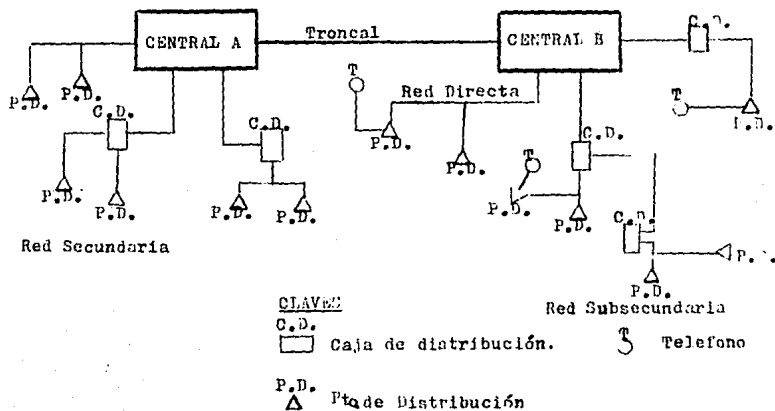
POR LAS CARACTERÍSTICAS DEL SERVICIO TELEFÓNICO, LA RED DEBE PROYECTARSE EN SU INSTALACIÓN, DE TAL MODO QUE PERMITA EL APROVECHAMIENTO MÁXIMO DE LA MISMA.

PARA EFECTOS PRÁCTICOS, COMO LA MUESTRA LA FIGURA 1, LA RED ESTÁ CONSTITUIDA POR:

- A) RED TRONCAL
- B) RED PRINCIPAL
- C) RED DIRECTA
- D) RED SECUNDARIA
- E) RED LOCAL O PRIVADA
- F) RED SUBSECUNDARIA

FIGURA No. 1

ESQUEMA MOSTRANDO LOS DISTINTOS TIPOS DE RED.



1.2.3: SISTEMAS DE CONMUTACION.

UN CONMUTADOR ES EN REALIDAD UNA PEQUEÑA CENTRAL, Y COMO LAS LINEAS QUE ENLASAN LAS CENTRALES ENTRE SI SE DENOMINAN TRONCALES, TAMBIEN LAS LINEAS URBANAS RECIBEN EL NOMBRE DE TRONCALES. LOS DISTINTOS TIPOS DE CONMUTADORES PRIVADOS, SE SUELEN DESIGNAR POR LAS INICIALES USADAS EN LOS PAISES DE HABLA INGLESA PRINCIPALMENTE TENEMOS:

- A) CONMUTADOR PRIVADO DE ABONADO MANUAL PMRX
- B) CONMUTADOR PRIVADO DE ABONADO AUTOMATICO PARX

CENTRAL PMRX CON PALANCAS.

SE COMPONE DE UN CUADRO CONMUTADOR INSTALADO EN UN MUEBLE DE MADERA QUE PUEDE COLOCARSE SOBRE UNA MESA.

TODOS LOS ELEMENTOS NECESARIOS PARA SU FUNCIONAMIENTO, CON EXCEPCION DE LA FUENTE DE ENERGIA, SE ENCUENTRAN INSTALADOS EN DICHO MUEBLE. LA FUENTE DE ENERGIA ES GENERALMENTE UN ELIMINADOR DE BATERIA, QUE SE CONECTA A LA INSTALACION ELECTRICA DEL ABONADO.

CADA EXTENSION O TRONCAL CUENTA CON UN INDICADOR DE LLAMADA (DE PLACA O LUMINOSOS) Y 2 O 3 LLAVES DE PLACA PARA EFECTUAR LAS CONEXIONES ENTRE LAS EXTENSIONES O ENTRE EXTENSIONES Y TRONCALES.

EL CUADRO DEL CONMUTADOR CUENTA ADEMAS CON MICROTELEFONO PARA LA PERSONA QUE LO OPERE, UN DISCO Y GENERALMENTE TAMBIEN UN MAGNETO PARA LLAMAR A LA EXTENSION.

CUENTA TAMBIEN CON LA POSIBILIDAD DE DAR SEÑALES AUDIBLES, CUANDO ASI SE DESEA, Y DE EFECTUAR CONEXIONES NOCTURNAS DE LAS TRONCALES A CIERTAS EXTENSIONES. SU CAPACIDAD DE EXTENSIONES Y DE LINEAS PUEDE MODIFICARSE.

CENTRAL PMBX CON CORDONES.

EL CONMUTADOR CON CORDONES SE COMPONE DE UN MUEBLE TIPO MESA QUE SE INSTALA EN EL PISO Y UN BASTIDOR DE RELEVADORES QUE SE FIJA A LA PARED. LOS CONMUTADORES, HASTA UNA CAPACIDAD DE 40 EXTENSIONES, PUEDEN TAMBIEN FIJARSE EN LA PARED CUANDO ASI SE DESEA.

EL CONMUTADOR CONSISTE DE UN EQUIPO DE OPERADORA, EQUIPOS DE CORDONES Y UNIDADES DE RELEVADORES PARA LINEAS URBANAS (TRONCALES). CADA EXTENSION O TRONCAL TERMINA EN UN JACK DE LINEA CON SU LAMPARA INDICADORA QUE SE ENCIENDE AL REGISTRARSE UNA LLAMADA. CADA EQUIPO DE CORDON CONSISTE DE UNA O DOS LLAVES, UNA O DOS LAMPARAS Y UN PAR DE CORDONES QUE SIRVEN PARA EFECTUAR LAS CONEXIONES ENTRE LAS EXTENSIONES Y TRONCALES O SOLO ENTRE EXTENSIONES. LAS LAMPARAS DEL EQUIPO DE CORDON SE ENCIENDEN AL COLGARSE EL MICROTELEFONO DE LAS EXTENSIONES, DANDO ASI LA SEÑAL DE CONCLUSION. LAS LLAVES SIRVEN PARA CONECTAR A LA OPERADORA Y PARA LLAMAR A LA EXTENSION. LA FUENTE DE ENERGIA PUEDE SER UNA BATERIA CON CARGADOR AUTOMATICO O UN ELIMINADOR DE BATERIA. EL CONMUTADOR NO PODRA OPERARSE SI FALLA LA CORRIENTE. PARA CONMUTADORES DE TRAFICO INTENSO SE ACOSTUMBRA USAR UN EQUIPO GENERADOR DE CORRIENTE DE LLAMADA (CAMBIAPOLOS) DE MODO QUE NO SEA NECESARIO PARA LA OPERADORA USAR EL MAGNETO CADA VEZ QUE LLAME A UNA EXTENSION.

EL CONMUTADOR DISPONE DE ELEMENTOS PARA DAR SEÑALES AUDIBLES CUANDO ASI SE DESEA, COMO TAMBIEN PARA EFECTUAR CONEXIONES NOCTURNAS DE LAS TRONCALES A CIERTAS EXTENSIONES. LA CAPACIDAD INICIAL DE EXTENSIONES, TRONCALES Y PARES DE CORDONES PUEDEN AUMENTARSE HASTA LLEGAR A LA CAPACIDAD FINAL, EN ALGUNOS CASOS.

ESTOS CONMUTADORES SON ADECUADOS PARA NEGOCIACIONES O ESTABLECIMIENTOS MEDIANOS CON TRAFICO REGULAR, QUE NO REQUIERAN LA OCUPACION PERMANENTE DE UNA PERSONA PARA LA ATENCION DEL MISMO.

CENTRAL PABX.

EN UN CONMUTADOR PRIVADO AUTOMATICO, PABX, SE EFECTUAN TODAS LAS CONFERENCIAS INTERNAS SIN INTERVENSION DE OPERADORA, ES DECIR, EN FORMA COMPLETAMENTE AUTOMATICA. EN UN SISTEMA PABX SE EFECTUAN TODAS LAS LLAMADAS INTERNAS Y LAS EXTERNAS QUE SALEN DEL EQUIPO HACIA LA RED URBANA, AUTOMATICAMENTE. SIN EMBARGO, LAS LLAMADAS EXTERNAS PROVENIENTES DE LA RED URBANA SE TRAMITAN POR UNA OPERADORA.

EXISTEN DOS RAZONES POR LAS CUALES NO SE DEBE AUTOMATIZAR EL TRAFICO DE ENTRADA A UN CONMUTADOR PABX. LA PRIMERA RAZON ES QUE GENERALMENTE CUANDO UNA CENTRAL HA COMPLETADO LA CONEXION CON EL CONMUTADOR, NO PUEDE RECIBIR Y CURSAR LAS CIFRAS ADICIONALES NECESARIAS PARA QUE DICHO CONMUTADOR ESTABLEZCA LA CONEXION CON LA EXTENSION REQUERIDA.

LA SEGUNDA RAZON ES QUE LA PERSONA QUE LLAMA NO CONOCE GENERALMENTE EL NUMERO DE LA EXTENSION CON LA QUE SE QUIERE COMUNICAR.

SERIA CASI IMPOSIBLE INCLUIR TODOS ESTOS NUMEROS DE UN DIRECTORIO TELEFONICO PUBLICO Y CASI IGUALMENTE DIFICIL MANTENERLO AL CORRIENTE CON RESPECTO A LOS NUMEROSOS Y FRECUENTES CAMBIOS QUE SE VERIFICAN EN UN SISTEMA PRIVADO. AUNQUE ESTO FUERA POSIBLE NO SERIA LA SOLUCION DEL PROBLEMA, PORQUE MUCHOS DE LOS QUE LLAMAN NO SABEN SIQUIERA CON QUIEN DEBEN DE HABLAR.

LA OPERADORA DE UN PABX, ACTUA COMO UN PUEBTE DE INFORMACION Y SUS SERVICIOS SON, POR LO TANTO INDISPENSABLES. LOS CONMUTADORES AUTOMATICOS DE PEQUEÑA CAPACIDAD NO OCUPAN EQUIPO ESPECIAL DE OPERADORA (APARATO O MESA DE TRAMITACION) YA QUE UNA EXTENSION CON APARATO NORMAL PUEDE CONTESTAR LAS LLAMADAS ENTRANTES. SIN EMBARGO, EN LOS CONMUTADORES AUTOMATICOS DE MAYOR CAPACIDAD REQUIEREN DE UN APARATO O MESA DE TRAMITACION PARA LA OPERADORA.

CON RESPECTO AL TRAFICO DE SALIDA AUTOMATICO, SE OBTIENE ACCESO A LAS LINEAS URBANAS OBTENIENDO TONO DE MARCAR LOCAL Y GIRANDO LA CIPRA "0" EN EL DISCO DE LA EXTENSION Y OPRIMIENDO EN EL APARATO UN BOTON DE TIERRA; DESPUES ES NECESARIO ESPERAR

LA COMPLESIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA CÉNTRAL URBANA (SI ES LA-
RUAT) O EL FONDO DE PARCAR DE LA CÉNTRAL URBANA (SI ES AUTOMATI-
CA).

LA FUENTE DE ENERGÍA PUEDE SER UNA BATERIA CON CARGADOR AUTOMA-
TICO O UN ELIMINADOR DE BATERIA. EN ESTE ÚLTIMO CASO DEBE TE-
NERSE EN CUENTA QUE LOS CONJUNTOS ORBES AUTOMÁTICOS EN GENERAL NO
PUEDEN OPERARSE CUANDO FALLA LA CORRIENTE ELÉCTRICA. SIN EN-
BARGO, EXISTEN PAÍSES DONDE LAS TRONCALES SE CONECTAN AUTOMÁTI-
CAMENTE A CIERTAS EXTENSIONES EN CASO DE PRESENTARSE UNA INTERRU-
PCION A LA CORRIENTE ELÉCTRICA DEL EDIFICIO.

1.2.3.1 MANEJO DE UNA LLAMADA

CUANDO SE DESCUELGA UN TELÉFONO, LOS SOPORTES EN QUE SE APOYAN CIERRAN UN CIRCUITO ELÉCTRICO QUE DESDE EL PROPIO APARATO VA CONECTADO HASTA LA CENTRAL TELEFÓNICA.

POR DICHO CIRCUITO CIRCULA UNA CORRIENTE, CUANDO GIRAMOS EL DISCO PARA MARCAR UN NÚMERO Y LO DEJAMOS VOLVER HACIA ATRÁS, DICHA CORRIENTE SE INTERRUMPE UN NÚMERO DE VECES IGUAL A LA CIFRA FORMADA; -- LAS INTERRUPCIONES SE PRODUCEN NO DURANTE EL GIRO DE IDA SINO DURANTE EL RETORNO DEL DISCO.

CADA APARATO TELEFÓNICO ESTA CONECTADO A LA CENTRAL EN EL DISTRIBUIDOR GENERAL (TKK), EL QUE A SU VEZ ESTA CONECTADO A LOS RELEVADORES DE LÍNEA (LR/BR), LOS CUALES SON ELECTROIMANES CONSTITUIDOS ESENCIALMENTE POR CIRCUITOS ELÉCTRICOS QUE PRODUCEN UN CAMPO MAGNÉTICO, UNIDOS A UNA ÁNCORA MOVIL QUE, CON SU MOVIMIENTO PUEDE ABRIR Y CERRAR OTROS CIRCUITOS.

LOS RELEVADORES DE LÍNEA SON UNA ESPECIE DE "CEREBRO" EN MINIATURA QUE SEGUN LAS ORDENES RECIBIDAS (IMPULSOS, DEBIDOS A LA ROTACIÓN DEL DISCO COMBINADOR), PONE EN ACCIÓN OTRO ÓRGANO DE FUNDAMENTAL IMPORTANCIA, EL MARCADOR DE PASO SALIENTE (S.L.M. SAL.), EL CUAL SELECCIONA EL TIPO DE CORDON (SR), QUE ESTE LIBRE PARA CONECTAR AL ABONADO.

EL TIPO DE ABONADO ES SELECCIONADO POR MEDIO DE UN ANALIZADOR DE CATEGORIAS (K/AN SAL), EL CUAL ENLAZA AL TIPO DE MARCADOR DE SELECCIÓN DE REGISTRO LIBRE (R.S.M.), CON EL REGISTRO (REG) CORRESPONDIENTE.

EN BASE A LAS ORDENES RECIBIDAS LOS IMPULSOS ELÉCTRICOS PASAN A CONTINUACIÓN POR UN RECEPTOR DE CODIGO (KSR) PARA IDENTIFICAR EL NÚMERO DEL ABONADO QUE HACE LA LLAMADA Y ES EL MOMENTO EN QUE SE PRODUCE EL TONO POR MEDIO DEL GENERADOR DE TONO (T₆G).

A CONTINUACIÓN LOS IMPULSOS ELÉCTRICOS HACEN FUNCIONAR EL RECEPTOR DE CODIGO DE GV (KMRI), EL CUAL ANALIZA LAS 3 PRIMERAS CIFRAS Y SE

LECCIONA SU ESLABONAMIENTO (GV) CON LA CENTRAL, PARA TENER ACCESO A SU REPETIDOR SALIENTE (FUR) Y REPETIDOR ENTRANTE (FIR) CORRESPONDIENTE, AL SEGUIR MARCANDO LAS DEMAS CIFRAS EL RECEPTOR DE CODIGO (KMR II) ANALIZA ESTAS 4 ULTIMAS CIFRAS Y MANDA SU INFORMACIÓN AL MARCADOR Y RECEPTOR DE TRÁFICO ENTRANTE (CDK MR), PARA ENVIAR LA INFORMACIÓN A SU MARCADOR DE TRÁFICO ENTRANTE (SLM ENT-) CORRESPONDIENTE E INDICAR QUE TIENE UNA LLAMADA EN ESPERA POR MEDIO DEL INDICADOR DE LLAMADA (ST), Y PODERSE CONECTAR A LOS RELEVADORES DE LÍNEA (LR/BR), DEL ABONADO AL CUAL SE DECEA CONECTARSE, PARA FINALMENTE HACER LA CONECCIÓN CON EL TELÉFONO EN CUESTIÓN.

EN LA FIGURA 1, PUEDE VERSE ESTE PROCESO POR MEDIO DE UN DIAGRAMA A BLOQUES.

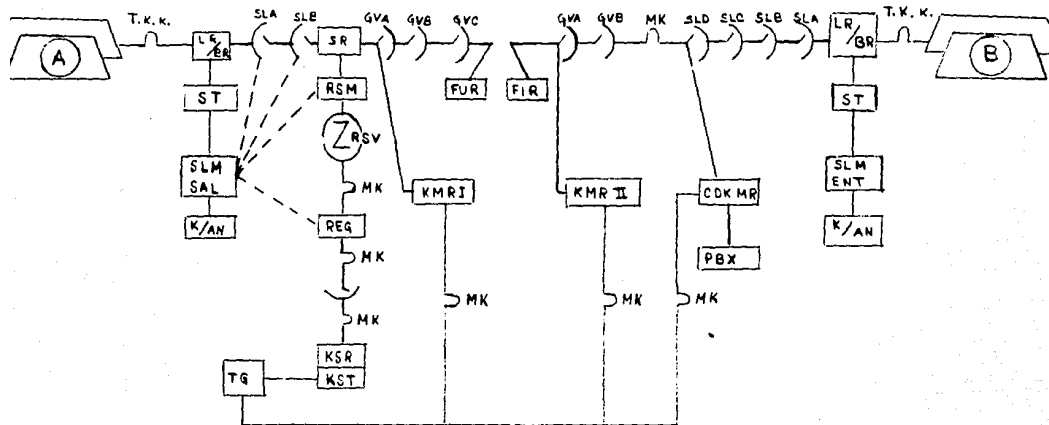


FIG. 1. DIAGRAMA A BLOQUES DEL MANEJO DE UNA LLAMADA.

T.K.K. - DISTRIBUIDOR GENERAL	K.S.T. - TRADUCTOR DE CÓDIGO
LR/BR.- RELEVADORES DE LÍNEA	T.G. - GENERADOR DE TONOS
ST, INDICADOR DE LLAMADA	GVA/B/C ESLABONAMIENTO PASO GV
S.K.M. (SAL). MARCADOR PASO SL SALIENTE	KMR I RECEPTOR DE CÓDIGO DE GVI
K/AN (SAL'). ANALIZADOR DE CATEGORÍAS	FUR REPETIDOR SALIENTE
SLA/B ESLABONAMIENTO PASO SL	FIR REPETIDOR ENTRANTE
SR PLACA DE CORDON,	GVA/B ESLABONAMIENTO PASO G.V.
RSM MARCADOR PARA SELECCIÓN DE REGISTRO LIBRE	KMR II RECEPTOR DE CÓDIGO.
RSV COORDON DE ACOPLAMIENTO SR/REG.	CDKMR MARCADOR Y RECEPTOR DE CÓDIGO TRÁFICO ENTRANTE
MK DISTRIBUIDOR INTERMEDIO	P.B.X. EQUIPO DE MULTILÍNEA
RGG REGISTRADOR	S.L.M. (ENT). MARCADOR PASO SL TRÁFICO ENTRANTE
KSR RECEPTOR DE CÓDIGO	K/AN (ENT.). ANALIZADDR DE CATEGORÍAS.

1.2.4. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

DENTRO DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN SE INCLUYEN TANTO LOS MEDIOS, YA SEAN DE TIPO URBANO (RED LOCAL) Y LOS DE TIPO INTERURBANO NACIONAL E INTERNACIONAL (LÍNEAS FÍSICAS, CABLES COAXIALES, FRECUENCIA PORTADORA, MICROONDAS, FIBRAS ÓPTICAS, SATELITES, ETC.), -ASI COMO LOS EQUIPOS DE TRANSMISIÓN COMO SON EL MULTIPLEX Y RADIO.

EN LAS REDES DE ENLACE ENTRE CENTRALES DE CONMUTACIÓN TELEFÓNICA SE EMPLEABAN CIRCUITOS FÍSICOS, ES DECIR LINEAS AEREAS MONTADAS SOBRE POSTES, ÉSTAS LÍNEAS GENERALMENTE CON BOBINAS DE PUPINIZACIÓN Y CUANDO LA LONGITUD LO REQUERÍA, CON AMPLIFICADORES REPETIDORES.

POSTERIORMENTE SE DESARROLLO LA TECNICA DE LAS FRECUENCIAS PORTADORAS QUE TIENEN COMO BASE, LA USADA EN RADIO O SEA, LA TRANSPOSICIÓN O TRANSLACIÓN DE LA SEÑAL QUE CONTIENE INFORMACIÓN DE SU FRECUENCIA O BANDA DE FRECUENCIAS ORIGINAL A UNA FRECUENCIA MAS ALTA CENTRO DEL ESPECTRO DE FRECUENCIAS, PARA SU TRANSMISIÓN.

LA TRANSPOSICIÓN SE LOGRA MEDIANTE EL PROCESO DE MODULACIÓN, PARA FRECUENCIAS PORTADOREAS SE EMPLEA LA MODULACIÓN DE AMPLITUD, - - TRANSMITIENDOSE UNA SOLA BANDA LATERAL (BLU), Y SUPRIMIENDOSE LA PORTADORA.

INICIALMENTE SE TRATARON DE APROVECHAS LAS LÍNEAS AEREAS TENDIDAS Y SOBRE ELLAS SE APLICARON LOS AVANCES DE LAS TECNICAS DE FRECUENCIAS PORTADORAS, AUMNETANDO EL NÚMERO DE CIRCUITOS TRANSPUESTOS PARA TRANSMITIRLOS. LAS CAPACIDADES QUE SE LOGRARON EN LOS INICIOS DE TRANSMISIÓN SOBRE LINEAS FÍSICAS FUERÓN DE 3, 6, 12, 18, - 24 Y HASTA 48 CIRCUITOS.

DE LO ANTERIOR SE CONCLUYE QUE PARA SISTEMAS DE BAJA CAPACIDAD SE UTILIZA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN LA LÍNEA ABIERTA O EL CABLE DE PARES SIMETRICOS.

CON LA APARICIÓN DEL CABLE COAXIAL, SE VENCIERON LOS PROBLEMAS DE CAPACIDAD DE LOS SISTEMAS, POR TENER ESTE UNA FRECUENCIA LIMITE DE TRANSMISIÓN MAS ALTA Y LOS DE INTERFERENCIA ENTRE SISTEMAS,

EL PRIMER CABLE COAXIAL CON UNA CAPACIDAD CONSIDERABLE (200 CIRCUITOS) FUE PUESTO EN SERVICIO EN LOS E.E.U.U. DURANTE 1940,

EL SISTEMA QUE SIGUIÓ EN CAPACIDAD FUE PARA 600 CIRCUITOS, CON FRECUENCIAS HASTA DE APROXIMADAMENTE 2,5 MHZ. EL SIGUIENTE SISTEMA FUE DE 960 CIRCUITOS CON 4 MHZ. A FINALES DE LOS 50'S, SE EMPEZO A UTILIZAR EL SISTEMA DE 2700 CIRCUITOS CON 12 MHZ., Y DESDE 1971 EL SISTEMA DE 10,800 CIRCUITOS CON UNA FRECUENCIA MÁXIMA DE 60 MHZ.

CUANDO LAS CONDICIONES TOPOGRÁFICAS NO PERMITEN O HACEN INCOSTEABLE ESTABLECER UNA RUTA POR MEDIO DE CABLE COAXIAL, SE OPTA POR EL SEGUNDO MEDIO DE TRANSMISIÓN, O SEA EL RADIO ENLACE.

DEPENDIENDO PRINCIPALMENTE DE LA CAPACIDAD A TRANSMITIR Y DE LA DISTANCIA A ANLAZAR, SERÁ EL RANGO DE FRECUENCIA DEL EQUIPO DE RADIO, ASÍ COMO DE LAS CONDICIONES TOPOGRÁFICAS, LA NECESIDAD DEL NÚMERO DE ESTACIONES REPETIDORAS.

EL SISTEMA DE RADIO-ENLACE DE MAYOR CAPACIDAD USADO EN LA ACTUALIDAD ES PARA 2.7000 CIRCUITOS.

PARA ENLACES INTERCONTINENTALES DE GRAN CAPACIDAD, ADEMÁS DE LOS CABLES SUBMARINOS, ACTUALMENTE SE EMPLEAN LOS SATELITES ARTIFICIALES COMO REPETIDORES, OTRO MEDIO DE TRANSMISIÓN SON LAS FIBRAS ÓPTICAS DONDE LAS PROPIEDADES EXCLUSIVAS DE LA TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA HACEN ATRACTIVO SU USO PARA UNA EXTENSA GAMA DE APLICACIONES, TANTO POR SU COMPORTAMIENTO COMO POR SU COSTO; OFRECE MAYOR ANCHURA DE BANDA, MAYORES DISTANCIAS ENTRE REPETIDORES Y MENOR SECCIÓN DE CABLE QUE LOS TRADICIONALES CABLES DE CONDUCTORES METÁLICOS.

OTRA IMPORTANTE CARACTERÍSTICA ES LA ELIMINACIÓN DE LAS INTERFERENCIAS DE RADIO-FRECUENCIA Y ELECTROMAGNÉTICAS, PROBLEMAS DE TIERRAS Y COSTOS QUE VAN ASOCIADOS A LOS CABLES METÁLICOS.

1.2.6.- TIPOS DE MODULACIÓN

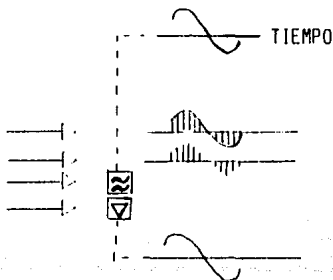
MODULACIÓN POR AMPLITUD DE IMPULSOS (PAM).

YA EN LOS AÑOS 20 SE DEMOSTRÓ MATEMÁTICAMENTE QUE EL HABLA HUMANA SE PODÍA TRANSMITIR EN FORMA DE UNA SEÑAL MODULADA POR AMPLITUD DE IMPULSOS. ESTO SE CONSIGUE MIDIENDO LA AMPLITUD DE UNA SEÑAL CON UNA ANCHURA DE BANDA LÍMITADA, A INTERVALOS REGULARES (MUESTREO), TENIENDO ESTOS INTERVALOS UNA FRECUENCIA QUE SEA POR LO MENOS EL DOBLE DE MUESTREO SE PUEDE VOLVER A FORMAR DESPUÉS LA SEÑAL ORIGINAL CON UNA EXACTITUD MUY GRANDE. CCITT (COMITE CONSULTATIS INTERNATIONAL TELEGRAPHIQUE ET TELEPHONIQUE) HA DETERMINADO QUE ESTOS VALORES DE MUESTREO SE MIDAN PARA LA VOZ HUMANA CON UNA FRECUENCIA DE 8 KGZ, LO QUE ES ALGO MÁS QUE EL DOBLE DE LA FRECUENCIA MÁXIMA DEL CANAL DE HABLA (3,400 HZ). Así PUES, CON UNA FRECUENCIA DE MUESTREO DE 8 KHZ SE HACE UNA MEDICIÓN CADA 125 MS. LA SIGUIENTE FIGURA MUESTRA EL PRINCIPIO DE LA TRANSMISIÓN PAM.

FORMAS DE SEÑAL

TRANSMISIÓN DE SEÑALES PAM

- 1.- MODULADOR POR AMPLITUD DE IMPULSOS
- 2.- LINEAS DE ENLACE
- 3.- FILTRO DE PASO BAJO
- 4.- AMPLIFICADOR.

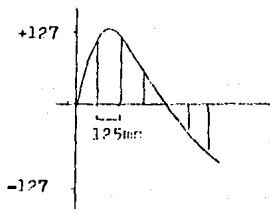


CUANTIFICACIÓN DE LAS SEÑALES PAM/TDM.

LA CUANTIFICACIÓN SIGNIFICA QUE LA AMPLITUD DE LOS IMPULSOS DESDE CADA CANAL, PAM SE MIDE CON UNA ESCALA QUE SOLAMENTE TIENE VALORES DE NÚMEROS ENTEROS (VALORES DISCRETOS). EL VALOR DE LA AMPLITUD ESTA REPRESENTADO POR EL NÚMERO ENTERO INMEDIATO.

CUANTO MAYOR SEA EL NÚMERO DE DIVISIONES DE LA ESCALA, TANTO MENOR SERÁ EL ERROR PRODUCIDO EN LA CUANTIFICACIÓN. EL ERROR RESULTANTE DA LUGAR AL LLAMADO RUIDO DE CUANTIFICACIÓN. LA GRADUACIÓN DE LA ESCALA SE HACE GENERALMENTE EN 128 ($=2^7$) O 256 ($=2^8$) PASOS. CUANDO LA GRADUACIÓN ES DE 256 PASOS, 128 SE EMPLEAN PARA LOS VALORES DE AMPLITUD POSITIVOS Y 128 PARA LOS NEGATIVOS. SE HA ESTANDARIZADO UNA ESCALA SEGÚN LA FIGURA SIGUIENTE. PARA AMPLITUDES BAJAS LA GRADUACIÓN DE LA ESCALA ES MÁS FINA Y A MEDIDA QUE LOS VALORES DE AMPLITUD CRECEN LA GRADUACIÓN ES MÁS BASTA.

CUANTIFICACIÓN CON 256 ZONAS, DE LAS CUALES 128 SON POSITIVAS Y 128 NEGATIVAS.

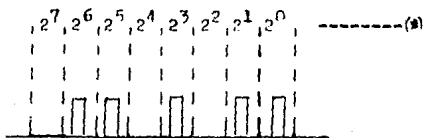


CODIFICACIÓN DE PAM/TDM A PCM/TDM.

EL PASO SIGUIENTE ES CONVERTIR EL VALOR CUANTIFICADO DE LA AMPLITUD A UNA FORMA DE CÓDIGO APROPIADO PARA PODER TRANSMITIRLA POR LA RED DE ENLACE. EL TIPO MÁS CORRIENTE DE CÓDIGO PARA ESTOS PROPÓSITOS ES EL CÓDIGO BINARIO SIMÉTRICO.

CON ESTE CÓDIGO PODEMOS REPRESENTAR LOS VALORES CUANTIFICADOS DE LA AMPLITUD DE IMPULSOS CON UNA COMBINACIÓN DE UNO Y CEROS, LO QUE SE LLAMA MODULACIÓN POR CODIFICACIÓN DE IMPULSOS (PCM). POR EJEMPLO UN UNO SE PUEDE INDICAR CON UN IMPULSO Y CERO CON LA AUSENCIA DE IMPULSO. SI SE TRANSMITE UNA CANTIDAD DE CANALES PCM (32 ó 24) MEDIANTE DIVISIÓN POR TIEMPO, EL SISTEMA SE DENOMINA PCM TDM. ES SISTEMA PCM CON 30 CANALES DE HABLA Y 2 CANALES DE SEÑAL SE DENOMINA CEPT 30/32.

TREN DE IMPULSOS EN 8 BITS CORRESPONDIENTE AL VALOR DE AMPLITUD 107.



$$(*) = 2^6 + 2^5 + 2^3 + 2^1 + 2^0$$

$$(*) = 64 + 32 + 8 + 2 + 1 = 107$$

$$(*) = 107$$

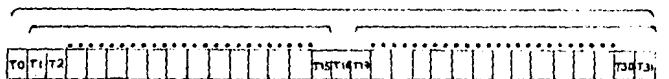
COMO YA HEMOS MENCIONADO, LA MEDICIÓN DE LA AMPLITUD SE EFECTÚA EN UN INTERVALO DE 3.9 MS, LO QUE ES TAMBIÉN EL TIEMPO TOTAL PARA 6 BITS EN LA FIGURA ANTERIOR, CADA BITS IMPULSO O NO IMPULSO, TIENEN POR LO TANTO UNA DURACIÓN TOTAL DE 488 MS, (3.9 MS/8), LA FRECUENCIA TOTAL DE IMPULSOS SERÁ 8 BITS X 32 INTERVALOS X 8,000-MUESTREOS/SEGUNDO = 2,048 MEGABITS POR SEGUNDO, MB/S.

ORGANIZACIÓN DE TRAMAS

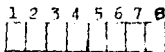
CADA UNO DE LOS VALORES DE AMPLITUD SE TRANSMITE PUES EN FORMA DE 8 IMPULSOS O NO IMPULSOS (8BITS) EN UN INTERVALO DE 3.9 MS, EN TOTAL SE TRANSMITEN 32 INTERVALOS, UNO PARA CADA CANAL, DENTRO DE UN PERÍODO DE 125 MS. ESTOS 32 INTERVALOS FORMAN UN TRAMA.

SISTEMAS PCM DE CEPT

1 TRAMA = 32 INTERVALOS = 256 BITS



POSICIÓN DE BIT
POLARIDAD



VALOR ABSOLUTO
EN CODIGO BINARIO
CON BITS EN ORDEN
SIGNIFICATIVO DE-
CRECIENTE.

UTILIZACIÓN DE UN INTERVALO PARA UN CANAL TELEFÓNICO.

PARA QUE LA TRANSMISIÓN SEA CORRECTA SE REQUIERE QUE LOS BITS PROCEDENTES DE UN DETERMINADO CANAL DE HABLA EN LA CENTRAL EMISORA, SE DISTRIBUYAN AL MISMO CANAL DE HABLA EN LA CENTRAL RECEPTORA. -- ESTO SE CONSIGUE DEBIDO A QUE EL INTERVALO T_0 CONTIENE LO QUE LLAMAMOS ENGANCHE DE TRAMA, LO QUE SIGNIFICA QUE UNA COMBINACIÓN DE IMPULSOS EN EL INTERVALO T_0 ES RECONOCIDA POR EL LADO RECEPTOR -- QUE ENTONCES SINCRONIZA SU EQUIPO EN RELACIÓN A ESTE INTERVALO.

SISTEMA DE MULTITRAMA

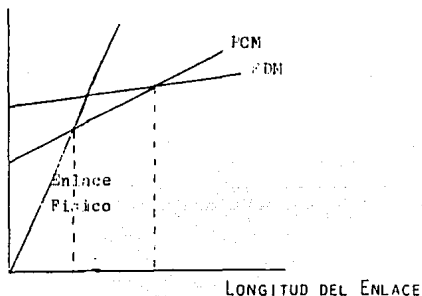
ESTE PRIMER PASO DE LA MODULACIÓN MULTIPLEX, QUE SE HA EFECTUADO EN 32 (30+2) CANALES PCM, SE LLAMA MULTIPLEX PRIMARIO UNA CANTIDAD DE SISTEMAS DE 32 CANALES SE PUEDE MULTIPLICAR PARA FORMAR -- SISTEMAS DE 32 CANALES SE PUEDE MULTIPLICAR PARA FORMAR SISTEMAS MAYORES, CON LO QUE UNA CANTIDAD DE TRAMAS FORMAN UNA MULTITRAMA RESERVÁNDOSE EL INTERVALO T_{16} DE TODAS LAS TRAMAS PARA ENGANCHE DE MULTITRAMA Y PARA SEÑALIZACIÓN SEGÚN UN DETERMINADO PATRÓN. -- POR EJEMPLO 4 SISTEMAS DE 32 CANALES FORMAN UN SISTEMA DE 128 CANALES (120 + 8) CON UNA VELOCIDAD DE BITS DE 8,448 Mb/S. ESTE -- SISTEMA SE FORMAN MEDIANTE LO QUE LLAMAMOS MULTIPLEX SECUNDARIO.

CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN PCM.

EN LA FIGURA SIGUIENTE SE MUESTRA UNA COMPARACIÓN ENTRE LOS COSTOS DE LOS ENLACES FÍSICOS, ENLACES PCM Y ENLACE FDM. SE DEDUCE QUE LOS COSTOS DE LOS ENLACES FÍSICOS EN GENERAL AUMENTAN PROPORCIONALMENTE A LA LONGITUD Y POR LO TANTO SON MÁS RENTABLES PARA DISTANCIAS CORTAS.

GRÁFICOS FUNDAMENTALES DE COSTOS PARA DIFERENTES TIPOS DE ENLACES.

COSTOS POR ENLACE



EN EL SISTEMA PCM HAY QUE CONTAR CON UN GASTO INICIAL PARA EL EQUIPO MULTIPLEX COLOCADO EN LA CENTRAL TELEFÓNICA, ASÍ COMO ALGÚN EQUIPO DE REGENERACIÓN Y DE AMPLIFICACIÓN EN LAS LÍNEAS DE A. F., NO OBSTANTE EL COSTO POR ENLACE ES MENOR QUE PARA LOS ENLACES FÍSICOS, Y SE ALCANZA UN PUNTO DE INTERSECCIÓN. ESTE ESTÁ A UNOS 5 KM., DE LÍNEA DE ENLACE.

PARA EL EQUIPO FDM LOS GASTOS INICIALES SON MAYORES, MIENTRAS QUE EL COSTO POR LÍNEA ES MENOR QUE PARA EL SISTEMA PCM.

UN PUNTO DE INTERSECCIÓN PARA LOS COSTOS POR ENLACE ENTRE PCM Y FDM APARECE A UNOS 50 KM., DE LÍNEA. LAS DISTANCIAS LÍMITES INDICADAS PARA LOS DIFERENTES SISTEMAS DE TRANSMISIÓN VARIAN SIN EMBARGO, SEGÚN EL PRECIO DE ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS, SEGÚN LA CANTIDAD DE CIRCUITOS, INVERSIONES HECHAS ANTERIORMENTE, PLAN DE TRANSMISIÓN, FORMA DE SEÑALIZACIÓN, ETC. A MEDIDA QUE LA TÉCNICA EVOLUCIONE, SE CONSTRUIRÁN SISTEMAS PCM MAYORES Y SE UTILIZARÁN INCLUSO EN LA RED DE TRÁNSITO.

1.3.- EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA Y NECESIDADES EN EL FUTURO.

EL TELÉFONO HACE SU APARICIÓN EN MÉXICO EN 1878 DOS AÑOS DESPUÉS DE QUE SU INVENTOR ALEXANDER GRAMAM BELL, LO PRESENTARA EN LA EXPOSICIÓN DE FILADELFIA.

LA PRIMERA RED TELEFÓNICA QUE SE INTALA ES PARA COMUNICAR LA OFICINA DEL MINISTERIO DE GOBERNACIÓN CON LA DEL INSPECTOR DE POLICIA Y SEIS COMISARIAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO, LA INTALACIÓN ESTUVO A CARGO DE ALFRED WESTRUP Y CÍA.

DIECISIETE AÑOS MÁS TARDE SE REALIZA LA PRIMERA LLAMADA INTERNACIONAL DEL MUNDO ENTRE MATAMOROS, MÉXICO Y BROWNSVILLE, ESTADOS UNIDOS.

PERO LA HISTORIA COMO EMPRESA COMIENZA, DONDE AHORA SE LEVANTA EL PALACIO DE BELLAS ARTES, CUANDO EN 1882 SE ESTABLECE LA COMPAÑIA TELEFÓNICA MEXICANA. EN 1888 SE PUBLICA EL PRIMER DIRECTORIO TELEFÓNICO CON 800 NOMBRES DE SUSCRIPTORES DE LA CIUDAD DE MÉXICO, Y SE OTORGA LA PRIMERA CONCESIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE CASETAS PÚBLICAS. MÁS TARDE ESTA EMPRESA SE TRANSFORMARÍA EN LA COMPAÑIA TELEFÓNICA Y TELEGRÁFICA MEXICANA.

EN 1904 LLEGÓ A MÉXICO LA L.M. ERICSSON COMENZANDO A TRABAJAR CON SÓLO 500 SUSCRIPTORES. POSTERIORMENTE CAMBIARÍA TAMBIÉN SU RAZÓN SOCIAL POR EMPRESA DE TELÉFONOS ERICSSON, S. A.

EN 1914 AMBAS COMPAÑIAS SUMABAN YA 25.000 TELÉFONOS. DIEZ AÑOS DESPUÉS, TELÉFONOS ERICSSON LEVANTA EN LO QUE ES AHORA LA CENTRAL ROMA, LA PRIMERA CENTRAL AUTOMÁTICA DE AMÉRICA LATINA. EN 1925 SE OTROGAN A AMBAS COMPAÑIAS LAS CONCESIONES PARA EXTENDER EL SERVICIO LOCAL Y ESTABLECER EL DE LARGA DISTANCIA QUE SERÁ INAUGURADO EL 20 DE SEPTIEMBRE DE 1927 CON UNA LLAMADA ENTRE EL GENERAL PLUTARCO ELÍAS CALLES, PRESIDENTE DE MÉXICO, Y EL SEÑOR CALVIN --

COOLIDGE, PRESIDENTE DE LOS ESTADOS UNIDOS, DESDE SUS RESPECTIVAS CAPITALS.

POCO A POCO, EN EL INTERIOR DE LA REPÚBLICA SE VAN INTERCOMUNICANDO LOS DOS SISTEMAS QUE OPERABAN EN EL PAÍS, HASTA QUE EN 1947 SE CONCLUYE CON LA INAUGURACIÓN DE LA INTERCOMUNICACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL. EN ESE MISMO AÑO LA COMPAÑÍA DE TELÉFONOS ERICSSON SE CONSTITUYE EN TELÉFONOS DE MÉXICO, S. A., PROPORCIONANDO EL SERVICIO EL 1º DE ENERO DE 1948 CON UN SISTEMA DE 139,000 APARATOS TELEFÓNICOS. EN 1950 LLEGA LA FUSIÓN TOTAL CUANDO TELÉFONOS DE MÉXICO ADQUIERE LA COMPAÑÍA TELEFÓNICA Y TELEGRÁFICA MEXICANA.

EL 20 DE AGOSTO DE 1958 SE DA UN PASO TRASCENDENTAL CUANDO UN GRUPO DE MEXICANOS ADQUIERE DE LA INTERNATIONAL TELEPHONE & TELEGRAPH CORP, DE LOS ESTADOS UNIDOS Y DE LA L. M. ERICSSON DE SUECIA, LAS ACCIONES DE TELÉFONOS DE MÉXICO PARA QUE UN SERVICIO DE TANTA IMPORTANCIA COMO EL TELEFÓNICO FUERA NETAMENTE NACIONAL.

A PARTIR DE 1960, DE ACUERDO CON LA POLÍTICA DE DESARROLLO DE LA EMPRESA, SE FIJARON METAS ESCALONADAS PARA INCREMENTAR TANTO EL SERVICIO LOCAL COMO EL DE LARGA DISTANCIA INCORPORANDO LAS MAS MODERNAS TÉCNICAS EN LO QUE SE REFIERE A EQUIPO, ASI COMO ADECUADOS SISTEMAS DE OPERACIÓN. COMO INDICE DE ESTE DESARROLLO, SE PUEDE MENCIONAR EL HECHO DE QUE EL AUMENTO DE APARATOS DURANTE EL PERIODO 1950-1959 FUE DE 192,000; EN EL PERIODO 1960-1965 FUE DE 285,000 APARATOS.

EN 1965 SE INSTALA EN EL D. F. LA PRIMERA CENTRAL AUTOMÁTICA DE L.D. (CENTRAL VICTORIA), POR MEDIO DE LA CUAL SE CURSA TANTO EL TRÁFICO AUTOMÁTICO "91" Y "95" (LADA NACIONAL E INTERNACIONAL) ASI COMO EL TRÁFICO ATENDIDO POR OPERADORAS "02".

AL INICIO DE LA DECADA DE LOS 70'S FUE NECESARIO INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE CONMUTACIÓN, PARA LO CUAL SE ADQUIRIÓ UNA CENTRAL SEMIELECTRÓNICA CON CONTROL POR PROGRAMA ALMACENADO, (AKE), LA MAS MODERNA DE SU EPOCA, QUE TENIA UNA CAPACIDAD CINCO VECES MAYOR --

QUE LAS CENTRALES QUE OPERABAN EN ESOS AÑOS.

EL 20 DE JULIO DE 1970 SE INAUGURA EL SERVICIO TELEFÓNICO AUTOMÁTICO QUE INICIÓ EL ENLACE ENTRE MÉXICO, ESTADOS UNIDOS Y CANADÁ. - ACTUALMENTE ESTAMOS COMUNICADOS POR LADA 91, 92, 95 Y 98 CON CIENTOS DE CIUDADES Y LOCALIDADES DEL PAÍS Y DEL RESTO DEL MUNDO, Y - POR LADA 95 Y 99 SE DA SERVICIO DE LLAMADAS DIRECTAS DE PERSONA A PERSONA.

DESTACA EN 1985 EL HECHO DE QUE LA TELEFONÍA MEXICANA SURGIÓ LA - PEOR CATÁSTROFE DE TODA SU HISTORIA, A CONSECUENCIA DE LOS SISMOS OCURRIDOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO EN EL MES DE SEPTIEMBRE. LA ZONA METROPOLITANA, QUE POSEE UNA DE LAS REDES TELEFÓNICAS MÁS EXTENSAS DEL MUNDO, QUEDÓ SIN UN SOLO CIRCUITO DE LARGA DISTANCIA Y CON 6 DE LAS 7 CENTRALES TELEFÓNICAS QUE LE PRESTABAN ESE SERVICIO, FUERA DE OPERACIÓN.

AFORTUNADAMENTE AL OCURRIR EL SISMO, SE ENCONTRABAN A PUNTO DE -- TERMINAR SU INSTALACIÓN O EN PRUEBAS FINALES VARIOS EQUIPOS QUE - AMPLIARÍAN LA CAPACIDAD DEL SISTEMA DEL DISTRITO FEDERAL, CON LO QUE FUE POSIBLE SUSTITUIR LOS EQUIPOS DESTRUIDOS. ASIMISMO SE ENCONTRABAN EN PROCESO DE INGENIERÍA O INSTALACIÓN NUEVAS CENTRALES DE LARGA DISTANCIA.

ÉSTOS PROYECTOS CONJUNTAMENTE CON LOS QUE SE GENERARON A PARTIR - DEL SISMO, PERMITIERON POR UNA PARTE RECUPERAR INTEGRAMENTE LA CAPACIDAD DE TRÁFICO DE LA RED TELEFÓNICA AL TERMINAR DICIEMBRE, Y QUE SE MANTENGA EL CRECIMIENTO.

EN 1985 TELÉFONOS DE MÉXICO LOGRÓ AVANCES IMPORTANTES COMO LO PODEMOS VER EN LOS SIGUIENTES DATOS CORRESPONDIENTES AL EJERCICIO SOCIAL DE ESE AÑO.

EL INCREMENTO DE APARATOS INSTALADOS EN RELACIÓN CON EL AÑO ANTERIOR FUE DE 515,000. QUEDANDO INTEGRADA LA RED CON 7.166,471 TELÉFONOS.

DENTRO DE LOS ASPECTOS DE CONSTRUCCIÓN, LA RED DE LARGA DISTANCIA SE INTEGRA POR 30,129,746 KILÓMETROS DE CIRCUITOS EN SERVICIO,

SE DOTÓ DEL SERVICIO A 190 POBLACIONES RURALES, POR LO QUE AL FINALIZAR EL AÑO, EL SISTEMA ENLAZABA 5,476 CIUDADES, Y POBLADOS DE LA REPÚBLICA,

EN EL AÑO 1988 SE HA LLEGADO A LA INSTALACIÓN DEL TELÉFONO 8,000,000. EL SISTEMA TELEFÓNICO CONSTA EN LA ACTUALIDAD CON MÁS DE -- 4,000,000 DE LÍNEAS PARA INTERCONECTAR ESTOS 8,000,000 DE APARATOS Y SIRVE A MÁS DE 6,000 POBLACIONES, LA RED CUENTA CON MÁS DE 100,000 CIRCUITOS DE LARGA DISTANCIA Y EL AÑO PASADO SE CURSARÓN-- MÁS DE 800 MILLONES DE LLAMADAS DE LARGA DISTANCIA DE LAS QUE 78 MILLONES FUERON INTERNACIONALES,

LA PLANTA TELEFÓNICA SE HA VENIDO MODERNIZANDO CONTINUAMENTE A -- TRAVÉS DE TODO ESTE PROCESO. DESDE 1983 SE INICIÓ LA DIGITALIZA-- CIÓN DE LOS EQUIPOS DE CONMUTACIÓN. EN LA ACTUALIDAD, EL 12% DE LAS LÍNEAS INSTALADAS SON DIGITALES Y EL 80% DE LAS QUE SE INSTALARÁN EN LOS DOS PRÓXIMOS AÑOS SERÁN DE ESTA TECNOLOGÍA. PARA EL AÑO 2000 EL 80% DE LA RED SERÁ DIGITAL.

DE IGUAL MANERA, SE HACE USO DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN MÁS MODERNOS, RADIOS DIGITALES Y FIBRAS ÓPTICAS, Y DESDE 1985 SE COMENZÓ A HACER USO DEL SATÉLITE MORELOS.

LOS SERVICIOS TELEFÓNICOS BÁSICOS ESTÁN ALTAMENTE AUTOMATIZADOS, Y SE ESTA INICIANDO LA PRESTACIÓN DE LOS PRIMEROS SERVICIOS DIGITALES A LOS ABONADOS DE: MARCACIÓN ABREVIADA, LLAMADA EN ESPERA, -- LLAMADA RECORDATORIO, Y MARCACIÓN POR TONOS. ASIMISMO, LA RED DIGITAL PERMITIRÁ OFRECER EL SERVICIO DE LADA 800, O SEA CON CARGO AL TELÉFONO DE DESTINO, DE GRAN UTILIDAD PARA LA COMERCIALIZA-- CIÓN DE PRODUCTOS Y SERVICIOS EN TODO EL PAÍS. SE HA INICIADO -- LA INTRODUCCIÓN DE LOS TELÉFONOS PÚBLICOS DE LARGA DISTANCIA AUTOMÁTICA, UTILIZANDO UNA NUEVA TECNOLOGÍA, QUE PERMITIRÁ AVANZAR MÁS RÁPIDAMENTE EN EL DESARROLLO DE LA TELEFONÍA RURAL, Y SE ESTAN INSTALANDO TELÉFONOS INDEPENDIENTES CON LÍNEA COMPARTIDA EN LAS GRANDES UNIDADES HABITACIONALES PARA PROPORCIONARLES EL SERVICIO A MENOR COSTO. ÉSTE AÑO EMPEZAR A UTILIZAR LA TECNOLOGÍA

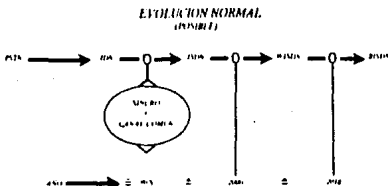
LA EVOLUCIÓN HACIA DICHA RED CONSIDERA TRES ETAPAS, EQUIVALENTES A LAS QUE SE ESTÁN SIGUIENDO EN OTRAS NACIONES, CONSIDERANDO LOS BIENIOS 1988-1989, 1990-1991 y 1992-1993.

1.4 EVOLUCION DE LA R.D.S.I.

R D S I

RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS.

POR LA DEFINICION DE CCITT, RDSI (ISDN) PUEDE SER TOMADA COMO UNA RED LA CUAL EVOLUCIONA A PARTIR DE UNA RED DE TELEFONIA DIGITAL INTEGRADA, RDI (IDN), HACIA UNA RED DE TELECOMUNICACIONES COMPLETAMENTE DIGITAL QUE PROVEE SERVICIOS A SUS USUARIOS TERMINALES UNIFORMEMENTE.



EL ACCESO INTEGRADO SERA FACTIBLE YA QUE EN LA MISMA RED SERA POSIBLE TRANSMITIR VOZ, DATOS, TEXTO E IMAGEN EN FORMA DIGITAL. LAS REDES TELEFONICAS ALREDEDOR DEL MUNDO HAN EVOLUCIONADO A TRAVES DE DOS DISTINTAS ETAPAS Y SE HAN ENCAMINADO HACIA UNA TERCERA. LA PRIMERA ETAPA FUE COMPLETAMENTE ANALOGICA, TANTO EN TRANSMISION COMO EN CONMUTACION. LA SEGUNDA ETAPA INICIO SU EVOLUCION CON LA INTRODUCCION DE LA TRANSMISION Y CONMUTACION DIGITAL, MIENTRAS QUE LA TERCERA ETAPA PROVEERA UNA CONEXION DIGITAL DE PUNTO A PUNTO.

TRES SON LOS FACTORES QUE MOTIVAN EL DESARROLLO HACIA R.D.S.I.

- 1) LA CREACION O EXPANSION DE LOS SERVICIOS.
- 2) ECONOMIA A COSTOS MAS BAJOS EN LOS SERVICIOS, DEBIDO A LAS CARACTERISTICAS DE LA RED DIGITAL.
- 3) NUEVA TECNOLOGIA, LA CUAL PUEDE PERMITIR EL OPRECIMIENTO DE NUEVOS SERVICIOS A UN COSTO RAZONABLE.

LA INTERACCION DE ESTOS FACTORES SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE FIGURA:



CARACTERISTICAS DE R.D.S.I.

LA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS, GENERALMENTE CONOCIDA COMO RDSI (ISDN), ES UNA MATERIA MUY DIVERSIFICADA. DIFERENCIAS EN EXPERIENCIA Y CONOCIMIENTOS TIENDEN A CREAR DIFERENTES CONCEPTOS.

POR CONVENIENCIA ALGUNAS CARACTERISTICAS DE RDSI LAS REVISAREMOS DIVIDIENDOLAS EN:

- A.- EL PUNTO DE VISTA DE LOS USUARIOS DE RDSI.
- B.- EL PUNTO DE VISTA DE LOS ADMINISTRADORES DE LA RED Y LOS PROVEEDORES DE SERVICIOS RDSI.
- C.- OTRAS CONSIDERACIONES DE RDSI.

A.- EL PUNTO DE VISTA DE LOS USUARIOS DE RDSI. COMO FUE DEFINIDA RDSI POR CCITT, OFRECE A LOS USUARIOS LAS SIGUIENTES FACILIDADES BASICAS:

- CONEXION DIGITAL DE PUNTO A PUNTO.
 - SOPORTE PARA UN AMPLIO RANGO DE SERVICIOS, VIA UN CONJUNTO LIMITADO DE INTERFACES ESTANDAR POR PARTE DEL CLIENTE.
- DESDE ESTE PUNTO DE VISTA, LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS DE RDSI DEBERAN SER LAS MAS IMPORTANTES.

B.- EL PUNTO DE VISTA DE LOS ADMINISTRADORES DE LA RED Y LOS PROVEEDORES DE SERVICIOS DE RDSI. DESDE ESTE PUNTO DE VISTA, LAS CARACTERISTICAS DE MAYOR INTERES DE ACUERDO CON LA DEFINICION DE CCITT DE RDSI SON:

- UTILIZACION DE LAS INVERSIONES YA HECHAS, LO CUAL SE APLICA A:

- LA RED TELEFONICA LOCAL, DONDE LAS REDES PRIVADAS SON UTILIZADAS TAMBIEN, PARA APOYAR LOS SERVICIOS NO TELEFONICOS.

- EL MANEJO DE TRAFICO Y LAS FUNCIONES DE OPERACION Y MANTENIMIENTO IMPLEMENTADAS EN LA RED DE TELEFONIA DIGITAL INTEGRADA, RDI.

- LAS REDES DE DATOS YA EXISTENTES, CUYO ACCESO PUEDE SER LLEVADO A CABO POR EL SISTEMA DE ACCESO COMUN DEL USUARIO RDSI.

- CONEXION GLOBAL, ENTRE EQUIPOS DE USUARIOS; ADAPTANDOSE A EL ESTANDAR DE LAS INTERFACES DEL CLIENTE, ESTO INDEPENDIENTEMENTE DEL FABRICANTE, PARA ASI TENER UNA VARIEDAD CASI ILIMITADA DE APLICACIONES.

- OPORTUNIDAD DE MEJORAR SERVICIOS. PUESTO QUE ADEMAS DE LOS SERVICIOS DE HOY EN DIA, NUEVOS SERVICIOS INTERNACIONALES ASI COMO NACIONALES PODRAN OBTENERSE.

- EL USO COMPARTIDO DE LOS RECURSOS DE LAS REDES, PUESTO QUE CON LOS DISPOSITIVOS INHERENTES DE RDSI ES POSIBLE COMPARTIR RECURSOS COMUNES DE LAS REDES A GRAN ESCALA PARA TODA CLASE DE CLIENTES, DE NEGOCIOS ASI COMO RESIDENCIALES Y PARA UN AMPLIO RANGO DE SERVICIOS.

- LA LIMITACION DE INVERSIONES PARA NUEVOS SERVICIOS. ESTO SERA DE INTERES ESPECIAL EN CASOS DONDE LOS ESTUDIOS DE MERCADO PARA NUEVOS SERVICIOS SON INCIERTOS.

OTRAS CONSIDERACIONES DE R.D.S.I.

LA EVOLUCION HACIA LA PROPAGACION EN RDSI'S OCURRIRA EN DIVERSAS FORMAS EN DIFERENTES PAISES DEBIDO A LA VARIEDAD DE CONDICIONES EN CADA UNO DE ELLOS. POR LO TANTO SE PREVEE QUE CADA RDSI MOSTRARA DIFERENCIAS EN CIERTOS ASPECTOS A NIVEL DE LA RED, COMO POR EJEMPLO LA DISTRIBUCION DE FUNCIONES ENTRE ELEMENTOS DE LA RED.

DENTRO DEL MISMO MARCO DE ESTANDARES COMUNES, CADA UNA DE ESTAS RDSI'S SERA OPTIMIZADA PARA IMPLANTAR LA RED MAS ECONOMICA. EJEMPLOS DE PARAMETROS DE RELEVANCIA PARA LA EVOLUCION DE RDSI SON:

- LA SITUACION DE LA LEGISLACION NACIONAL EN EL CAMPO DE LAS

TELECOMUNICACIONES.

- LA DEMANDA REAL Y ESTIMADA PARA EL CRECIMIENTO DE NUEVOS SERVICIOS.
- EL GRADO DE DIGITALIZACION EN LAS REDES TELEFONICAS.
- LA EXISTENCIA DE REDES DEDICADAS, COMO REDES DE DATOS.

EN LA MAYORIA DE LOS PAISES LA EVOLUCION HACIA RDSI SERA UN PROCESO GRADUAL Y TOMARA UN TIEMPO CONSIDERABLE.

DURANTE ESTE PERIODO DE TRANSICION HACIA LA MADURACION DE RDSI, ES IMPORTANTE QUE LAS REDES SOPORTEN CONTINUAMENTE LOS SERVICIOS OFRECIDOS Y PERMITAN UNA INTER-OPERABILIDAD ENTRE LOS EQUIPOS DE LOS USUARIOS EXISTENTES Y LOS NUEVOS.

CARACTERISTICAS TECNICAS DE RDSI.

CONCEPTUALMENTE RDSI OFRECE AL USUARIO UN ARREGLO STANDARD DE DOS CANALES DE TRANSMISION BASICOS DE 64 KILOBITS POR SEGUNDO (KBIT/S) JUNTO CON UN CANAL DE 16 KBIT/S.

ESTE ES EL LLAMADO "ACCESO BASICO".

64 KBIT/S ES SUFICIENTE PARA TRANSPORTAR ALTA CALIDAD DE VOZ, FACSIMILE, TEXTO, DATOS RAPIDAMENTE O TELEVISION DE BARRIDO LENTO. PARA DAR A USTEDES ALGUN CONCEPTO DE LO QUE ESTO SIGNIFICA; ESTA VELOCIDAD ES EQUIVALENTE A TRANSMITIR TEXTO A LA RAZON DE 8,000 CARACTERES POR SEGUNDO O DIGAMOS 4 O 5 PAGINAS DE MAQUINA DE ESCRIBIR. LAS TRANSMISIONES DE FACSIMILE SERAN TAN RAPIDAS COMO UNA MAQUINA COPIADORA Y LA CLARIDAD DE LA IMAGEN MEJORARA GRANDEMENTE.

ESTOS SON LOS LLAMADOS "CANALES - B", QUE PUEDEN SER USADOS EN TODAS O PARTE DE LAS DIFERENTES APLICACIONES, POR EJEMPLO UNO O AMBOS PUEDEN SER ENRUTADOS PERMANENTEMENTE A TRAVES DE LA RED Y USARSE COMO UN CIRCUITO DEDICADO.

EL CANAL LATERAL DE 16 KBIT/S ES BASICAMENTE USADO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CONEXIONES ENTRE USUARIOS DE LOS CANALES DE TRANSMISION BASICOS, SIN EMBARGO TAMBIEN TIENE POTENCIAL PARA LLEVAR OTROS SERVICIOS.

ESTE ES EL LLAMADO "CANAL-D".

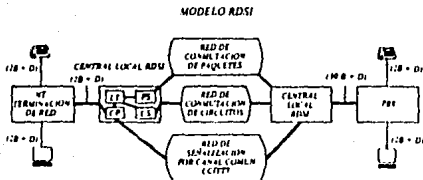
DE ESTA FORMA TENEMOS LA ESTRUCTURA FUNDAMENTAL DE RDSI,

$$\begin{aligned}
 & 2 B + D \\
 & 2 \times 64 \text{ KBIT/S} + 16 \text{ KBIT/S} = \\
 & = 144 \text{ KBIT/S.}
 \end{aligned}$$

ESTE ACCESO "BASICO" PERMITE A LA MISMA LINEA SER USADA SIMULTANEAMENTE PARA VOZ Y TRANSMISION DE DATOS.

VIRTUALMENTE TODOS LOS REQUERIMIENTOS DE VOZ Y DATOS PUEDEN SER SATISFECHOS POR 64 KBIT/S Y NO SERA RENTABLE HACER UNA INVERSION MAYOR PARA TENER UN ANCHO DE BANDA ADICIONAL REQUERIDO POR VIDEOCONFERENCIA Y CIERTOS SERVICIOS CON ALTO VOLUMEN DE DATOS.

PARA ABONADOS QUE REQUIEREN UNA RED CON UNA CAPACIDAD MUCHO MAYOR, UN "ACCESO PRIMARIO" DEBERA PREVERSE. EN LOS ESTADOS UNIDOS, JAPON Y CANADA ESTE SERA DE LOS MBIT/S (23 CANALES - B), MIENTRAS QUE EN MUCHOS OTROS PAISES EL ACCESO PRIMARIO SERA DE 2.0 MBIT/S (30 CANALES - B).



SERVICIOS Y TERMINALES DE VOZ Y DATOS EN R D S I .

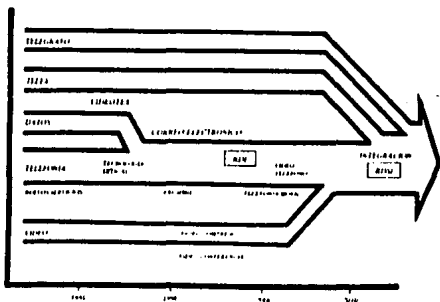
A CONTINUACION SE DESCRIBEN NUEVOS SERVICIOS Y PRODUCTOS QUE PUEDEN SER INTRODUCIDOS CON RDSI. TAMBIEN SE EJEMPLIFICAN PERSPECTIVAS FUTURAS DE TERMINALES, COMPUTADORAS PERSONALES Y SERVICIOS EN RDSI.

RDSI ESTA SIENDO ESPECIFICADO CON EL OBJETIVO DE MANEJAR LAS NECESIDADES ACTUALES, ASI COMO FUTURAS EN LAS TELECOMUNICACIONES. BASANDOSE FUNDAMENTALMENTE EN LA INTERFAZ ESTANDAR PARA LAS TERMINALES Y EL ACCESO COMUN A LA RED.

LOS PRIMEROS USUARIOS DE RDSI, SERAN LAS GRANDES ORGANIZACIONES, SIN EMBARGO, LOS CLIENTES RESIDENCIALES REPRESENTAN UN GRUPO IMPORTANTE, CON SERVICIOS COMO VIDEOTEX, LECTORES REMOTOS ENERGIA Y COMUNICACIONES DE COMPUTADORAS PERSONALES.

HOY EN DIA LA MAYORIA DE LAS CONECCIONES ESTAN LIMITADAS A 2.4 O 1.2 KBIT/S. LA INTRODUCCION DE RDSI CON SU ACCESO BASICO DE 64 KBIT/S DE CAPACIDAD REDUNDARA EN UNA GRAN MEJORIA. EL TIEMPO DE TRANSMISION DEL FACSIMILE AL OPERAR A 64 KBIT/S SE REDUCIRA CONSIDERABLEMENTE. LA MEJOR CALIDAD EN RESOLUCION Y TIEMPO DE RESPUESTA, HARA QUE EL VIDEOTEXTO SEA UN MEDIO MAS ATRACTIVO.

TENDENCIA DE INTEGRACION RDSI



ACCESO BASICO RDSI.

EL ACCESO BASICO RDSI PROVEE AL CONSUMIDOR DOS CANALES - B, TRA BAJANDO A 16 KBIT/S PARA SEÑALIZACION Y DATOS A BAJA VELOCIDAD. ESTO SIGNIFICA QUE UN ACCESO A RDSI PUEDE POR EJEMPLO SOPORTAR-SE SIMULTANEAMENTE:

- UNA TERMINAL OPERANDO A ALTA VELOCIDAD DE DATOS.
- UNA TERMINAL TELEFONICA CON VOZ.
- UN NUMERO DE TERMINALES DE DATOS A BAJA VELOCIDAD, TALES COMO:
 - . MEDIDOR ELECTRICO.
 - . TERMINALES PARA AUTORIZACION DE TARJETAS DE CREDITO.
 - . TERMINALES PARA ESTACIONES DE GAS.

A CONTINUACION SE DESCRIBEN LAS TERMINALES RDSI QUE ERICSSON ES TA DISEÑADO Y PLANEADO PROVEER EN LA INTRODUCCION DE RDSI EN AXE 10.

DIAVOX COURIER 1000.

DIAVOX COURIER 1000 ES UN NUEVO TELEFONO DIGITAL DISEÑADO PARA TRABAJAR EN RDSI.

LA PRIMERA VERSION DE DIAVOX COURIER 1000 TENDRA UN TECLADO ALFANUMERICO, DIRECTORIO TELEFONICO, ETC.

LA INFORMACION SE PRESENTARA AL USUARIO EN UN DISPLAY DE CRISTAL LIQUIDO.

DIAVOX COURIER 1000 CONTARA INICIALMENTE CON:

- AURICULAR.
- BOCINA CONTROLABLE.
- CAMPANA POR TONOS.
- TECLADO NORMAL Y ALFANUMERICO ADICIONAL.
- DISPLAY ALFANUMERICO.
- MEMORIA EXPANDIBLE.
- JACK PARA CONECTAR PERIFERICOS, COMO UN IMPRESOR.

EL DIAVOX COURIER 1000 ES FLEXIBLE Y NUEVAS FUNCIONES PUEDEN SER AGREGADAS CON SOLO INCREMENTAR LA UNIDAD DE MEMORIA. TAMBIEN ESTA PREPARADO PARA LA CONEXION DE PERIFERICOS, LAS SIGUIENTES UNIDADES PUEDEN SER CONECTADAS VIA EL PUERTO SERIE.

- IMPRESOR.
- PANTALLA.

- LECTOR DE TARJETAS.
- ADAPTADOR PARA TRANSFERENCIA DE SEÑALES EXTERNAS.

DESCRIPCION DE SERVICIOS.

RDSI TIENE UN PODEROSO CANAL DE SEÑALIZACION POR SEPARADO, EL CANAL -D. LAS SEÑALES PUEDEN SER ENVIADAS Y RECIBIDAS AUN CUANDO LOS CANALES -B ESTEN OCUPADOS POR VOZ O DATOS. A CONTINUACION SE DAN ALGUNOS EJEMPLOS DE LOS SERVICIOS QUE SE PUEDEN OFRECER A USUARIOS CON UN DIAVOX COURIER 1000.

EL NUMERO DEL ABONADO QUE LLAMA (NUMERO DE A) PUEDE SER MOSTRADO POR EL DISPLAY DEL ABONADO LLAMADO DURANTE EL ESTABLECIMIENTO DE UNA LLAMADA. SI EL ABONADO -A TIENE UNA TERMINAL AVANZADA RDSI, PUEDE TAMBIEN TRANSFERIR UNA FIRMA JUNTO CON EL NUMERO DE A, EN ESTE CASO LA FIRMA SERA TAMBIEN PRESENTADA EN EL DISPLAY DEL DIAVOX COURIER 1000.

LOS NUMEROS "A" RECIBIDOS PODRAN SER SIEMPRE ALMACENADOS EN LA MEMORIA DE DATOS. DE ESTA FORMA EL USUARIO PUEDE CHECAR QUIEN HA TRATADO DE HABLARLE !!!!

EN RDSI UNA LLAMADA ENTRANTE A UN ABONADO OCUPADO PUEDE SER TRATADA DE DIFERENTES FORMAS.

EL NUMERO DEL SUSCRIPTOR QUE LLAMA PUEDE SER PRESENTADO EN EL DISPLAY DEL SUSCRIPTOR DESEADO, AL MISMO TIEMPO QUE UN TONO ES ENVIADO. EL ABONADO PUEDE ENTONCES DECIDIR SI ACEPTARA LA NUEVA LLAMADA ENTRANTE (TERMINANDO LA QUE ESTA EN PROCESO O REteniENDO LA OTRA) O SER RECHAZADA. OTRA PERSONA PUEDE UTILIZAR EL OTRO CANAL -B Y CONTESTAR LA NUEVA LLAMADA.

ACTUALMENTE, EN ALGUNOS SISTEMAS, UN ABONADO -B TIENE LA POSIBILIDAD DE DESVIAR LAS LLAMADAS ENTRANTES A OTRO ABONADO. DIAVOX COURIER 1000 SOPORTARA ESTE SERVICIO. EL DISPLAY RECORDARA AL USUARIO QUE LA DESVIACION HA SIDO ORDENADA. CUANDO UN TELEFONO ES ALCANZADO POR UNA LLAMADA ENTRANTE DESVIADA, TANTO EL NUMERO DE A COMO EL DE B QUE SE SOLICITO SE MUESTRAN EN EL DISPLAY.

OTRA CARACTERISTICA QUE PUEDE SER PROVISTA EN CONEXION CON RDSI ES LA FUNCION "DISPLAY HOME METER". CON SOLO PRESIONAR UNA TECLA, EL USUARIO TIENE ACCESO A LO SIGUIENTE:

- LECTURA ACTUAL DEL MEDIDOR.
- NUMERO DE PULSOS DE LA ULTIMA LLAMADA.
- MUESTRA CONTINUA DE LOS PULSOS CONTADOS DE UNA LLAMADA SA--

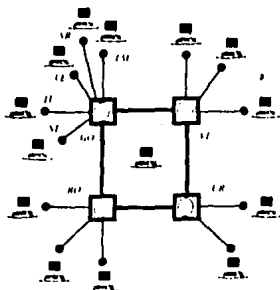
LIENTE.

EN ALGUNOS CASOS UN USUARIO DESEARA ENVIAR UN MENSAJE ESCRITO AL ABONADO -B, ESTO PUEDE SER HECHO USANDO LA FUNCION MANEJO DE MENSAJES, PRESIONANDOLA EL MENSAJE PUEDE SER INTRODUCIDO Y DESPUES INICIAR SU TRANSMISION INTRODUCIENDO EL NUMERO DE B. UN TONO AVISARA AL ABONADO RECEPTOR QUE UN MENSAJE HA SIDO RECIBIDO.

ADICIONALMENTE EL DIAVOX COURIER 1000 OFRECE TODOS LOS SERVICIOS QUE HOY SE OFRECEN.

PARA FINALIZAR ESTA PARTE, SE PUEDE AFIRMAR QUE TELMEX ESTA EN POSIBILIDAD DE INICIAR DE INMEDIATO LAS ACTIVIDADES QUE PERMITIRAN LA EVOLUCION HACIA RDSI EN FORMA SELECTIVA Y CONTROLADA, CON EL FIN DE TOMAR EXPERIENCIA, REVISAR CRITERIOS Y NORMAS, Y DETERMINAR LA DINAMICA Y TAMAÑO DEL MERCADO.

RED DE DATOS TELMEX



●
SEÑALIZACION ESTACIONES
□
SEÑALIZACION SERVIDORES

II. FIBRA OPTICA.

II.- FIBRA OPTICA

2.1.- TEORIA SOBRE FIBRA OPTICA

- NATURALEZA Y PROPAGACIÓN DE LA LUZ. PROPIEDADES CORPUSCULARES DE LAS ONDAS.

EN NUESTRA EXPERIENCIA DIARIA NO HAY NADA MISTERIOSO O AMBIGUO SOBRE LOS CONCEPTOS DE PARTÍCULA Y DE ONDA. UNA PIEDRA QUE CAE EN UN LAGO Y LA ONDULACIÓN QUE SE EXTIENDE DESDE EL PUNTO DE IMPACTO APARENTEMENTE SOLO TIENEN EN COMÚN LA CAPACIDAD DE TRANSPORTAR ENERGÍA Y MOMENTUN DE UN LUGAR A OTRO. LA FÍSICA CLÁSICA, QUE REFLEJA LA "REALIDAD FÍSICA" DE NUESTRAS IMPRESIONES SENSORIALES, TRATA A LAS PARTÍCULAS Y A LAS ONDAS COMO COMPONENTES SEPARADOS DE ESTA REALIDAD. LA MECÁNICA DE LAS PARTÍCULAS Y LA ÓPTICA ONDULATORIA HAN SIDO TRADICIONALMENTE DISCIPLINAS INDEPENDIENTES, CADA UNA DE ELLAS CON SU PROPIA CADENA DE EXPERIMENTOS E HIPÓTESIS.

LA REALIDAD FÍSICA QUE PERCIBIMOS PROVIENE DE FENÓMENOS QUE OCURREN EN EL MUNDO MICROSCÓPICO DE LOS ÁTOMOS Y LAS MOLÉCULAS, DE LOS ELECTRONES Y LOS NÚCLEOS, PERO EN ESTE MUNDO NO HAY PARTICULAS NI ONDAS EN EL SENTIDO QUE LE APLICAMOS A ESTOS TÉRMINOS. CONSIDERAMOS A LOS ELECTRONES COMO PARTÍCULAS PORQUE POSEEN CARGA Y MASA Y SE COMPORTAN SEGÚN LAS LEYES DE LA MECÁNICA DE PARTÍCULAS EN INSTRUMENTOS TAN COMUNES COMO EL CINESCOPIO DE TELEVISIÓN. VEREMOS, SIN EMBARGO, QUE HAY TANTAS PRUEBAS A FAVOR DE LA INTERPRETACIÓN DE UN ELECTRÓN EN MOVIMIENTO COMO UNA MANIFESTACIÓN ONDULATORIA COMO LAS HAY EN FAVOR DE LA IDEA DE QUE SE TRATA DE UNA PARTÍCULA. CONSIDERAMOS LAS ONDAS -- ELECTROMAGNÉTICAS, COMO ONDAS PORQUE, BAJO CONDICIONES ADECUADAS, DAN LUGAR A FENÓMENOS DE DIFRACCIÓN, INTERFERENCIA Y POLARIZACIÓN. DEL MISMO MODD, VEREMOS QUE EN OTRAS CONDICIONES LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS SE COMPORTAN COMO SI CONSIDERARAN EN UN FLUJO DE PARTÍCULAS. JUNTO CON LA REALIDAD ESPECIAL, LA DUALIDAD ONDA-PARTÍCULA ES FUNDAMENTAL PARA COMPRENDER LA FÍSICA MODERNA.

A FINALES DEL SIGLO XIX UNA SERIE DE EXPERIMENTOS PUSIERON DE MANIFIESTO QUE LA SUPERFICIE DE UN METAL EMITE ELECTRONES CUANDO INCIDE SOBRE ÉL LUZ DE FRECUENCIA SUFICIENTEMENTE ELEVADA (GENERALMENTE ES NECESARIA LUZ ULTRAVIOLETA, EXCEPTO PARA LOS METALES ALCALINOS). ESTE FENÓMENO SE CONOCE COMO EFECTO FOTOELÉCTRICO.

LA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA DE LA LUZ EXPLICA TAL CANTIDAD DE FENÓMENOS QUE DEBE CONTENER ALGO DE VERDAD. SIN EMBARGO, ESTA TEORÍA ESTÁ EN COMPLETA OPOSICIÓN CON EL EFECTO FOTOELÉCTRICO. EN 1905, ALBERT EINSTEIN ENCONTRÓ QUE LA PARADOJA QUE PRESENTA EL EFECTO FOTOELÉCTRICO PODÍA RESOLVERSE ÚNICAMENTE SI SE TENÍA EN CUENTA UNA IDEA PROPUESTA CINCO AÑOS ANTES POR EL FÍSICO TEÓRICO ALEMÁN MAX PLANCK. PLANCK INTENTÓ EXPLICAR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN QUE EMITEN LOS CUERPOS A TEMPERATURAS SUFICIENTEMENTE ELEVADAS COMO PARA SER LUMINOSOS, OBTUVO UNA FORMULA DEL ESPECTRO DE ESTA RADIACIÓN (ES TO ES, EL BRILLO RELATIVO DE LOS DIVERSOS COLORES PRESENTES) EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL CUERPO, QUE CONCORDABA CON LOS DATOS EXPERIMENTALES. SUPUSO QUE LA RADIACIÓN SE EMITÍA DISCONTINUAMENTE COMO PEQUEÑOS PAQUETES DE ENERGÍA, QUE RECIBEN EL NOMBRE DE CUANTOS.

PLANCK SUPUSO QUE LA ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA QUE PRODUCE UN OBJETO CALIENTE EMERGE DE ÉL EN FORMA INTERMITENTE, PERO NO DUDÓ DE QUE SU PROPAGACIÓN A TRAVÉS DEL ESPACIO FUESE CONTÍNUA EN FORMA DE ONDAS ELECTROMAGÉTICAS. EINSTEIN PROPUSO QUE LA LUZ NO SOLAMENTE SE EMITÍA EN FORMA DE CUANTOS, SINO QUE TAMBIÉN SE PROPAGABA COMO CUANTOS INDIVIDUALES.

EL EFECTO FOTOELÉCTRICO PROPORCIONA UNA PRUEBA CONVINCENTE DE QUE LOS FOTONES LUMINOSOS PUEDEN TRANSFERIR ENERGÍA A LOS ELECTRONES. ¿ ES POSIBLE EL PROCESO INVERSO?, ES DECIR, ¿ SE PUEDE TRANSFORMAR TODA O PARTE DE LA ENERGÍA CINÉTICA DE UN ELECTRÓN EN MOVIMIENTO, EN UN FOTÓN?. EL FENÓMENO INVERSO DEL EFECTO FOTOELÉCTRICO NO SOLAMENTE ES POSIBLE, SINO QUE DA LA CASUALIDAD DE QUE SE DESCUBRIÓ (AUNQUE

NO SE COMPRENDIÓ), ANTES DE QUE SALIERAN A LA LUZ LOS TRABAJOS DE (PLANCK Y EINSTEIN).

EN 1895, WILHELM ROENTGEN HIZO LA OBSERVACIÓN DE QUE UNA RADIA-
CIÓN ALTAMENTE PENETRANTE DE NATURALEZA DESCONOCIDA SE PRODUCE --
CUANDO ELECTRONES RÁPIDOS INCIDEN SOBRE LA MATERIA. ESTOS RAYOS-
X TENIAN LA PROPIEDAD DE PROPAGARSE EN LÍNEA RECTA, AÚN A TRAVÉS-
DE UN CAMPO ELÉCTRICO O MAGNÉTICO, DE ATRAVESAR FÁCILMENTE MATE--
RIAS OPACAS, DE HACER RELUCIR SUSTANCIAS FOSFORECENTES Y DE IMPRE-
SIONAR PLACAS FOTOGRAFICAS. CUANTO MÁS RÁPIDO ES EL ELECTRÓN INI-
CIAL, MÁS PENETRANTES SON LOS RAYOS X QUE RESULTAN, Y CUANTO MA--
YOR ES EL NÚMERO DE ELECTRONES, MAYOR ES LA INTENSIDAD DEL HAZ DE
RAYOS X.

PROPIEDADES ONDULATORIAS DE LAS PARTICULAS

RESTROSPECTIVAMENTE, PUEDE PARECER EXTRAÑO QUE TRANSCURRIERAN DOS
DÉCADAS ENTRE EL DESCUBRIMIENTO DE LAS PROPIEDADES CORPUSCULARES-
DE LAS ONDAS DE 1905, Y LA HIPÓTESIS DE QUE LAS PARTÍCULAS PODÍAN
COMPORTARSE COMO ONDAS, EN 1924. SIN EMBARGO, UNA COSA ES SUGE--
RRIR UNA HIPÓTESIS REVOLUCIONARIA PARA EXPLICAR DE OTRA MANERA DA-
TOS OSCUROS Y OTRA MUY DISTINTA CONSTRUIR HIÓTESIS IGUALMENTE RE-
VOLUCIONARIA EN AUSENCIA DE UNA BASE EXPERIMENTAL FIRME. ESTO ÚL-
TIMO ES EXACTAMENTE LO QUE HIZO LOUIS DE BROGLIE EN 1924, CUANDO-
PROPUSO QUE LA MATERIA POSEÍA PROPIEDADES TANTO ONDULATORIAS COMO
CORPUSCULARES. TAN DIFERENTE DEL QUE PREVALECÍA EN EL CAMBIO DE-
SIGLO ERA EL CLIMA INTELECTUAL EN AQUEL TIEMPO, QUE LA IDEA DE DE
BROGLIE RECIBIÓ UNA ATENCIÓN INMEDIATA Y RESPETUOSA, A DIFERENCIA
DE LA ANTERIOR TEORÍA CUÁNTICA DE LA LUZ, DE PLANCK Y EINSTEIN --
QUE DIFÍCILMENTE CREÓ INQUIETUD A PESAR DE SU SORPRENDENTE CONFIR-
MACIÓN EXPERIMENTAL. LA EXISTENCIA DE LAS ONDAS DE DE BROGLIE SE
DEMOSTÓ EN 1927 Y EL PRINCIPIO DE DUALIDAD QUE REPRESENTAN SIRVIÓ
DE PUNTO DE PARTIDA EN LOS AÑOS PREVIOS AL DESARROLLO AFORTUNADO-
DE LA MECÁNICA CUÁNTICA DE SCHÖDINGER.

EL HECHO DE QUE UN CUERPO EN MOVIMIENTO SE CONSIDERE COMO UN GRUPO DE ONDAS DE BROGLIE EN VEZ DE COMO UNA ENTIDAD LOCALIZADA, SUGIERE QUE EXISTE UN LÍMITE FUNDAMENTAL PARA LA PRECISIÓN CON QUE-
PODEMOS MEDIR SUS PROPIEDADES CORPUSCULARES. A PESAR DE LA ABUN-
DANCIA DE DEMOSTRACIONES EXPERIMENTALES, PARA ALGUNOS DE NOSOTROS
RESULTA DIFÍCIL APRECIAR CÓMO LO QUE NORMALMENTE CONSIDERAMOS UNA
ONDA PUEDE SER TAMBIÉN UNA PARTÍCULA, Y VICEVERSA. EL PRINCIPIO-
DE INCERTIDUMBRE PROPORCIONA UNA PERSPECTIVA VÁLIDA SOBRE ESTA --
CUESTIÓN QUE HACE ESTABLECER ESTAS AFIRMACIONES.

NO HAY MANER DE PODER DEDUCIR LA TEORÍA CUÁNTICA A PARTIR DE LA -
ONDULATORIA O VICEVERSA.

EN CADA CASO PARTICULAR, LA LUZ MUESTRA UNA NATURALEZA YA SEA ON-
DULATORIA O CORPUSCULAR, PERO NUNCA AMBAS A LA VEZ. EL MISMO HAZ
LUMINOSO QUE SE DIFRACTA EN UNA RETÍCULA PUEDE SER MOTIVO DE LA -
EMISIÓN DE FOTOELECTRONES EN UNA SUPERFICIE ADECUADA, PERO ESTOS-
PROCESOS OCURREN INDEPENDIENTEMENTE. LAS TEORÍAS CUÁNTICAS Y ON-
DULATORIA DE LA LUZ SE COMPLEMENTAN MUTUAMENTE.

LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EXPLICAN LO OBSERVADO AL PROPAGARSE -
LA LUZ, MIENTRAS QUE LOS FOTONES EXPLICAN LA OBSERVACIÓN SEGÚN LA
CUAL HAY TRANSFERENCIA DE ENERGÍA ENTRE LA LUZ Y LA MATERIA. EN-
REALIDAD, NO TENEMOS OTRA ALTERNATIVA QUE CONSIDERAR A LA LUZ CO-
MO ALGO QUE SE MANIFIESTA EN OCASIONES COMO UNA CORRIENTE DE FOTO-
NES DISCRETOS, O BIÉN COMO UN TREN DE ONDAS EL RESTO DEL TIEMPO. -
LA "VERDADERA NATURALEZA" DE LA LUZ YA NO ES ALGO QUE SE PUEDE --
CONCEPTUAR EN TÉRMINOS DE LA EXPERIENCIA COTIDIANA Y DEBEMOS CON-
SIDERAR LAS TEORÍAS CON TODAS SUS CONTRADICCIONES, COMO LAS MÁS -
APROXIMADAS QUE PODEMOS TENER PARA UNA DESCRIPCIÓN DE LA LUZ.

- REFLEXION Y REFRACCION -

CONSIDERE UNA ONDA PLANA QUE SE PROPAGA EN UN MEDIO (+) EN LA DIRECCIÓN DEL VECTOR \vec{AI} (FIGURA 1). CUANDO LA ONDA ALCANZA LA SUPERFICIE PLANA AB QUE SEPARA EL MEDIO 1 DEL MEDIO 2, SE TRANSMITE UNA ONDA AL SEGUNDO MEDIO Y OTRA REGRESA AL MEDIO +.

ÉSTAS SON LAS ONDAS REFRACTADAS Y REFLEJADAS RESPECTIVAMENTE. - CUANDO EL ÁNGULO DE INCIDENCIA ES OBLICUO, LAS ONDAS REFRACTADAS SE PROPAGAN EN LA DIRECCIÓN DEL VECTOR \vec{AT} , DIFERENTE DE \vec{AI} Y LA REFLEJADA SE PROPAGA EN LA DIRECCIÓN QUE INDIQUE EL VECTOR \vec{AR} SIMÉTRICO DE \vec{AI} CON RESPECTO DE LA SUPERFICIE. LA FIGURA 2 INDICA LA CORRESPONDIENTE SITUACIÓN PARA LOS RAYOS. LOS ÁNGULO θ_i , θ_t Y θ_r , SE LLAMAN ÁNGULOS DE INCIDENCIA, REFRACCIÓN Y REFLEXIÓN RESPECTIVAMENTE.

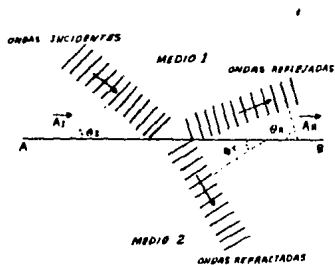


FIG. 1

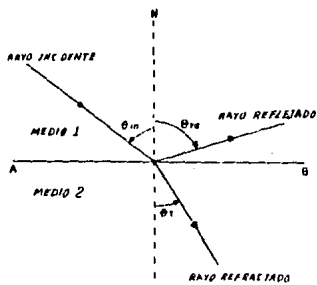


FIG. 2

LAS DIRECCIONES DE LOS 3 VECTORES \vec{AI} , \vec{AT} Y \vec{AR} , ESTÁN RELACIONADAS POR LAS SIGUIENTES LEYES EXPERIMENTALES:

- LAS DIRECCIONES DE INCIDENCIA, REFRACCIÓN Y REFLEXIÓN ESTÁN EN UN MISMO PLANO, LLAMADO PLANO DE INCIDENCIA, QUE ES NORMAL A LA SUPERFICIE DE SEPARACIÓN Y POR LO TANTO CONTIENE LA NORMAL N A LA SUPERFICIE.

- EL ÁNGULO DE INCIDENCIA ES IGUAL AL ÁNGULO DE REFLEXIÓN.

$$\theta_i = \theta_r \text{ - - - - - (A)}$$

- EL SENO DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA ENTRE EL SENO DEL ÁNGULO DE REFRACCIÓN ES CONSTANTE.

$$\frac{\text{SEN } \theta_i}{\text{SEN } \theta_t} = n_{21} \text{ - - - - - (B)}$$

LA CONSTANTE n_{21} SE LLAMA ÍNDICE DE REFRACCIÓN RELATIVO. EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN RELATIVO DE DOS MEDIOS ES IGUAL AL COCIENTE ENTRE LAS VELOCIDADES DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA EN LOS MEDIOS.

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} \text{ - - - - - (C)}$$

TOMANDO COMO PATRÓN EL VACÍO v , DESIGNANDO EL "c" LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA EN EL VACÍO, SE DEFINE EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN ABSOLUTO DE UN MEDIO COMO:

$$n = \frac{c}{v} \text{ - - - - - (D)}$$

PARA ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS $c = 3 \times 10^8$ m/s. LUEGO PARA UN MEDIO 1 SU ÍNDICE DE REFRACCIÓN ABSOLUTO ES:

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \text{ - - - - - (E)}$$

PARA UN MEDIO 2:

$$n_2 = \frac{c}{v_2} \text{ ----- (f)}$$

DE MODO QUE EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN RELATIVO DE DOS MEDIOS ES IGUAL AL COCIENTE DE SUS ÍNDICES DE REFRACCIÓN ABSOLUTOS:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c}{v_2} = \frac{v_1}{c} = \frac{v_1}{v_2} \text{ ----- (g)}$$

USANDO (G) SE PUEDE ESCRIBIR LA LEY DE SNELL COMO:

$$\frac{\text{SEN } \theta_1}{\text{SEN } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \text{ ----- (h)}$$

EN EL FENÓMENO DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN PUEDEN PRESENTARSE DOS CASOS:

SI $v_2 < v_1$, ENTONCES $n_2 > n_1$ DE ESTA MANERA:

$$\frac{\text{SEN } \theta_1}{\text{SEN } \theta_2} > 1 \text{ (} n_{21} > 1 \text{) ----- (i)}$$

DE DONDE SE DEDUCE QUE $\text{SEN } \theta_1 > \text{SEN } \theta_2$ ó $\theta_1 > \theta_2$ COMO SE OBSERVA EN LA FIGURA 3.

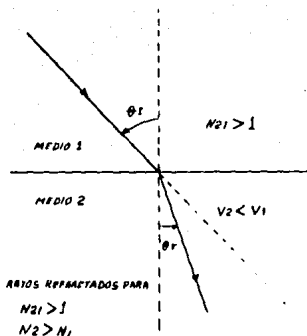


FIG. 3a

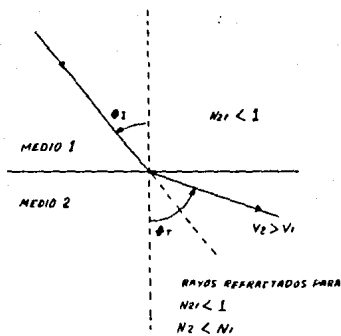


FIG. 3b

- AHORA SI $v_2 > v_1$ ENTONCES $n_2 < n_1$ DE ESTA FORMA:

$$\frac{\text{SEN } \theta_i}{\text{SEN } \theta_r} < 1 \quad (n_{21} < 1) \quad \text{--- (j)}$$

POR LO QUE EL $\text{SEN } \theta_i$ $\text{SEN } \theta_r$ Ó θ_i θ_r COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 3 B. EN ESTE SEGUNDO CASO, ESTO ES, $n_{21} < 1$ SE PUEDE DAR UNA SITUACIÓN ESPECIAL, CUANDO:

$$\text{SEN } \theta_i = n_{21} \quad \text{--- (k)}$$

SE OBTIENE DE LA ECUACIÓN (b) QUE $\text{SEN } \theta_T = 1$ ó $\theta_T = 90^\circ$, LO CUAL INDICA QUE EL RAYO REFRACTADO ES PARALELO A LA SUPERFICIE. EL ÁNGULO θ_i DADO POR LA ECUACIÓN (k) SE LLAMA ÁNGULO CRÍTICO Y SE DESIGNA CON θ_c . LA SITUACIÓN GEOMÉTRICA SE ILUSTR EN LA FIGURA 4 A.

DE LA LEY DE SNELL Y ECUACIÓN (h), SE TIENEN QUE:

$$\frac{n_1}{n_2} = \text{SEN } \theta_i = \text{SEN } \theta_T \quad \text{--- (L)}$$

SI $\theta_i = \theta_c$, EL ÁNGULO $\theta_T = 90^\circ$

$$\frac{n_1}{n_2} \text{SEN } \theta_c = 1 \quad \text{--- (M)}$$

PERO SI $\theta_i > \theta_c$

$$\frac{n_1}{n_2} \text{SEN } \theta_i > 1 \quad \text{--- (N)}$$

POR LO QUE SE DEDUCE QUE $\text{SEN } \theta_T > 1$, LO CUAL ES IMPOSIBLE. POR CONSIGUIENTE, EN ESTA SITUACIÓN NO HAY RAYO REFRACTADO Y SE DICE QUE SE PRODUCE UNA REFLEXIÓN INTERNA TOTAL. ÉSTA SITUACIÓN PUEDE OCURRIR, POR EJEMPLO, CUANDO LA LUZ PASA DEL VIDRIO AL AIRE. ESE TRÍCTAMENTE HABLANDO, COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 4B. EXISTE UNA ONDA QUE SE PROPAGA EN EL SEGUNDO MEDIO PARALELAMENTE A LA SUPERFICIE, PERO LA AMPLITUD DE ESTA DECRECE MUY RÁPIDAMENTE A MEDIDA QUE SE INTERNA EN EL SEGUNDO MEDIO QUEDANDO CONFINADA A UNA DELGADA CAPA A LO LARGO DE LA SUPERFICIE. NO HAY NINGUNA TRANSFERENCIA

DE POTENCIA AL MEDIO 2, POR ÉSTA ONDA YA QUE TODA LA POTENCIA ES REFLEJADA.

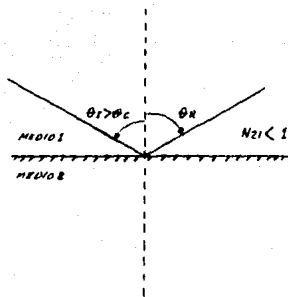
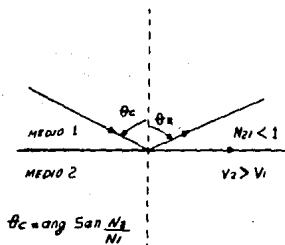


FIG. 4 A. REFLEXIÓN INTERNA TOTAL.

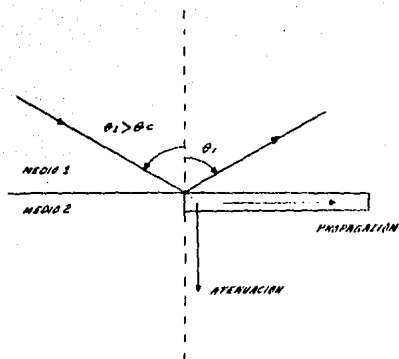


FIG. 4 B. LA REFLEXIÓN INTERNA TOTAL OCURRE CUANDO $n_2 < 1$ Y θ_1 ES MAYOR QUE EL ANGULO CRÍTICO θ_c .

OPTICA DE FIBRAS

TUBO DE LUZ RECTO.

UN FILAMENTO LARGO DE DIÁMETRO PEQUEÑO, HECHO DE UN MATERIAL --
 TRANSPARENTE (VIDRIO O CUARZO), PUEDE GUIÁR LA LUZ A LO LARGO DE --
 UNA TRAYECTORIA RECTA SI LA LUZ DENTRO DE ESTE TUBO INCIDE EN --
 LAS PAREDES A UN ÁNGULO MAYOR QUE EL ÁNGULO CRÍTICO ($\text{SEN } \theta_c = \frac{N_0}{N}$):

$$\text{SEN } \theta_2 = \text{COS } \theta_1 \quad \text{SEN } \theta_c = \frac{N_0}{N}$$

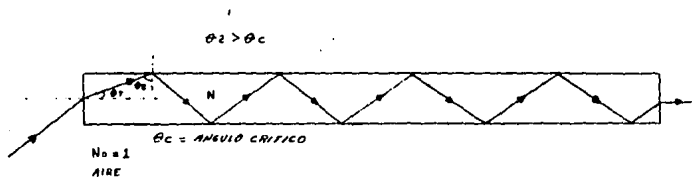


FIG. 5.

BAJO ESTA SITUACIÓN LOS RAYOS DE LUZ SUFREN UNA REFLEXIÓN INTERNA TOTAL QUEDANDO CONFINADOS EN EL TUBO MIENTRAS ÉSTE EXISTA. - COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 5. EL ÁNGULO DE INCIDENCIA ESTÁ RELACIONADO CON EL ÁNGULO DE TRANSMISIÓN POR LA LEY DE SNELL.

$$\frac{\text{SEN } \theta_i}{\text{SEN } \theta_t} = \frac{n}{n_0}$$

CON $n_0 = 1$ $\text{SEN } \theta_t = \frac{1}{n} \text{SEN } \theta_i$

DE MANERA QUE (\bar{n}) SE CONVIERTE EN:

$$\text{COS } \theta_t = \sqrt{1 - \text{SEN}^2 \theta_t} = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{n}\right)^2 \text{SEN}^2 \theta_i}$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{1}{n}\right)^2 \text{SEN}^2 \theta_i} \geq \frac{1}{n} \text{----- (o)}$$

DEJANDO A (n) TENEMOS QUE:

$$1 - \left(\frac{1}{n}\right)^2 \text{SEN}^2 \theta_i \geq \frac{1}{n^2}$$

$$n^2 - \text{SEN}^2 \theta_i \geq 1$$

$$n^2 \geq 1 + \text{SEN}^2 \theta_i \text{----- (p)}$$

SI ESTA CONDICIÓN ES SATISFECHA POR UN ÁNGULO DE INCIDENCIA DE 90° TODA LA LUZ INCIDENTE SERÁ PASADA POR EL TUBO, LO CUAL REQUIERE QUE:

$$n^2 \geq 2 \implies n \geq \sqrt{2} \text{----- (q)}$$

LA MAYORÍA DE LOS VIDRIOS TIENEN UN $n=1.5$ DE MANERA QUE ESTA CONDICIÓN ES FÁCILMENTE SATISFECHA.

LA LUZ TAMBIÉN PUEDE SER GUIADA A LO LARGO DE UNA TRAYECTORIA TORUOSA SI EL TUBO ES DOBLADO, COMO LA TRAYECTORIA SEMICIRCULAR -- QUE MUESTRA EN LA FIGURA 6. EL ÁNGULO MÍNIMO A LA NORMAL RADIAL PARA LA LUZ INCIDENTE MOSTRADA, ESTÁ EN EL PUNTO A. ESTE ÁNGULO EN TÉRMINOS DEL RADIO DE DOBLÉZ Y DEL ANCHO DEL TUBO DE LUZ DEBE EXCEDER EL ÁNGULO CRÍTICO:

$$\text{SEN } \theta_N = \frac{R}{R + D} \quad \text{SEN } \theta_C \text{ ----- (R)}$$

DE MANERA QUE:

$$\frac{R / D}{(R/D) + 1} = \frac{1}{n} \text{ ----- (S)}$$

DESPEJANDO R / D SE TIENE QUE:

$$R/D = \frac{1}{n-1} \text{ ----- (T)}$$

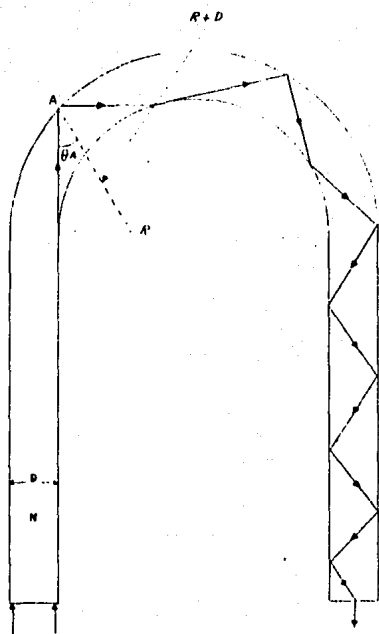


FIGURA. 6

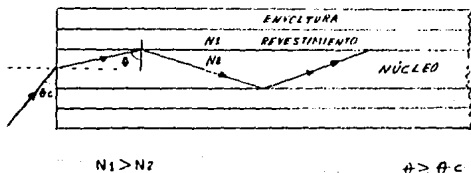
ESTRUCTURA BASICA DE UNA FIBRA OPTICA

UNA FIBRA ÓPTICA ESTÁ COMPUESTA POR:

UN NÚCLEO (CARA) QUE ES LA SECCIÓN CENTRAL Y PRINCIPAL, DONDE VIAJAN LOS RAYOS DE LUZ.

UN REVESTIMIENTO (CLADDING) QUE ES UNA CAPA QUE RODEA AL NÚCLEO - Y FUNCIONA COMO UN REFLECTOR QUE ATRAPA LOS RAYOS EN EL NÚCLEO.

UNA ENVOLTURA (CUATING), QUE ES UN MATERIAL PROTECTOR ADHERIDO SOBRE EL REVESTIMIENTO PARA PRESERVAR LA FUERZA DE LA FIBRA Y EVITAR PÉRDIDAS AL PROPORCIONAR UNA PROTECCIÓN CONTRA DAÑOS MECÁNICOS (RAYADURAS, RASPADURAS, DESGASTE, ETC.) PROTECCIÓN CONTRA LA HUMEDAD Y AMBIENTE QUE PUEDEN DEBILITAR LA FIBRA. LAS ENVOLTURAS ESTÁN HECHAS DE DIFERENTES TIPOS DE PLÁSTICOS (FLUORUROS, POLÍMEROS, TEFLÓN, KINAR, POLIURETANO, ETC.).



N = ÍNDICE DE REFRACCIÓN

θ = ÁNGULO DE INCIDENCIA

FIGURA 1.

LOS MATERIALES DE QUE ESTÁN CONSTITUIDOS EL NÚCLEO Y EL REVESTIMIENTO TIENEN ÍNDICES DE REFRACCIÓN LIGERAMENTE DIFERENTES, ESTOS, LA LUZ VIAJA A DIFERENTES VELOCIDADES A TRAVÉS DE ELLOS.

EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL NÚCLEO ES LIGERAMENTE MAYOR QUE EL DEL REVESTIMIENTO.

DEBIDO A ÉSTA PEQUEÑA DIFERENCIA EN LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN SE PUEDE PRODUCIR UNA REFLEXIÓN INTERNA TOTAL.

LOS RAYOS DE LUZ QUE INCIDEN EN LA FRONTERA DE ÉSTOS DOS MATERIALES A EL ÁNGULO CRÍTICO θ_c , O ÁNGULOS MAYORES QUE EL CRÍTICO SERÁN REFLEJADOS TOTALMENTE HACIA EL NÚCLEO.

DE CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS SE PUEDE DEDUCIR QUE SI EL RAYO SE REFLEJA HACIA EL NÚCLEO EN SU PRIMER CHOQUE CON LA FRONTERA, CONTINUARÁ CONFIANDO INDEFINIDAMENTE, CON TAL DE QUE NO HAYA CURVAS AGUDAS EN LA FIBRA. TALES CURVAS PUEDEN SER EVITADAS, ENCERRANDO CUIDADOSAMENTE VARIAS FIBRAS EN UN CABLE DE ENVOLTURA RÍGIDA.

LOS RAYOS DE LUZ QUE INCIDEN EN LA FRONTERA ENTRE EL NÚCLEO Y EL REVESTIMIENTO A UN ÁNGULO MENOR QUE EL ÁNGULO CRÍTICO PASAN A TRAVÉS DE ÉSTA SIN SER REFLEJADAS, REFRACTÁNDOSE Y PERDIÉNDOSE EN EL REVESTIMIENTO POR ABSORCIÓN, DIFUSIÓN O DISPERSIÓN.

DE LA FIGURA 2 SE OBSERVA QUE PARA QUE LA LUZ SEA GUIADA:

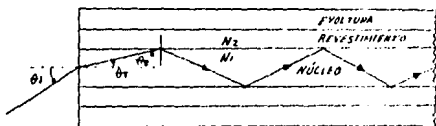


FIGURA 2

AIRE $n_1 = 1$

$$\text{SEN } \theta_2 = \text{Cos } \theta_T \geq \text{SEN } \theta_C$$

POR LO TANTO:

$$\text{SEN } \theta_C = \frac{n_2}{n_1} \text{ ----- (1)}$$

BAJO ÉSTAS CONDICIONES LOS RAYOS DE LUZ SUFREN UNA REFLEXIÓN INTERNA TOTAL, SIENDO CONFINADOS EN EL NÚCLEO DE LA FIBRA MIENTRAS ÉSTA EXISTA.

EL ÁNGULO DE INCIDENCIA DEL RAYO DE LUZ QUE CHOCA EN EL NÚCLEO DES DE EL AIRE ESTÁ RELACIONADO CON EL ÁNGULO DE REFRACCIÓN DE LA PORCIÓN DE LUZ QUE SE TRANSMITE POR LA LEY DE SNELL.

$$\frac{\text{SEN } \theta_I}{\text{SEN } \theta_T} = \frac{n_1}{n_2} \text{ ----- (2)}$$

COMO $n_2 = 1$

$$\text{SEN } \theta_T = \frac{1}{n_1} \text{ SEN } \theta_I \text{ ----- (3)}$$

DE MANERA QUE (1) SE CONVIERTE EN :

$$\text{Cos } \theta_T = \sqrt{1 - \text{SEN}^2 \theta_T} = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{n_1}\right)^2 \text{SEN}^2 \theta_I} \geq \frac{n_2}{n_1} \text{ (4)}$$

DESPEJANDO θ_I :

$$\sqrt{1 - \left(\frac{1}{n_1}\right)^2 \text{SEN}^2 \theta_I} \geq \frac{n_2}{n_1} \implies 1 - \left(\frac{1}{n_1}\right)^2 \text{SEN}^2 \theta_I \geq \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

$$n_1^2 - \text{SEN}^2 \theta_1 \geq n_2^2 \implies n_1^2 - n_2^2 \geq \text{SEN}^2 \theta_1$$

$$\implies \text{SEN} \theta_1 \leq \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \text{ ----- (4')}$$

$$\theta_1 \leq \text{ANG SEN} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \text{ ----- (5)}$$

PARA CUALQUIER RAYO DE LUZ QUE INCIDE EN EL NÚCLEO CON ÁNGULO QUE SATISFAGA LA ECUACIÓN (5), LA PORCIÓN DE LUZ INCIDENTE QUE SE TRANSMITE AL NÚCLEO ES ACEPTADA PARA SER GUIADA A LO LARGO DE LA FIBRA, ESTO ES, SUFRE UNA REFLEXIÓN INTERNA TOTAL.

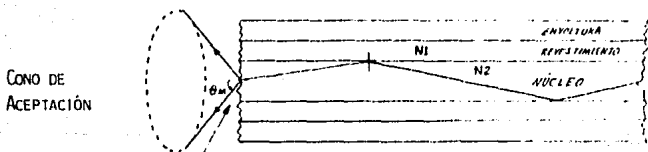


FIGURA 3.

MÁXIMO ÁNGULO DE ACEPTACIÓN

$$\theta_m = \text{ANG SEN} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

EL MÁXIMO ÁNGULO QUE SATISFACE LA ECUACIÓN (5), SE LE DENOMINA MÁXIMO ÁNGULO DE ACEPTACIÓN θ_m , Y REPRESENTA EL MÁXIMO ÁNGULO CON RESPECTO AL EJE LONGITUDINAL DE LA FIBRA, AL QUE PUEDE INCIDIR CON RAYO DE LUZ EN EL NÚCLEO PARA QUE TODAVÍA LA PORCIÓN DE LA LUZ TRANSMITIDA SUFRA UNA REFLEXIÓN INTERNA TOTAL EN EL INTERIOR DE ÉSTE Y PUEDA SER GUIADA A LO LARGO DE LA FIBRA.

$$\theta_m = \text{ANG. SEN } \sqrt{N_1^2 - N_2^2} \quad \text{--- -- -- -- -- (6)}$$

SI SE EXCEDE EL MÁXIMO ÁNGULO DE ACEPTACIÓN, NO OCURRIRÁ UNA REFLEXIÓN INTERNA TOTAL Y LA PORCIÓN DE LUZ INCIDENTE QUE ES TRANSMITIDA AL NÚCLEO SE PERDERÁ EN EL REVESTIMIENTO.

EL SEN DEL MÁXIMO ÁNGULO DE ACEPTACIÓN QUE DE ACUERDO A LAS ECUACIONES (4') Y (5) ES:

$$\text{SEN } \theta_m = \sqrt{N_1^2 - N_2^2} = N_A \quad \text{--- -- -- -- -- (7)}$$

SE LE DENOMINA APERTURA NUMÉRICA (N_A) Y ES UN NÚMERO QUE EXPRESA EL PODER QUE TIENE UNA FIBRA PARA RECOLECTAR LA LUZ.

LA APERTURA NUMÉRICA DE UNA FIBRA ÓPTICA DEFINE UNA CARACTERÍSTICA DE LA FIBRA EN TÉRMINOS DE LA ACEPTACIÓN DE LA LUZ QUE INCIDE EN ELLA.

CON EL MÁXIMO ÁNGULO DE ACEPTACIÓN SE DEFINE ALREDEDOR DEL EJE LONGITUDINAL DE LA FIBRA UN CONO, CUYO ÁNGULO EN EL ÁPICE ES DOS VECES EL MÁXIMO ÁNGULO DE ACEPTACIÓN Y REPRESENTA LA REGIÓN PARA LA CUAL-

TODOS LOS RAYOS QUE ESTÉN EN ELLA O INCIDAN EN LA FIBRA SERÁN TRANSMITIDOS A LO LARGO DE ELLA. DICHO CONO ES LLAMADO "CONO DE ACEPTACIÓN".

LAS RELACIONES ENTRE LA APERTURA NUMÉRICA Y EL MÁXIMO ÁNGULO DE ACEPTACIÓN SON:

$$\theta_m = \text{ANG. SEN } \sqrt{N_1^2 - N_2^2} \text{ ----- (8)}$$

$$N_A = \text{SEN } \theta_m = \sqrt{N_1^2 - N_2^2} \text{ ----- (9)}$$

ALGUNOS OTROS CONCEPTOS UTILIZADOS EN FIBRAS OPTICAS Y TIPOS DE FIBRAS OPTICAS

COEFICIENTE DE REFLEXIÓN:

ES LA RELACIÓN DE LA INTENSIDAD DEL CAMPO REFLEJADO A LA INTENSIDAD DEL CAMPO INCIDENTE CUANDO UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA INCIDE EN LA SUPERFICIE DE SEPARACIÓN ENTRE DOS MATERIALES DIELECTRICOS DE DIFERENTES ÍNDICES DE REFRACCIÓN.

SI, EN INCIDENCIA OBLICUA, LA COMPONENTE DE CAMPO ELÉCTRICO DE LA ONDA INCIDENTE ES PERPENDICULAR AL PLANO DE INCIDENCIA, EL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN ESTÁ DADO POR:

$$R = \frac{(N_1 \cos \theta_i - N_2 \cos \theta_t)}{(N_1 \cos \theta_i + N_2 \cos \theta_t)} \text{ ----- (10)}$$

DONDE n_1 Y n_2 SON RECÍPROCOS DE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN DE LOS MEDIOS DE INCIDENCIA Y TRANSMISIÓN RESPECTIVAMENTE, θ_i Y θ_t SON LOS ÁNGULOS DE INCIDENCIA Y REFRACCIÓN (CON RESPECTO A LA NORMAL), RESPECTIVAMENTE. SI EN INCIDENCIA OBLICUA, LA COMPONENTE DE CAMPO ELÉCTRICO ES PARALELA AL PLANO DE INCIDENCIA, EL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN ESTÁ DADO POR:

$$R = \frac{(n_2 \cos \theta_i - n_1 \cos \theta_t)}{(n_2 \cos \theta_i + n_1 \cos \theta_t)} \quad \text{--- --- --- (11)}$$

ESTAS ECUACIONES SON CONOCIDAS COMO ECUACIONES DE FRESNEL.

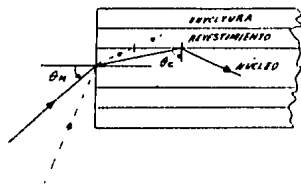


FIGURA 4.

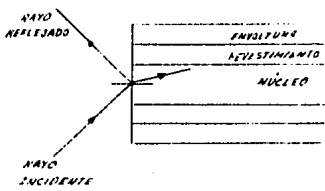


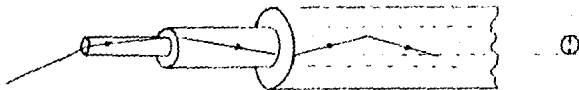
FIGURA 5.

PERDIDAS DE REFLEXION DE FRESNEL

ES LA PÉRDIDA DE POTENCIA QUE SE PRODUCE EN LA SUPERFICIE DE SEPARACIÓN DE DOS MEDIOS. CUANDO UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA INCIDE SOBRE ELLA Y UNA PARTE DE LA POTENCIA INCIDENTE ES REFLEJADA, LA PÉRDIDA POR REFLEXIÓN DEPENDE DE MUCHOS FACTORES QUE INCLUYEN LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN DE LOS MEDIOS INCIDENTE Y REFRACTOR, LA FRECUENCIA, EL ÁNGULO DE INCIDENCIA Y LA POLARIZACIÓN DE LA LUZ INCIDENTE RELATIVA AL PLANO DE INCIDENCIA. LAS PÉRDIDAS POR REFLEXIÓN QUE SE PRODUCEN A LA ENTRADA Y SALIDA DE UNA FIBRA ÓPTICA SON DEBIDAS A LA DIFERENCIA ENTRE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN DE LA FIBRA Y DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN DEL CUAL LA LUZ ENTRA Y SALE.

RAYO MERIDIONAL

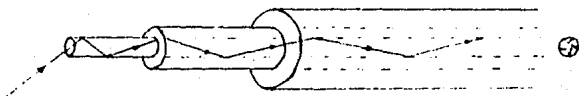
EN UNA FIBRA ÓPTICA, UN RAYO DE LUZ QUE PASA A TRAVÉS DEL EJE DE LA FIBRA MIENTRAS ÉSTE ES REFLEJADO INTERNAMENTE Y ESTÁ CONFIADO A UN SOLO PLANO, LLAMADO PLANO MERIDIONAL.



RAYO MERIDIONAL.

RAYO OBLICUO:

EN UNA FIBRA ÓPTICA CIRCULAR, UN RAYO DE LUZ QUE NO ESTÁ CONFINADO A UN PLANO, NO PASA A TRAVÉS DEL EJE ÓPTICO, NO ES PARALELO AL EJE ÓPTICO, PERO ES REFLEJADO INTERNAMENTE, SIGUIENDO ASÍ UNA TRAYECTORIA EN ZIG-ZAG.



RAYO OBLICUO

MODO

ES UNA CONDICIÓN O ARREGLO ESPECÍFICO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN UN MEDIO DE TRANSMISIÓN, PARTICULARMENTE EN UNA GUÍA DE ONDA. EL NÚMERO TOTAL DE MODOS QUE UNA FIBRA ÓPTICA PUEDE ACEPTAR, ESTÁ DADO POR:

$$N = \frac{2\pi^2 A^2}{\lambda^2} (n_1^2 - n_2^2) \text{ ----- (12)}$$

DONDE A ES EL RADIO DEL NÚCLEO DE LA FIBRA, n_1 Y n_2 LOS ÍNDICES DE

REFRACCIÓN DEL NÚCLEO Y REVESTIMIENTO, λ ES LA LONGITUD DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE.

FIBRA MULTIMODO:

ES UNA FIBRA ÓPTICA GUIA ONDAS QUE PERMITE QUE SE PROPAGUEN MÁS DE UN MODO. LAS FIBRAS ÓPTICAS MULTIMODO TIENEN UN NÚCLEO MAYOR (25 A 74 μ M) QUE UNA FIBRA DE MODO ÚNICO (2 A 10 μ M) PERMITIENDO ASÍ - QUE RAYOS NO AXIALES O MODOS SE PROPAGUEN A TRAVÉS DEL NÚCLEO A DIFERENCIA CON LA PROPAGACIÓN DE UN SOLO MODO EN UNA FIBRA ÓPTICA DE MODO ÚNICO.

FIBRA DE MODO ÚNICO:

ES UNA FIBRA GUIA ONDA QUE ACEPTA LA PROPAGACIÓN DE UN SOLO MODO. - GENERALMENTE UNA GUÍA DE ONDA ÓPTICA DE BAJAS PÉRDIDAS CON UN NÚCLEO PEQUEÑO (2 A 10 μ M) REQUIERE DE UNA FUENTE LASER PARA LA SEÑAL DE ENTRADA DEBIDO A SU PEQUEÑA APERTURA DE ENTRADA (CONO DE ACEPTACIÓN). EL RADIO DEL NÚCLEO SE APROXIMA A LA LONGITUD DE ONDA DE LA FUENTE CONSEQUENTEMENTE SOLO UN MODO SE PROPAGA.

FIBRA ÓPTICA DE ÍNDICE ESCALONADO:

ES UNA FIBRA EN LA QUE HAY UN CAMBIO BRUSCO EN EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN ENTRE EL NÚCLEO Y EL REVESTIMIENTO A LO LARGO DEL DIÁMETRO DE LA FIBRA. CON EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL NÚCLEO LIGERAMENTE MAYOR (DE 0,7 A 2%) QUE EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL REVESTIMIENTO. LAS DIFERENCIAS ENTRE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN DEL NÚCLEO Y DEL REVESTIMIENTO ES PEQUEÑA CON EL FIN DE QUE EL ÁNGULO CRÍTICO TOMA UN VALOR GRANDE (MAYOR DE 80°) Y LOS RAYOS VIAJEN REFLEJÁNDOSE EN EL NÚCLEO DE LA FIBRA CASI PARALELOS AL EJE DE ÉSTE. CON ESTO SE EVITA-

QUE LA DIFERENCIA DE TIEMPO PARA LLEGAR A SU DESTINO ENTRE LOS RAYOS AXIALES Y LOS QUE VIAJAN REFLEJÁNDOSE SEA MUY GRANDE. POR EJEMPLO, VALORES TÍPICOS DE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN DEL NÚCLEO Y EL REVESTIMIENTO EN ESTE TIPO DE FIBRAS SON:

$$n_1 = 1.5 \quad Y \quad n_2 = 1.485$$

EL ÁNGULO CRÍTICO DADO

$$\theta_c = \text{ANG. SEN } \frac{1.485}{1.5} = 84^\circ$$

PERFIL DE ÍNDICE ESCALONADO:

ES LA CONDICIÓN DE TENER EL ÍNDICE DE UN MATERIAL USADO EN UN MEDIO DE TRANSMISIÓN CAMBIANDO BRUSCAMENTE DE UN VALOR A OTRO. POR EJEMPLO, UN CAMBIO BRUSCO EN EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN EN LA FRONTERA NÚCLEO, REVESTIMIENTO EN UNA FIBRA ÓPTICA.

FIBRA ÓPTICA DE ÍNDICE GRADUAL:

ES UNA FIBRA ÓPTICA CON UN ÍNDICE DE REFRACCIÓN VARIABLE QUE ES UNA FUNCIÓN DE LA DISTANCIA RADIAL DESDE EL EJE DE LA FIBRA, EL ÍNDICE SE HACE PROGRESIVAMENTE MÁS PEQUEÑO AL ALEJARSE DEL EJE. ÉSTA CARACTERÍSTICA PRODUCE QUE LOS RAYOS DE LA LUZ SEAN CONTINUAMENTE REENFOCADOS POR LA REFRACCIÓN EN EL NÚCLEO.

HAY UN CONTINUO CAMBIO EN EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN ENTRE EL NÚCLEO Y EL REVESTIMIENTO A LO LARGO DEL DIÁMETRO DE LA FIBRA.

PERFIL DE ÍNDICE GRADUAL:

ES LA CONDICIÓN DE TENER EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE UN MATERIAL TAL COMO EL VIDRIO DE UNA FIBRA ÓPTICA, VARIAR CONTINUAMENTE DE UN VALOR EN EL EJE DEL NÚCLEO A OTRO EN LA SUPERFICIE EXTERIOR.

FRECUENCIA NORMALIZADA:

UN PARÁMETRO QUE PUEDE SER UTILIZADO PARA CALCULAR O EXPRESAR EL NÚMERO DE MODOS PROPAGANTES QUE UNA FIBRA ES CAPAZ DE ACEPTAR, EXPRESADA MATEMÁTICAMENTE PARA UNA FIBRA DE ÍNDICE ESCALONADO ES:

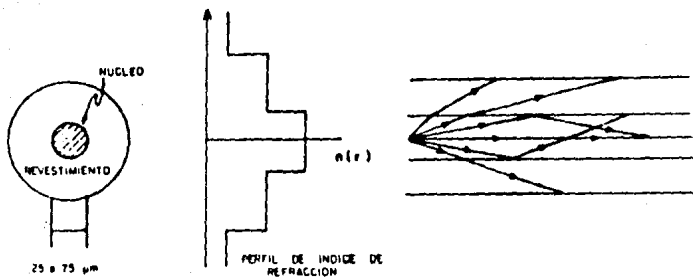
$$V = \frac{2\pi A}{\lambda} \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (13)$$

DONDE (V) ES LA FRECUENCIA NORMALIZADA, (A) ES EL RADIO DEL NÚCLEO DE LA FIBRA ÓPTICA, λ ES LA LONGITUD DE ONDA Y n_1 Y n_2 SON LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN DEL NÚCLEO Y EL REVESTIMIENTO DE LA FIBRA. SI $V \leq 2.405$ SOLO SE PROPAGA UN SOLO MODO POR LA FIBRA (FIBRA DE MODO ÚNICO), PARA UN NÚMERO GRANDE DE MODOS, EL VOLUMEN MODAL O NÚMERO TOTAL DE MODOS ESTÁ DADO POR:

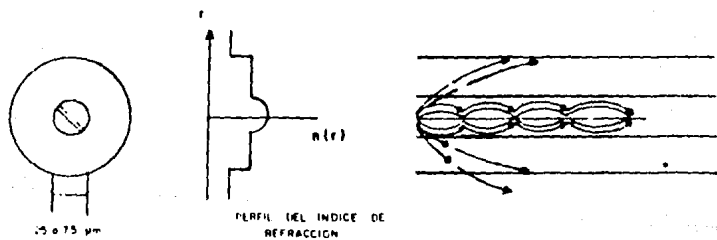
$$N = \frac{1}{2} V^2 \quad (14)$$

DONDE (N) ES EL NÚMERO DE MODOS Y (V) ES LA FRECUENCIA NORMALIZADA.

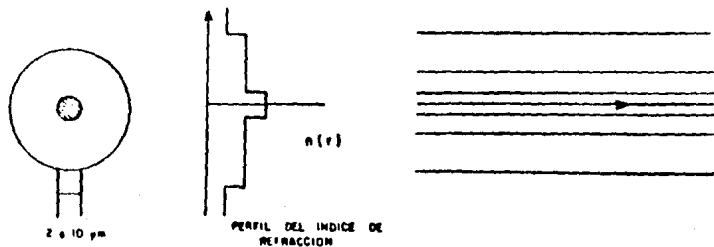
FIBRA OPTICA MULTIMODO DE INDICE ESCALONADO



FIBRA OPTICA MULTIMODO DE INDICE GRADUAL



FIBRA OPTICA DE MODO UNICO DE INDICE ESCALONADO



PERDIDAS POR FUGAS DE LUZ:

ES LA ENERGÍA LUMINOSA PERDIDA EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LUZ, TAL COMO UNA FIBRA ÓPTICA, DEBIDA A CUALQUIER MEDIO DE ESCAPE, TALES COMO LAS IMPERFECCIONES EN LA FRONTERA NÚCLEO-REVESTIMIENTO, FISSURAS EN LA ENVOLTURA Y DOBLECES EN LA FIBRA.

LA FIBRA ÓPTICA UTILIZADA COMO UN CANAL DE TRANSMISIÓN

LAS FIBRAS ÓPTICAS DE ÍNDICES ESCALONADOS SON APROPIADAS PARA LA TRANSMISIÓN, A CORTAS DISTANCIAS.

PARA LA TRANSMISIÓN A GRANDES DISTANCIAS, QUE ES LO NORMAL EN TELECOMUNICACIONES, LAS FIBRAS ÓPTICAS CON ÍNDICE ESCALONADO PRODUCEN UNA ALTA DISPERSIÓN, ES DECIR, UNA PROPAGACIÓN DE LOS PULSOS. EN ESTE CASO SE EMPLEAN PREFERENTEMENTE FIBRAS CON ÍNDICES DE REFRACCIÓN GRADUAL A LAS DE UN PERFIL DE ÍNDICES DE REFRACCIÓN PRECISAMENTE OPTIMIZADO, GRADUALMENTE DESDE EL CENTRO DEL NÚCLEO HASTA EL REVESTIMIENTO.

ATENUACIÓN:

UNA DE LAS CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DE UNA FIBRA ÓPTICA ES SU ATENUACIÓN.

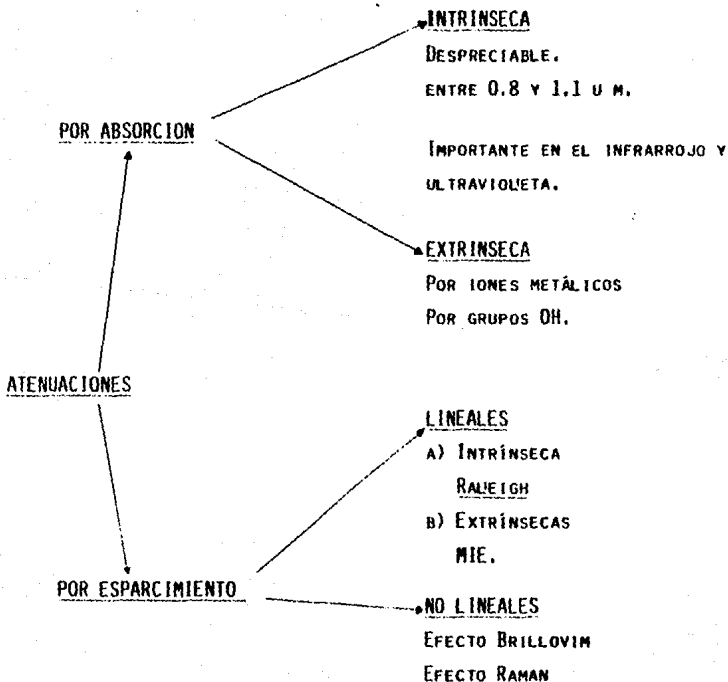
LA PREMISA MÁS IMPORTANTE PARA LA COMUNICACIÓN ÓPTICA ES PODER DISPONER DE UN MATERIAL DE FIBRAS CON BAJA ATENUACIÓN PARA LA LUZ. EN SUS PRINCIPIOS LOS VIDRIOS TENÍAN UNA ATENUACIÓN DE 1000 DB/KM. MÁS TARDE SE LOGRÓ FABRICAR UN VIDRIO CON UNA ATENUACIÓN DE 20 DB/KM.

ACTUALMENTE LAS PÉRDIDAS SE HAN LOGRADO REDUCIR A 0,16 DB/KM.

LA GAMA DE LONGITUDES DE ONDA DONDE SE ENCUENTRAN LAS REGIONES DE MENOR ATENUACIÓN DE UNA FIBRA ÓPTICA ES DE 0,8 A 1,6 μ M. ES DECIR, EL ESPECTRO INFRARROJO INMEDIATAMENTE FUERA DE LA REGIÓN DE LAS ONDAS VISIBLES.

LA ATENUACIÓN EN UNA FIBRA ÓPTICA EN LA REGIÓN DE LONGITUDES DE ONDA DE INTERÉS PUEDE DIVIDIRSE EN DOS GRANDES CATEGORÍAS:

- A) PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN.
- B) PÉRDIDAS POR ESPARCIMIENTO.



2.2 PROCESOS DE FABRICACION

HACE MÁS DE QUINCE AÑOS LA FIRMA CORNING GLASS WORKS DE LOS E.E. U.U. FABRICÓ POR PRIMERA VEZ UNA FIBRA ÓPTICA CON UNA ATENUACIÓN - DE 16 dB/KM - UN VALOR INFERIOR EN MAGNITUDES A LA ATENUACIÓN LUMÍNICA QUE SE ORIGINABA ENTONCES EN LAS FIBRAS DE VIDRIO USUALES. ES TE ACONTECIMIENTO, AHORA YA CASI HISTÓRICO, CONDUJO EN TODO EL MUNDO A EXTENSAS ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO, QUE RESULTARON FINALMENTE EN FIBRAS CON ATENUACIONES TAN BAJAS COMO 0,16 dB / Km.

FABRICACIÓN DE VIDRIOS DE CUARZO POR DEPOSICIÓN A PARTIR DE LA FASE GASEOSA

LAS FIBRAS ÓPTICAS PARA LA TRANSMISIÓN ÓPTICA DE INFORMACIONES - - CONSTAN PRINCIPALMENTE DE VIDRIO DE CUARZO (DIÓXIDO DE SILICIO SiO_2), QUE, EN EL NÚCLEO DE CONDUCCIÓN ÓPTICA DE LA FIBRA, ESTÁ DOTADO ADEMÁS CON ADITIVOS DE GERMANIO Y FÓSFORO PARA EL AUMENTO DEL - INDICE DE REFRACCIÓN Y, EVENTUALMENTE TAMBIÉN, CON BORO Y FLÚOR PARA LA DISMINUCIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN. LA SOBRESALIENTE APTITUD DE SiO_2 PARA LA FABRICACIÓN DE VIDRIOS PURÍSIMOS DE ALTA - -- TRANSPARENCIA SE FUNDAMENTA, APARTE DE LA ESCASA ABSORCIÓN PROPIA (QUE TAMBIÉN SE ENCUENTRA EN LOS VIDRIOS POLICOMPONENTES DE SILICATA), ANTE TODO POR EL HECHO QUE EL VIDRIO DE CUARZO TANTO DOTADO COMO NO DOTADO - PERMITE OBTENERSE POR DEPOSICIÓN DE UNA FASE GASEOSA PURA Y MEZCLADA HOMOGÉNEAMENTE.

DIÓXIDO DE SILICIO NATURAL - DESINTEGRADO COMO CUARZO CRISTALINO O COMO ARENA DE SÍLICA - NO ES APLICABLE DIRECTAMENTE PARA LA FABRICACIÓN DE FIBRAS DE VIDRIO, DEBIDO A SU CONTENIDO DE ÓXIDOS METÁLICOS. POR LO TANTO, ES NECESARIO EFECTUAR EL RODEO A TRAVÉS DEL TETRACLORURO DE SILICIO ($SiCl_4$), LIQUIDO FÁCILMENTE EVAPORABLE, QUE SE ELABORA A PARTIR DEL CUARZO POR REDUCCIÓN CON CARBÓN Y TRANSFORMACIÓN CON CLORO (REACCIÓN 1 EN LA FIG 1). POR MEDIO DE LA DESTILACIÓN FRACCIONADA SE OBTIENEN EN FORMA ULTRAPURA LOS CLORUROS DE SILICIO ORIGINADOS DURANTE LA CLORACIÓN, MIENTRAS QUE LOS CLORUROS METÁLICOS, COMO CLORURO DE HIERRO, QUEDAN EN EL LODO DE DESTILACIÓN. CLORUROS DE SILICIO SON UTILIZADOS, POR EJEMPLO, PARA LA - -

QUÍMICA DE SILICONAS Y PARA LA ELABORACION DE SILICIO PURISIMO PARA SEMICONDUCTORES.

DEL TETRACLORURO DE SILICIO SE RECUPERA, POR DEPOSICIÓN A PARTIR DE LA FASE GASEOSA, EL DIÓXIDO DE SILICIO PURO DESEADO Y PARA DOTTAR A LOS VIDRIOS SiO_2 SE MEZCLAN LOS CLORUROS CORRESPONDIENTES ($GeCl_4$, $PuCl_3$) AL TETRACLORURO DE SILICIO. EL CLORURO O MEZCLA DE CLORURO ES HIDROLIZADO EN UNA LLAMA DE GAS (REACCIÓN 2 EN FIG. 1) U OXIDADO CON CORRIENTE OXIGASEOSA POR PROVOCACIÓN DE REACCIÓN TÉRMICA A $1300^{\circ}C$ APROXIMADAMENTE (REACCIÓN 3 EN LA FIG. 1), CON LO CUALEL POLVO SiO_2 DE GRANO FINO DE CONDENSACIÓN SE DESARROLLA SOBRE UN SUBSTRATO APROPIADO DE FORMA ALTAMENTE POROSA,

MEDIANTE ENJUAGUE CON GAS CLORO PUEDEN ELIMINARSE EFECTIVAMENTE LOS RESTOS ACUOSOS (POR EJEMPLO DE LOS GASES DE LLAMA) DEL DIOXIDO DE SILICIO ORIGINADO, DADO QUE A TEMPERATURAS ALREDEDOR DE $1000^{\circ}C$ SE GENERA GAS CLORHÍDRICO VOLÁTIL DEL AGUA Y CLORO (REACCIÓN 4 EN LA FIG 1). MEDIANTE ESTE PROCEDIMIENTO DE SECADO, LA TRANSMISION-LUMINICA DEL VIDRIO AUMENTA CONSIDERABLEMENTE,

EL DIÓXICO DE SILICIO POROSO ES SINTERIZADO COMO VIDRIO MACIZO LIBRE DE BURBUJAS, A TEMPERATURAS SUPERIORES A LOS $1200^{\circ}C$, SIENDO QUE LA FUERZA IMPULSORA PARA ESTE PROCESO DE FLUENCIA RESULTA DE LA DISMINUCIÓN DE LA ENERGÍA DE SUPERFICIE DURANTE LA TRANSICIÓN DEL VIDRIO DE GRANO FINO AL COMPACTO.

PROCESOS DE FABRICACIÓN DE PREFORMA DE FIBRAS

SEGÚN LA FORMA DEL SUBSTRATO, PARA LA DEPOSICIÓN EXISTEN AL PRESENTE LOS TRES MÉTODOS SIGUIENTES:

- DEPOSICIÓN INTERIOR SOBRE LA PARTE INTERNA DE UN TUBO DE VIDRIO-DE CUARZO,
- DEPOSICIÓN EXTERIOR SOBRE LA PARTE EXTERNA DE UNA VARILLA,
- DEPOSICIÓN AXIAL SOBRE LA SUPERFICIE FRONTAL DE UNA VARILLA,

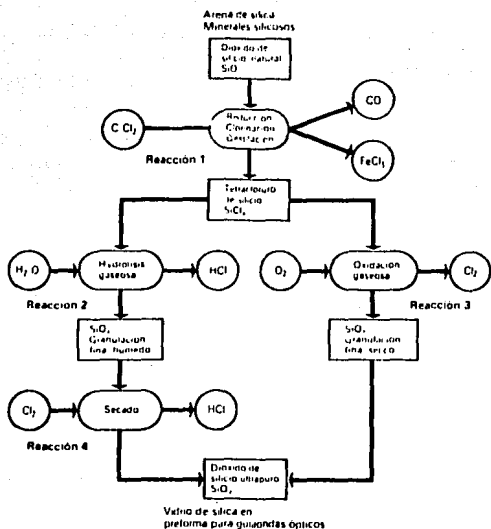


FIG. 1 REFINACIÓN DE SÍLICA NATURAL POR CONVERSION AL ESTADO GASEOSO Y POSTERIOR DEPOSICION DE VIDRIO DE SÍLICA A TRAVÉS DE HIDRÓLISIS U OXIDACIÓN EN EL ESTADO - GASEOSO.

- EL PROCESO DE DEPOSICIÓN INTERIOR DADO A CONOCER POR PRIMERAS PUBLICACIONES DE LOS LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN DE LAS FIRMAS - - CORNING GLASS WORKS (IVD INSIDE VAPOR DEPOSITION) Y BELL TELEPHONE (MCVD MODIFIED CHEMICAL VAPOR DEPOSITION), EN ESTE PROCESO EL POLVO SiO_2 DOTADO ES DEPOSITADO POR CAPAS - COMENZANDO CON CAPAS VÍTREAS DE REVESTIMIENTO Y FINALIZANDO CON LA CAPA VÍTREA DEL NÚCLEO MÁS INTERNA SOBRE LA PARED INTERNA DE UN TUBO GIRATORIO (FIG.2), - QUE DESDE AFUERA ES CALENTADO LOCALMENTE POR UN QUEMADOR A TEMPERATURAS ALREDEDOR DE $1600^{\circ}C$. SIMULTÁNEAMENTE CON LA DEPOSICIÓN TIENE LUGAR EL SINTERIZADO DE CADA CAPA INDIVIDUAL PARA EL VIDRIO COMPACTO: DESPLAZANDO EL QUEMADOR EN DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE GASEOSA A LO LARGO DEL TUBO, ES FUNDIDO EL POLVO COLOCADO DELANTE DEL QUEMADOR.

EFECTUADA LA DEPOSICIÓN, EL TUBO ES COLAPSADO HASTA OBTENER UNA VÁRILLA REDONDA A TEMPERATURA ELEVADA POR CALENTAMIENTO REITERADO - CON EL QUEMADOR, O SEA QUE EL TUBO SE CONTRAE PAULATINAMENTE. DE ESTE MODO SE LOGRA UNA PREFORMA MACIZA, QUE INTERNAMENTE CONSTA - - DE MATERIAL SINTÉTICO PURO PARA NÚCLEO DE FIBRA Y REVESTIMIENTO DE FIBRA INTERNO; LA PREFORMA CONSTA DEL MATERIAL ORIGINAL EN EL AREA DEL REVESTIMIENTO EXTERIOR DEL TUBO VÍTREA DE CUARZO COMERCIAL EMPLEADO. VARIANDO EL ESPESOR ELEGIDO, LA CANTIDAD Y COMPOSICIÓN O ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE LAS CAPAS PUEDEN ELABORARSE ASÍ PREFORMAS PARA DIFERENTES TIPOS DE FÍBRAS.

COMÚNMENTE EL TAMAÑO DE LA PREFORMA EN LA FABRICACIÓN RESPONDE A - UNA LONGITUD DE FIBRA DE APROXIMADAMENTE 10 KM. LOS VALORES DE ATENUACION DE 1 dB / KM, CON $\lambda = 1300$ NM QUE SE LOGRAN EN MEDIA, PUEDEN REDUCIRSE ACTUALMENTE YA A 0,5 dB/ KM EN FIBRAS DE ELEVADA CALIDAD. MOTIVO PARA ESTO ES, APARTE DE LAS VENTAJAS DEL PRINCIPIO DE LA DEPOSICIÓN DE FASES GASEOSAS, TAMBIÉN EL HECHO QUE SE EVITA TODO CONTACTO DEL VIDRIO SINTÉTICO EN EL INTERIOR DEL TUBO CON AIRE CONTAMINADO O HÚMEDO (10).

LA OXIDACIÓN DE LOS CLORUROS DE SILICIO Y GERMANIO PUEDE INICIARSE TAMBIÉN POR UN PLASMA; UN PROCESO DE DEPOSICIÓN INTERIOR (PCVD) / - PLASMA CHEMICAL.

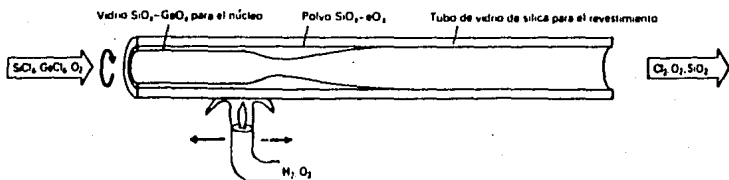


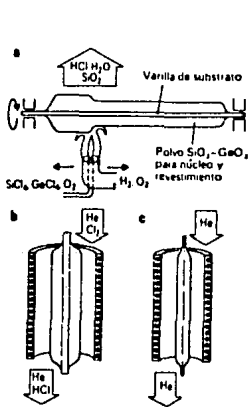
FIG. 2 PREPARACIÓN DE UNA PREFORMA POR DEPOSICIÓN INTERIOR Y COLAPSO SUBSECUENTE DEL TUBO PARA FORMAR UNA VARILLA.

VAPOR DEPOSITION, FUE DESARROLLADO POR PHILIPS. DADO QUE LA ZONA DE DESCARGA DE GAS ES DESPLAZABLE RÁPIDAMENTE A LO LARGO DEL TUBO, PUEDEN DEPONERSE CON ESTE MÉTODO COMPARATIVAMENTE MUCHAS CAPAS DELGADAS EN POCO TIEMPO, CON LA CUAL ES POSIBLE FABRICAR PERFILES PARTICULARMENTE LISOS SIN ESTRUCTURA ANULAR RECONOCIBLE.

EN EL PROCESO DE DEPOSICIÓN EXTERIOR (OVD OUTSIDE VAPOR DEPOSITION), DESARROLLADO Y UTILIZADO EN LA CORNING GLASS WORKS - SE INTRODUCEN LOS CLORUROS DE SALIDA VAPOROSOS EN LA LLAMA DE QUEMADOR DE GAS, DEL CUAL SE CONDENSAN LUEGO LOS ÓXIDOS. LA LLAMA QUEMA RADIALMENTE CONTRA UNA VARILLA DE SUBSTRATO CERÁMICA QUE SE DESPLAZA RELATIVAMENTE HACIA EL QUEMADOR (FIG. 3). TAMBIÉN SON APLICADAS VARIOS CIENTOS DE CAPAS, COMENZANDO CON LA COMPOSICIÓN DEL VIDRIO DEL REVESTIMIENTO COMPLETO; UN TUBO ENVOLVENTE NO ES NECESARIO EN ESTE CASO. UNA VEZ DEPUSTA Y RETIRADA LA VARILLA DEL SUBSTRATO, SE PROCEDE AL SECADO CON CLORO GASEOSO EN UN HORNO SEPARADO (REACCIÓN EN LA FIG. 1), Y A CONTINUACIÓN EL CUERPO POROSO ES SINTERIZA

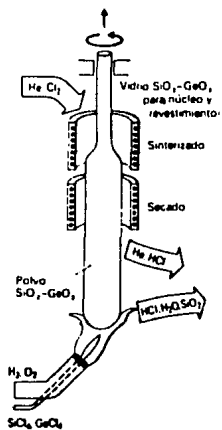
DO PARA OBTENER UNA VARILLA MACIZA. PUESTO QUE LA SECUENCIA CRONO LÓGICA DE LOS PASOS DEL PROCESO " DEPOSICIÓN ", " SECADOR " Y " SINTE RIZADO " PERMITE OPTIMIZAR CADA PROCESO SEPARADAMENTE, PUEDEN OBT ENERSE CON EL MISMO TASAS DE DEPOSICIÓN DE POLVO DE VIDRIO SUMAMEN TE ELEVADAS.

À ESTO SE AGREGA QUE LA TASA DE DEPOSICIÓN AUMENTA CON EL CRECIMIEN TO PROGRESIVO DEBIDO AL INCREMENTO DE LA SUPERFICIE DEL SUBSTRATO, LO QUE RESULTA VENTAJOSO AL AMPLIARSE EL PROCESO, FUERÓN ALCANZA DAS ELEVADAS TASAS DE DEPOSICIÓN DE VIDRIO DE 4,3 G. MIN, CONFORME A UNA TASA DE FABRICACIÓN DE FIBRAS DE 5 KM / H. (INCLUSIVE PÉRD IDAS DE PREFORMA). POR OPTIMACIÓN DEL PROCESO DE SECADO, SEGÚN EST E MÉTODO TAMBIÉN PUEDEN FABRICARSE FIBRAS DE BAJA ATENUACIÓN, QUE EN SU CALIDAD RESPONDEN A LAS FIBRAS SEGÚN LA DEPOSICIÓN INTERIOR.



Cl ₂	Cloro
GeCl ₄	Tetracloruro de germanio
H ₂	Hidrógeno
HCl	Acido clorhídrico
He	Helio
O ₂	Oxígeno
SiCl ₄	Tetracloruro de silicio
SiO ₂	Dióxido de silicio

Fig. 3 Preparación de una preforma por de posición exterior de vapor (a) con subsecuente secado (b) y sinterizado (c)



O ₂	Oxígeno
GeCl ₄	Tetracloruro de germanio
H ₂	Hidrógeno
HCl	Acido clorhídrico
He	Helio
O ₂	Oxígeno
SiCl ₄	Tetracloruro de silicio

Fig. 4 Preparación de una preforma por deposición axial

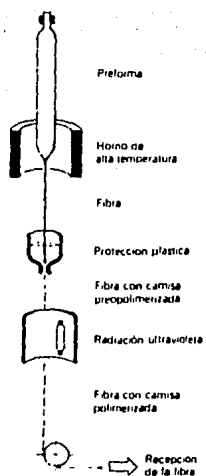


FIG. 4 ESQUEMÁTICO DEL ESTIRADO DE LA FIBRA.

EL PROCESO DE DEPOSICIÓN AXIAL (VAD VAPOR AXIAL DEPOSITION) DESARROLLADO EN JAPÓN EMPLEA TAMBIÉN LA HIDRÓLISIS POR LLAMA. ACÁ, LA VARILLA ES SOPLADA EN DIRECCIÓN AXIAL O LIGERAMENTE INCLINADA HACIA AQUÉLLA (FIG. 4), CON LO CUAL SE LOGRA UN AUMENTO DE LONGITUD DE LA PIEZA EN BRU. POROSA. EN LUGAR DE UNA SECUENCIA TEMPORAL - COMO EN LA DEPOSICIÓN EXTERIOR, ACÁ EL PERFIL ES CONFORMADO EN LA SECUENCIA ESPACIAL DE POLVOS SiO_2 , DESPOSITADOS CON DOTACIONES DIFERENTES. DEBE CUIDARSE QUE EN EL ÁREA AXIAL SEA DEPUERTO COMPARATIVAMENTE MÁS DÍOXIDO DE GERMANIO QUE EN LA PERIFERIA, LO QUE ES POSIBLE EN FORMA DEFINIDA AJUSTANDO CON PRECISIÓN UNA CANTIDAD DE PARÁMETROS DE PROCESOS. EL CUERPO DE VIDRIO POROSO ES DESPRENDIDO DE ACUERDO A SU TASA DE CRECIMIENTO Y POSTERIORMENTE CONDUCIDO POR LA MISMA INSTALACIÓN A TRAVÉS DE ZONAS DE SECADO Y SINTERIZADO ULTERIORES, DE MANERA QUE COMPARATIVAMENTE PUEDAN ESTIRARSE VARILLAS LARGAS. EN ESTOS PROCESOS, NO ES NECESARIO QUITAR EL SUBSTRATO. - MENOS VENTAJOSO ES COMPARATIVAMENTE LA REDUCIDA SUPERFICIE DE DEPOSICIÓN FRONTAL, QUE LIMITA LA TASA DE CRECIMIENTO.

TÉCNICA DE ESTIRADO DE FIBRAS

DE LA PREFORMA PUEDE ESTIRARSE, MEDIANTE UN PROCESO LIBRE DE CONTACTO EN UN HORNO TUBULAR DE TEMPERATURA ELEVADA A $2000^{\circ}C$, UNA FIBRA CUYA GEOMETRIA Y CUYAS CUALIDADES ÓPTICAS CORRESPONDEN ESENCIALMENTE A LAS DE LA PREFORMA (FIG. 5). PARA MANTENER LAS VARIACIONES DEL DIÁMETRO DE LA FIBRA EN VALORES PEQUEÑOS, LOS FACTORES DECISIVOS SON LA CONSTANCIA DEL ESTIRAMIENTO Y LA AUSENCIA DE CORRIENTES DE CONVECCIÓN EN LA ATMOSFERA DEL HORNO. MÁS ALLÁ DE ESTO DEBE EVITARSE QUE PARTÍCULAS PROVENIENTES DEL ELEMENTO CALEFACTOR -- (GRAFITO U ÓXIDO DE CIRCONIO) CONTAMIENEN LA SUPERFICIE VITREA, - YA QUE CUERPOS EXTRAÑOS EN LA SUPERFICIE DE LA FIBRA CALIENTE OCASIONAN GENERALMENTE MICROFISURAS CAUSANTES DE ROTURAS DE FIBRAS.

PREVIO A LA RECEPCIÓN DE LAS FIBRAS POR EL DISPOSITIVO DE ESTIRADO ES APLICADA UNA CAPA PRIMARIA DE MATERIAL SINTÉTICO, QUE RESGUARDE LA SUPERFICIE DE LAS FIBRAS CONTRA DETERIORES MECÁNICOS Y, ADEMÁS,

MEDIANTE ACOLCHADO, EVITE MICROCURVATURAS DE LAS FIBRAS. PARA LA APLICACIÓN DEL PREPOLIMERIZADO VISCOSO SON NECESARIOS PROCESOS DE RECUBRIMIENTO APROPIADOS, QUE POSIBILITEN TAMBIÉN CON ELEVADAS VELOCIDADES DE ESTIRADO (APROXIMADAMENTE 1 HASTA 3 M/S) UNA CAPA UNIFORME, CENTRADA Y LIBRE DE BURBUJAS. EL ENDURECIDO PARA OBTENER UNA CAPA DE POLIMERO ELÁSTICA SE REALIZA A VECES TÉRMICAMENTE, PERO RECIENTEMENTE, POR LO GENERAL MEDIANTE REACCIÓN FOTOQUÍMICA (RA DIACIÓN ULTRAVIOLETA).

2.3 CABLES DE FIBRA OPTICA

NUEVOS SERVICIOS DE INFORMACIÓN, ASÍ COMO TAMBIÉN LA TRANSICIÓN HACIA TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL, HACEN NECESARIO EXPANDIR ULTERIORMENTE TAMBIÉN LA RED DE CABLES DE LARGA DISTANCIA. FIBRAS ÓPTICAS DE MÍNIMA ATENUACIÓN Y ADECUADO ANCHO DE BANDA POSIBILITAN VALORES TAN FAVORABLES DE DISTANCIA ENTRE APLICADORES Y DE NÚMERO ÚTIL DE CANALES, QUE LA RENTABILIDAD DE SU EMPLEO ESTUVO DE ANTEMANO FUERA DE CUESTIÓN, EN LA MEDIDA EN QUE LA CONFIABILIDAD Y VIDA ÚTIL DEL NUEVO MEDIO DE TRANSMISIÓN ALCANZARÍA EL NIVEL DE LOS MEDIOS IMPLANTADOS. SIN EMBARGO, LA CONFIABILIDAD Y VIDA ÚTIL DE UN COMPLETO SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEPENDEN TAMBIÉN DE LAS CARACTERÍSTICAS INTRÍNSICAS DEL CABLE EMPLEADO. ÉSTO SIGNIFICA, QUE UNA CONFIABILIDAD DEFICIENTE Y EL FIN DE LA VIDA ÚTIL DE UN CABLE NO NECESARIAMENTE DEBAN SER CAUSADOS POR DETERIORO EXTERNO O DESTRUCCIÓN DEL CABLE O DE FIBRAS INDIVIDUALES; UNA ALTERACIÓN GRAVITANTE SOBRE EL TRAYECTO PUEDE YA SOBREEJIGIR INADMISIBILMENTE LA DINÁMICA DEL SISTEMA Y DISMINUIR EL ANCHO DE BANDA DE LA TRANSMISIÓN.

CONCEPCIÓN DEL CABLE

LAS EXPERIENCIAS HASTA EL PRESENTE ADQUIRIDAS HAN MOSTRADO QUE LAS CONFORMACIONES DE CABLES QUE DE ENTRADA EXHIBEN UNA NOTABLE ALTERACIÓN DE LA ATENUACIÓN DE FIBRAS INDIVIDUALES CON RESPECTO AL ESTADO ORIGINAL O QUE MUESTRAN SENSIBLES REACCIONES MECÁNICAS A LAS MODIFICACIONES TÉRMICAS PERMITIDAS O A OTRAS ALTERACIONES DE ESTADO,

DEBEN SER CONSIDERADAS, A LA LARGA, COMO MENOS APROPIADAS PARA EL SERVICIO. ESTAS ALTERACIONES SIGNIFICAN, EN ÚLTIMO ANÁLISIS, QUE LAS FIBRAS SE DEFORMAN DE MANERA NO PERMITIDA, PUDIÉNDOSE EXPRESAR POR PROBABILIDADES LAS CONSECUENCIAS A LARGO PLAZO DE TALES DEFORMACIONES. LA CONCLUSIÓN DE ESTA REFLEXIÓN SÓLO PUEDE APUNTAR HACIA UNA CONFORMACIÓN DE CABLE QUE BAJO TODAS LAS CIRCUNSTANCIAS -- PERMITIDAS MANTENGA LAS FIBRAS POR TÉRMINO MEDIO EN EL ESTADO DE CARGAS MECÁNICAS INFIMAS Y, ASIMISMO, MINIMICE LAS DESVIACIONES LO CALES RESPECTO A UN VALOR MEDIO SEGURAMENTE TOLERABLE. ESTO EXCLUYE TODAS LAS CONSTRUCCIONES QUE NO CONTEMPLAN UN HUELGO RADIAL SUFICIENTE PARA LAS INEVITABLES ALTERACIONES LONGITUDINALES, FLEXIONES O TORSIONES DEL CABLE (POR EJEMPLO, LOS CABLES CON FIBRAS DEL TIPO ADHERENTE Y CON TRENZADO SIN HUELGO).

EN LA REALIZACIÓN DE ESTA EXIGENCIA ES POSIBLE LLEGAR A RESULTADOS SUMAMENTE DISPAREJOS. UNA DE LAS SOLUCIONES MÁS ANTIGUAS, NUEVAMENTE ACOMETIDA EN LOS ÚLTIMOS AÑOS, ES EL CABLE DE CÁMARA O "SLOTTED CORE", EN EL CUAL EL ALMA CONSISTE EN UN NÚCLEO ESTABLE CON RANURAS HELICOIDALES, EN EL CUAL ESTÁN SITUADAS UNA O VARIAS FIBRAS LA PROBLEMÁTICA DE ESTE CONCEPTO SÓLO SE REVELA CUANDO SE LO EXAMINA MÁS DE CERCA. POR UNA PARTE, NO ES SIMPLEMENTE COLOCAR LAS FIBRAS DE SUERTE QUE ORIGINE EN TODAS LAS SITUACIONES UN HUELGO LONGITUDINAL Y BILATERAL SUFICIENTE; POR OTRA, DEBE PREVERSE UNA PROTECCIÓN SUFICIENTE PARA LAS FIBRAS O LOS GRUPOS DE FIBRAS EN LOS SITIOS DE BIFURCACIÓN. LA ADAPTABILIDAD DEL SISTEMA A NÚMEROS DE FIBRAS Y CONDICIONES OPERATIVAS MUY DIFERENTES ES MODERADA.

EN OTRAS SOLUCIONES SE PREVÉ PARA UNA MEJOR IDENTIFICACIÓN Y PROCESABILIDAD DE LAS FIBRAS INDIVIDUALES, PRIMERAMENTE UNA ENVOLTURA INDIVIDUAL, SÓLIDA Y ACHERENTE; ESTAS FIBRAS "DE TIPO ADHERENTE" SON COLOCADAS EN EL ALMA DEL CABLE CON RELATIVAMENTE MUCHO HUELGO.

EL RESULTADO SON ENTONCES CON FRECUENCIA ESTRUCTURAS FLOJAS, BASTANTE VOLUMINOSAS Y RELATIVAMENTE PESADAS, QUE DIFÍCILMENTE DEJAN RECONOCER UNA APLICABILIDAD UNIVERSAL Y QUE LA MAYORÍA DE LAS VECES ESTÁN ORIGINADAS EN EL DESEO DE PODER CONTINUAR UTILIZANDO PRE

EXISTENTES MAQUINAS PARA CABLES CONVENCIONALES. ASÍ ES COMO RÁPIDAMENTE SE LLEGA A LA CONCLUSIÓN DE QUE EL REQUERIMIENTO DE UNA SECCIÓN TRANSVERSAL MENOR Y DE UN CONSUMO DE MATERIAL MÍNIMO SE ORIGINAN CUANDO EL JUEGO RADIAL NECESARIO ES COLOCADO EN EL ENTORNO DIRECTO DE LA FIBRA, ESPESADA LO MENOS POSIBLE.

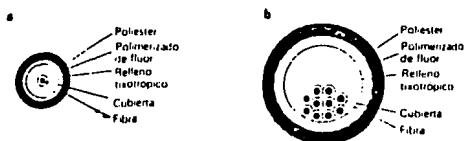


FIG. 1 CONFIGURACIÓN (ESCALA 10:1) DE UN ELEMENTO CONDUCTOR MONOFIBRA (A) O MULTIFIBRA (B).

CONFORMACIÓN DEL CABLE

ELEMENTOS CONDUCTORES

LA SOLUCIÓN NATURAL PARA UNA ENVOLTURA DE PROTECCIÓN QUE SEA SUFICIENTEMENTE ESTABLE CONTRA LA DEFORMACIÓN Y QUE ESTÉ ÓPTIMAMENTE ADAPTADA A LA FIBRA RESIDE EN UN TUBITO DE PLÁSTICO REDONDO EXACTAMENTE PRODUCIBLE QUE SE DEJE TRATAR COMO UN CUADRETE O PAR COAXIAL Y QUE, DE ESTA MANERA, EXHIBA TODAS LAS VENTAJAS DE UN ELEMENTO BÁSICO UNIVERSALMENTE UTILIZABLE (FIG 1). DICHO TUBITO CON POCAS -- EXCEPCIONES, QUE SE REFIEREN A CABLES MUY ESPECIALES CON ESCASOS -- NÚMEROS DE FIBRAS PARA PROYECTOS INDUSTRIALES O GUBERNAMENTALES -- CONSTITUYEN LA BASE, EXACTAMENTE CALCULABLE, DEL SISTEMA DE TRENZA DO MÁS FAVORABLE PARA CADA CASO. DIVERSOS MATERIALES DE ENVOLTURA O COMBINACIONES DE MATERIALES POSIBILITAN EN UNA AMPLIA ÁREA LA -- ADAPTACIÓN A LAS CONDICIONES AMBIENTALES. SE PUEDE LLENAR LOS TUBITOS CON GASES, MASAS PASTOSAS O GELATINOSAS Y HACERLOS LONGITUDINALMENTE IMPERMABLES, HIDRO - O GASBLOQUEANTES Y, EN PRINCIPIO, --

DISCRECIONALMENTE RESISTENTES A LA PRESIÓN TRANSVERSAL. LOS DISPOSITIVOS DE FABRICACIÓN ESPECIALES NECESARIOS PARA LA PRODUCCIÓN SE JUSTIFICAN POR LAS VENTAJAS QUE TÉCNICAMENTE Y, POR TANTO, EN ÚLTIMA INSTANCIA, TAMBIÉN ECONÓMICAMENTE OFRECE EL ELEMENTO BÁSICO UNA VEZ PRODUCIDO.

EN GENERAL, LOS TUBITOS SUELTOS DE PROTECCIÓN CONSISTEN EN UNA DOBLE CAPA, Y TIENEN UN ESPESOR DE PARED DE APROXIMADAMENTE EL 15 % DE SU DIÁMETRO EXTERNO. LOS MATERIALES FUERON ELEGIDOS DE MANERA QUE EL COEFICIENTE DE DILATACIÓN Y LA CONTRACCIÓN ESTUVIERAN MINIMIZADOS Y EL COMPORTAMIENTO EN ENVEJECIMIENTO Y LA RESISTENCIA A LAS MASAS DE RELLENO INTERNAS Y EXTERNAS ESTUVIERAN OPTIMIZADAS. COMO LAS SUPERFICIES INTERNA Y EXTERNA DEL TUBITO SON LISAS, OFRECEN UNA RESISTENCIA MÍNIMA AL MOVIMIENTO DE LA FIBRA EN EL TUBITO ASÍ COMO AL MOVIMIENTO DE LOS TUBITOS ENTRE SI.

PARA LOS ELEMENTOS CONDUCTORES CON SÓLO UNA FIBRA (FIG.2), SE ELIGIÓ UN DIÁMETRO EXTERIOR DE 1,4 MM, EN TANTO QUE PARA LOS CONDUCTORES EN HAZ CON 10 FIBRAS (FIG.3), SE ADOPTÓ UN DIÁMETRO EXTERIOR DE 3 MM. AMBOS VALORES DE NINGÚN MODO CONSTITUYEN MEDIDAS MÍNIMAS TÉCNICAS O TECNOLÓGICAS, PERO SE HAN ACREDITADO EN LA PRÁCTICA.

LA MASA DE RELLENO DE LOS CONDUCTORES CONSISTE PRINCIPALMENTE EN UN ACEITE TIXOTROPIZADO, QUÍMICAMENTE NEUTRO, QUE EN EL RANGO DE TEMPERATURAS QUE SE TOMA EN CUENTA DE - 30 A + 70° C NI SE CONGELA NI SE ESCURRE Y NO ATACA EL RECUBRIMIENTO PROTECTOR DE LAS FIBRAS NI LO HACE HINCHARSE. LA MASA - FÁCILMENTE REMOVIBLE Y LAVABLE -- NO DEJA RESIDUOS QUE PUEDAN OBSTACULIZAR EL ENLACE DE LAS FIBRAS. TAMPOCO CONTIENE COMPONENTES FÁCILMENTE INFLAMABLES.

EN UNA SOLA OPERACIÓN SE PRODUCEN LOS TUBITOS COMPUESTOS DE DOS CAPAS, INCLUYENDO LA MASA DE RELLENO Y LA FIBRA. DE ESTE MODO SE PUEDEN OPTIMIZAR LAS PROPIEDADES MÁS IMPORTANTES DE LA ENVOLTURA (CONTINUIDAD DIMENSIONAL POR LARGO TIEMPO, COEFICIENTE DE DILATACIÓN DEFINIDAMENTE PEQUEÑO, ALTA FLEXIBILIDAD CON GRAN MÓDULO DE ELASTICIDAD, ASÍ COMO TAMBIÉN TENACIDAD E INSENSIBILIDAD A LAS MASAS DE RELLENO INTERNAS Y EXTERNAS). MIENTRAS QUE LA MASA DE RELLENO DE LOS CONDUCTORES EN ASOCIACIÓN CON UNA SUFICIENTE SEGURIDAD CONTRA ESCURRIMIENTO Y GOTEÓ DEBE IMPEDIR LO MENOS POSIBLE LA MOVILIDAD DE LAS FIBRAS, LA MASA DE RELLENO PARA LAS CAVIDADES FUERA DE LOS CONDUCTORES, ES DECIR DE LAS CAVIDADES EN EL ALMA DEL CABLE, DEBERÍA SER MECÁNICAMENTE ALGO MÁS RESISTENTE.

EL OBJETIVO PRINCIPAL DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS ELEMENTOS-CONDUCTORES CONSISTE EN LA EXACTA CORRELACIÓN ENTRE LONGITUD DE EN VOLTURA Y DE FIBRA, CON UNA TOLERANCIA SITUADA EN $\pm 2.10^{-4}$. ESTO, A SU VEZ, NO SÓLO DEPENDE DE LOS MATERIALES DE LA ENVOLTURA, SINO TAMBIÉN DE LA VELOCIDAD DE FABRICACIÓN, ENFRIAMIENTO, FRENADO DE FIBRAS Y GUIADO DE LOS ELEMENTOS CONDUCTORES.

ALMA Y REVESTIMIENTO DE CABLE

EL ELEMENTO DE APOYO CENTRAL QUE DEFINE LAS LONGITUDES DEL CABLE - CONSTA DE FILAMENTOS DE VIDRIO ALTAMENTE RESISTENTES, LIGADOS CON UNA RESINA ESPECIALMENTE RESISTENTE AL ENVEJECIMIENTO Y A LA TEMPERATURA. COMO, EN CASO DE NECESIDAD, TIENE QUE ABSORBER NO SÓLO TODAS LAS FUERZAS CONTRACTIVAS DEL CABLE QUE SE PRODUCEN DURANTE LOS ENFRIAMIENTOS, SINO TAMBIÉN UNA PARTE DE LAS FUERZAS DE TRACCIÓN, ES PRECISO DEDICAR ESPECIAL ATENCIÓN A SU CALIDAD Y PRUEBA. SIEMPRE QUE EN TÉRMINOS DE ESPACIO SEA POSIBLE, EL ELEMENTO DE APOYO HA DE SER PROVISTO DE UN REVESTIMIENTO PROTECTOR DE POLIETILENO -- (PE) QUE ADHIERE FIRMEMENTE, PARA GARANTIZAR EL SEGURO ANCLAJE DEL EXTREMO DE CABLE EN LOS EMPALMES Y LAS DERIVACIONES.

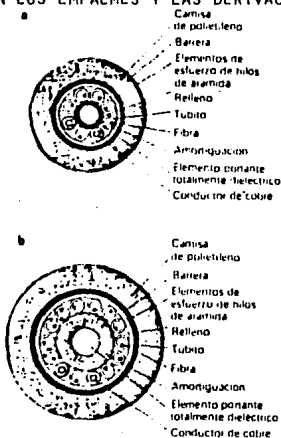


FIG. 2 CONFIGURACIÓN (ESCALA 2,5:1) DE UN CABLE INTERURBANO DE CORTA DISTANCIA CON DOS CONDUCTORES DE COBRE Y SEIS FIBRAS (A), -- RESPECTIVAMENTE DOCE FIBRAS (B) .

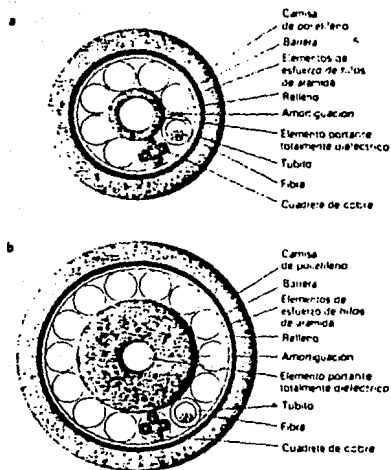


FIG. 3 CONFIGURACIÓN (ESCALA 2,5:1) DE UN CABLE INTERURBANO DE -- LARGA DISTANCIA CON CUADRETE DE COBRE Y 60 FIBRAS (A), RESPECTIVAMENTE 120 FIBRAS (B).

LOS ELEMENTOS CONDUCTORES SE TRENZAN SOBRE EL ELEMENTO DE APOYO BAJO FUERZAS DE FRENADO DEFINIDAS, ADAPTADAS A LA ENVOLTURA DE LOS CONDUCTORES. LA LONGITUD DE ENSAMBLADO S Y EL RADIO DE CABLEADO R SE DIMENSIONAN DE MANERA QUE EN LAS ENVOLTURAS CON EL JUEGO RADIAL ΔR EL HUELGO LONGITUDINAL BILATERAL DE LAS FIBRAS,

$$\frac{\Delta l}{l} \approx \pm 4\pi^2 \cdot \frac{R \cdot \Delta R}{S^2} \quad (1)$$

Y EL RADIO DE CURVATURA DEL CABLEADO.

$$\varrho = R \left(1 + \frac{S'}{4\pi^2 R^2} \right) \quad (2)$$

ADMITAN UNA CARGA POR TRACCIÓN DEL CABLE HASTA LA FUERZA NOMINAL Y UN ENFRIAMIENTO HASTA EL LÍMITE INFERIOR NOMINAL DE LA TEMPERATURA SIN REPERCUSIÓN SOBRE LA FIBRA, ES DECIR, SOBRE SU ATENUACIÓN Y VIDA ÚTIL (RADIO MÍNIMO EMPLEADO PARA LA CURVATURA DEL CABLEADO: 65-MM). EL CABLEADO DE TIPO "SZ" UTILIZADO FACILITA LAS BIFURCACIONES Y POSIBILITA LA PRODUCCIÓN DE ALMAS DE CABLE CUYA LONGITUD ESTÁ LIMITADA SOLO POR LA LONGITUD DE LAS FIBRAS EMPLEADAS. Y LA CAPACIDAD DE LOS TAMBORES. CONJUNTAMENTE CON LAS FIBRAS PUEDEN CABLEARSE ELEMENTOS METÁLICOS CONDUCTIVOS DE CORRIENTE EN FORMA DE HILOS INDIVIDUALES O CUADRETES, SIN ALTERACIÓN DEL PRINCIPIO DE CABLEADO, CUANDO TALES ELEMENTOS SE NECESITAN COMO LINEAS DE SERVICIO O PARA FACILITAR EL EMPLAZAMIENTO. NO OBASTANTE, PARA HACER PLENAMENTE EFECTIVA LA NO-INFLUENCIABILIDAD DE LOS ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN DE FIBRA ÓPTICA, SE DEBERÍA, PARA ESTAS CLÁSICAS FUNCIONES SECUNDARIAS, ENCONTRAR SOLUCIONES QUE POSIBILITEN ESTRUCTURAS DE CABLES LIBRES DE METAL.

ELEMENTO DE APOYO CENTRAL PUEDE OBTIVAMENTE TAMBIÉN ABSORBER FUERZAS DE TRACCIÓN; PERO ÉL NO ES EL ÚNICO ELEMENTO PORTANTE. SOBRE EL ALMA DEL CABLE SE TRENZAN HILOS DE ARAMIDA O "ROVINGS" EN TAL PROPORCIÓN QUE JUNTAMENTE CON EL ELEMENTO CENTRAL ES PRODUCIDA LA CAPACIDAD DE CARGA POR TRACCIÓN DESEADA. LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE TRACCIÓN SOBRE CENTRO Y PERIFERIA DEL ALMA DE CABLE TIENE COMO RESULTADO UNA CARGA TRANSVERSAL DISMINUIDA EN CURVATURA DEL CABLE; ELLA POSIBILITA ADEMÁS, POR ADHERENCIA DEL REVESTIMIENTO SOBRE LA COBERTURA DEL HILO DE ARAMIDA, EL EMPLEO DE MANGAS DE MALLA PARA TIRAR EL CABLE, SIN NECESIDAD DE APLICARLE UN ENCASQUETADO RESISTENTE A TRACCIÓN, AUN PARA CABLES RELLENOS.

DE ACUERDO CON LAS EXPERIENCIAS HASTA AHORA ADQUIRIDAS, ES CONVENIENTE EMPLEAR PARA EL ALMA DEL CABLE UNA MASA DE RELLENO SOBRE LA BASE POLI-ISOBUTILENO, QUE JUNTO A OTRAS VENTAJAS TIENE UN MENOR COEFICIENTE DE DILATACIÓN Y UN MENOR EFECTO ENTUMECEDOR SOBRE EL REVESTIMIENTO DE POLIETILENO QUE LOS PETROLATOS UTILIZADOS DE OTRO MODO. PARA EXCLUIR TODA INFLUENCIA, EL REVESTIMIENTO RECIBE INTERNAMENTE UNA CAPA BLOQUEADORA EN FORMA DE UNA CAPA ADHESIVA POLIAMÍDICA EXTRUDIDA, QUE ASEGURA POR TODA LA VIDA ÚTIL DEL REVESTIMIENTO SU CALIDAD MECÁNICA INCLUSO EN AUSENCIA DE LA LÁMINA DE ALUMINIO Y POSIBILITA LA CARGA DE TRACCIÓN PLENA, SIN AFECTAR LAS CARACTERÍSTICAS DE FLEXIBILIDAD.

REVESTIMIENTO DEL CABLE

ESPESOR Y MARCACIÓN DE REVESTIMIENTO CORRESPONDIENTE A LAS ESPECIFICACIONES EXISTENTES. LA CONFORMACIÓN DE CABLE DESCRITA ES ADAPTABLE A TODO TIPO DE FIBRA (ES DECIR, TAMBIÉN A LAS FIBRAS MONOMODO) Y A TODO PROPÓSITO DE USO (POR EJEMPLO, UN CABLE MARÍTIMO).

- CABLES CON HACES DE FIBRA ÓPTICA PARA REDES URBANAS

CON EL ELEMENTO DE TRANSMISIÓN FIBRA ÓPTICA SE ABREN NUEVAS POSIBILIDADES A LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIONES. ENTRE LAS DIVERSAS VENTAJAS CON RESPECTO A LAS VÍAS DE TRANSMISIÓN DE MENSAJES CONVENCIONALES (EN ASOCIACIÓN CON UNAS DIMENSIONES GEOMÉTRICAS RELATIVAMENTE PEQUEÑAS) SE DESTACA, PRINCIPALMENTE, EL GRAN ANCHO DE BANDA DE TRANSMISIÓN DE LAS FIBRAS ÓPTICAS, QUE, EN EL ÁREA DE REDES URBANAS, PERMITE OFRECER NUEVOS SERVICIOS EN EL CAMPO DE LA INFORMACIÓN Y DE LA COMUNICACIÓN. CABE MENCIONAR, A ESTE RESPECTO, LAS CONFERENCIAS DE TELEVISIÓN, EL VIDEOTELÉFONO, UNA MULTITUD DE PROGRAMAS DE TELEVISIÓN, COMUNICACIÓN ENTRE BANCOS, NEGOCIOS Y FIRMAS ENTRE SÍ, ASÍ COMO TAMBIÉN CON CADA ABONADO. EN ESTE ARTÍCULO SE TRATA DE ILUSTRAR LAS POSIBILIDADES TÉCNICAS ACTUALMENTE EXISTENTES QUE, DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA TÉCNICA DE CABLES, POSIBILITAN LA EXPANSIÓN DE REDES URBANAS.

PARA LAS DIVERSAS INSTANCIAS DE APLICACIÓN Y LAS DIFERENTES ETAPAS DE EXPANSIÓN EN EL ÁREA DE REDES URBANAS SE DESARROLLÓ UN CONCEPTO DE CALBE APROPIADO. CON EL ELEMENTO CONDUCTOR EN HAZ COMO ELEMENTO BÁSICO UN TUBITO HUECO CON VARIAS FIBRAS ÓPTICAS, ESTE CONCEPTO DE CABLE SE DESTACA SOBRE TODO POR SU ROBUSTA ESTRUCTURA, ALTA DENSIDAD DE EMPAQUETAMIENTO, FLEXIBILIDAD Y SEGURA UNIVERSALIDAD EN EL FUTURO.

ESTRUCTURA DEL CABLE

PRESCINDIENDO DE LOS CABLES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA - EN PROXIMIDAD AL ABODANO Y DE LOS CABLES DE IMPLANTACIÓN DOMÉSTICA EN LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA PARA EL ÁREA DE REDES URBANAS SIRVE DE ELEMENTO BÁSICO EL CONDUCTOR EN HAZ. POR TAL SE ENTIENDE AQUÍ UN TUBITO SUELTO EN EL CUAL ESTÁN REUNIDAS HASTA DIEZ FIBRAS ÓPTICAS (Fig.1). SI SE PARTE DEL TRÁFICO BIDIRECCIONAL SOBRE SÓLO UNA FIBRA, EL CONDUCTOR EN HAZ CORRESPONDE AL CLÁSICO HAZ BÁSICO DE -- DIEZ PARES. VARIOS DE ESTOS ELEMENTOS CONDUCTORES EN HAZ TRENZADOS EN TORNO DE UN ELEMENTO DE APOYO CENTRAL CONSTITUYEN EL ALMA - DEL CABLE, QUE SE MANTIENE UNIDA POR UNA ESPIRAL DE RETENCIÓN O -- UNA COBERTURA DE HILO. DESPUÉS DEL HILADO DE LOS ELEMENTOS DE - - TRACCIÓN Y TRAS LA COLOCACIÓN DE UN RELLENO IMPERMEABLE AL AGUA, - LAS ALMAS DE CABLE RECIBEN UN REVESTIMIENTO, COMO SE LO CONOCE POR LAS ESTRUCTURAS DE CABLES CONVENCIONALES. EN LA RED DE DISTRIBU-- CIÓN SECUNDARIA CERCANA AL ABONADO, LA CANTIDAD DE LAS FIBRAS PUE-- DE REDUCIRSE HASTA LA RELACIÓN DE UNA FIBRA POR CONDUCTOR, DISMINU-- YENDO ENTONCES EL DIÁMETRO DEL TUBITO DE 3,0 A 1,4 MM.

ELEMENTO CONDUCTOR EN HAZ.

EL ELEMENTO CONDUCTOR EN HAZ ES UNA ENVOLTURA DE PLÁSTICO, ESTABLE, FLEXIBLE, RESISTENTE AL ENVEJECIMIENTO, INSENSIBLE A LAS MASAS DE RELLENO Y A LA HUMEDAD; TIENEN UN BAJO COEFICIENTE DE DILATACIÓN - DENTRO DE UNA GAMA DE TEMPERATURAS DE MÁS DE 110°C. EL DIÁMETRO - INTERNO DEL CONDUCTOR ESTÁ RICAMENTE DIMENSIONADO, CON 1,8 MM, PA-- RA DAR ALOJAMIENTO A UN MÁXIMO DE DIEZ FIBRAS CON 0,25 MM, DE DIÁ-- METRO CADA UNA. EL ESPACIO HUECO LO LLENA UNA MASA ALTAMENTE TIXO-- TRÓPICA, ELÁSTICA QUE NO GOTEA NI SE CONGELA ENTRE -30 Y + 70°C. - ENVOLTURA Y MASA DE RELLENO ADMITEN RELAJACIONES, ES DECIR, ADAPTA

CIONES A ESTADOS DE TENSIÓN, DE ALMA Y FIBRAS EN EL SENTIDO MÁS AMPLIO. LA ENVOLTURA, REPLETA DE ESTA MASA, NO SÓLO ES TRANSVERSALMENTE ESTABLE, SOBRE TODO EN EL TRENZADO, SINO TAMBIÉN RESISTENTE AL IMPACTO EN EL MARCO DE LO ESPERABLE. TODO ESTO ES VÁLIDO TAMBIÉN PARA EL TUBITO DE 1,4 MM CON FIBRAS INDIVIDUALES.

PAR PODER DISTINGUIR LAS FIBRAS INDIVIDUALES, ÉSTAS SON ENTINTADAS Y DE SER NECESARIO TAMBIÉN ANULARMENTE IMPRESAS. LAS CAPAS DE COLOR APLICADAS CON TAL PROPÓSITO, DE ALREDEDOR DE 2 μ m DE ESPESOR, NO TIENEN INFLUENCIA ALGUNA SOBRE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS FIBRAS. A SU TURNO, LA MASA DE RELLENO DEL CONDUCTOR EN HAZ NO TIENE NINGUNA INFLUENCIA SOBRE LAS PINTURAS DE LAS FIBRAS Y DE LA IDENTIFICACIÓN ANULAR. LA TABLA 1 CONTIENE UN EJEMPLO DE CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN CROMÁTICA, COMO YA ESTÁ PREVISTO EN UN PROYECTO DE NORMA,

ALMA DEL CABLE

VARIOS CONDUCTORES EN HAZ, CONJUNTAMENTE TRENZADOS ALREDEDOR DE UN ELEMENTO DE APOYO CENTRAL, CONSTITUYEN EL ALMA DEL CABLE. PRINCIPALMENTE POR ESTE TRENZADO, LAS FIBRAS ÓPTICAS DEL CONDUCTOR EN HAZ RECIBEN UN HUELGO LONGITUDINAL DEFINIDO, EN EL CUAL LAS SOLICITACIONES POR TRACCIÓN, RECALCADO Y, OBIAMENTE, TAMBIÉN FLEXIÓN, MIENTRAS NO EXCEDAN DE CIERTOS LÍMITES PREDETERMINADOS, NO EJERCEN INFLUENCIA ALGUNA SOBRE LAS PROPIEDADES DE TRANSMISIÓN ÓPTICA. PARA IDENTIFICAR LOS DISTINTOS CONDUCTORES EN HAZ SE ENTINTA EN CADA CAPA EL TUBITO DE UN CONDUCTOR EN HAZ, QUE RECIBE EL NOMBRE DE CONDUCTOR CONTADOR. LA CANTIDAD DE LOS ELEMENTOS CONDUCTORES POR TRENZAR DEPENDE DEL REQUERIMIENTO, PERO ES FÁCIL DE ADAPTAR A CADA CASO DE APLICACIÓN. PARA UN NÚMERO DE HASTA 250, O MEJOR 300 FIBRAS ÓPTICAS POR CABLE, LOS ELEMENTOS CONDUCTORES EN HAZ SE TRENZAN ALREDEDOR DE UN ELEMENTO CENTRAL EN UNA O DOS CAPAS, CONSTITUYENDO EL ALMA DEL CABLE.

EN EL INTERÉS DE UNA MÁS FÁCIL IDENTIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS CONDUCTORES EN HAZ ES CONVENIENTE, CUANDO SE UTILIZAN MÁS DE 300 FIBRAS POR CABLE, EMPLEAR, COMO ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL ALMA, HACES PRINCIPALES CON 50 Ó 100 FIBRAS, LOS CUALES, COMO ANTES LOS CONDUCTORES EN HAZ, SE TRENZAN EN CAPAS PARA CONFORMAR EL ALMA DEL CABLE. PARA PODER IDENTIFICAR CADA HAZ PRINCIPAL INDIVIDUAL,

SE CARACTERIZA EN CADA CASO UN HAZ PRINCIPAL DE CADA CAPA, QUE RECIBE EL NOMBRE DE HAZ CONTADOR, CON UNA ESPIRAL DE RETENCIÓN COLOREADA,

LA FIG. 2 MUESTRA LA ESTRUCTURA DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA PARA 50 FIBRAS QUE CONSTA DE CINCO ELEMENTOS CONDUCTORES EN HAZ Y CUYA ALMA CORRESPONDE A UN HAZ PRINCIPAL DE 50. EL COMPORTAMIENTO DE ESTE CABLE CON RESPECTO A SOLICITACIÓN POR TRACCIÓN Y FLUCTUACIONES DE TEMPERATURA PUEDE OBSERVARSE POR LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA FIG. 3,

Fibra 1	azul
Fibra 2	amarillo
Fibra 3	rojo
Fibra 4	rojo
Fibra 5	natural
Fibra 6	azul (20 millos)
Fibra 7	amarillo (20 millos)
Fibra 8	verde (20 millos)
Fibra 9	rojo (20 millos)
Fibra 10	natural (20 millos)

TABLA 1 EJEMPLO DE CÓDIGO DE COLORES

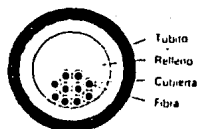
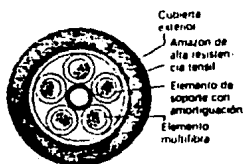


FIG. 1 ELEMENTO CONDUCTOR CON DIEZ FIBRAS

FIG. 2 CABLE CON 50 FIBRAS, COMPUESTO DE UN GRUPO DE CINCO ELEMENTOS CONDUCTORES MULTIFIBRA.



VARIACIÓN DE LA ATENUACIÓN

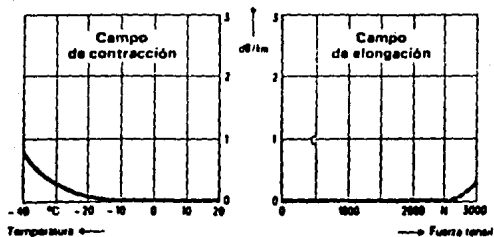
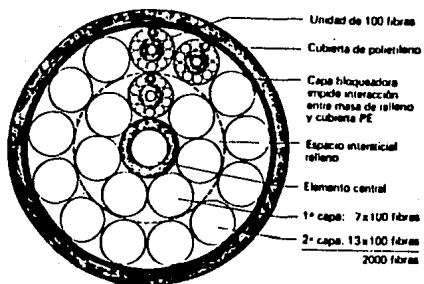


FIG. 3 RESPUESTA DE UN CABLE CONFORME FIG. 2.

FIG. 4 CABLE DE 2000 FIBRAS, FORMADO POR UNIDADES.



LA FIG. 4 REPRODUCE LA ESTRUCTURA POSIBLE DE UN CABLE PRINCIPAL CON 2000 FIBRAS; AQUÍ EL ALMA ESTÁ CONSTITUIDA POR HACES PRINCIPALES -- CON 100 FIBRAS CADA UNO. EL HAZ PRINCIPAL INDIVIDUAL REPRESENTADO EN LA FIG. 4 CORRESPONDE EN SU ESTRUCTURA ASIMISMO AL ALMA DE UN CABLE CON 100 FIBRAS.

PARA ALCANZAR IMPERMEABILIDAD LONGITUDINAL ANTE IRUPCIONES DE AGUA EL ALMA DEL CABLE RECIBE UNA MASA DE RELLENO ESPECIAL QUE RESULTA FÁCIL REMOVER DURANTE TRABAJOS DE MONTAJE. LA COMPOSICIÓN DE LA MASA DE RELLENO, LA ESTRUCTURA DE LOS CONDUCTORES Y UNA CAPA BLOQUEANTE-ENTRE ALMA Y REVESTIMIENTO EVITAN TODA ACCIÓN RECÍPROCA COMPROBABLE ENTRE ELLA Y LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL CABLE; ASIMISMO, ESTÁ ASEGURADO QUE SE SUPERA UNA PRUBE DE ESCURRIMIENTO.

REVESTIMIENTO DEL CABLE

SI SE RODEA EL ALMA LONGITUDINALMENTE IMPERMEABLE AL AGUA CON UN BODINADO RESISTENTE A LA TRACCIÓN DE HILO DE VIDRIO O ARAMIDA Y UN REVESTIMIENTO DE PLÁSTICO ENTRE LA COBERTURA DE HILO. ASIMISMO IMPREGNADA, Y EL REVESTIMIENTO SE COLOCARÁ UNA CAPA BLOQUEADORA PARA LA MASA DE RELLENO, A FIN DE IMPEDIR EL CONTACTO CON EL REVESTIMIENTO. COMO MATERIAL DE REVESTIMIENTO ENCUENTRA APLICACIÓN POR LO REGULAR-EL YA MÚLTIPLEMENTE, ACREDITADO POLIETILENO, QUE, SIN PROTECCIÓN, ES HINCHADO POR MASA DE RELLENO TIPO PETROLATO. COMO CAPA BLOQUEANTE SE PUEDE EMPLEAR CUALQUIER PLÁSTICO RESISTENTE (INYECTADO O ARROLLADO) O LA LÁMINA DE ALUMINIO DEL REVESTIMIENTO POR ESTRATIFICACIÓN. EL CABLE CAPAZ DE RESISTIR DE ESTA MANERA A TODAS LAS SOLICITACIONES USUALES, PUEDE SER PROVISTO CON UN ENCASQUETADO RESISTENTE A TRACCIÓN (CONECTADO CON LOS ELEMENTOS DE TRACCIÓN) Y PUEDE SER TENDIDO O TIRADO EN FORMA USUAL.

COMO LA PRODUCCIÓN DE UN ENCASQUETADO RESISTENTE A LA TRACCIÓN ES CARA, Y CONTRADICE LA IDEA DE PODER CORTAR LOS TROZOS DE CABLE SEGÚN LAS NECESIDADES DESDE LARGOS DE PRODUCCIÓN LO MÁS LARGOS POSIBLE, SE EXIGE CADA VEZ MÁS UN ASÍ LLAMADO REVESTIMIENTO "RESISTENTE A LA TRACCIÓN". SU RESISTENCIA DEBE SER LO SUFICIENTEMENTE GRANDE-PARA QUE, INCLUSO AL TIRARSE LONGITUDES SUPERIORES A LOS 1000 M CON UNA MANGA DE ESTIRAR, NO SE DESLICE SOBRE EL ALMA DEL CABLE.

LOS REVESTIMIENTOS CON ELEMENTOS DE TRACCIÓN INCORPORADOS SON INDUDABLEMENTE UNA SOLUCIÓN; PERO, LA MAYORÍA DE LAS VECES, SON RÍGIDOS A LA FLEXIÓN Y, AL DOBLARSE, PONEN EL ALMA EN PELIGRO DE RECALCARSE POR DESPLAZAMIENTO DE LA LINEA ELÁSTICA. SE OFRECE AQUI UNA SOLUCIÓN SIMPLE Y TÉCNICAMENTE INOBJETABLE: SI SE RECUBRE EL ALMA, YA RELLENADA Y BOBINADA CON ELEMENTOS DE TRACCIÓN, CON UN ADHESIVO TERMOPLÁSTICO RESISTENTE AL PETROLATO Y RELAJANTE, SE OBTIENE UNA CAPA BLOQUEANTE QUE APOYA EL REVESTIMIENTO. ADEMÁS, POR ESTE MEDIO, SE PUEDEN EMPLEAR LOS ELEMENTOS DE TRACCIÓN DEL CABLE TAMBIÉN PARA EL REVESTIMIENTO, SIN EL PELIGRO DE RECALCAR EL ALMA, YA QUE LOS TIEMPOS DE RELAJACIÓN DE LOS ADHESIVOS FUSIBLES AQUI EMPLEADOS SON SUFICIENTEMENTE CORTOS AUN CON BAJAS TEMPERATURAS. EL ADHESIVO FUSIBLE PERMITE DESPLAZAMIENTOS LENTOS DE LOS ELEMENTOS DE TRACCIÓN SIN PERDER SUS FUNCIONES.

PARA APLICACIONES ESPECIALES, POR EJEMPLO, ANTE LA EXIGENCIA DE INFLAMABILIDAD PARTICULARMENTE ALTA, FUERA DEL POLIETILENO HAY OTROS MATERIALES ESPECIALES QUE ESTÁN A DISPOSICIÓN, PREFERENTEMENTE LOS REVESTIMIENTOS PUR (POLYURETANTE RUBBER) O REVESTIMIENTOS FRNC (FLAMA RETARDENT, NON CORROSIVE).

DE ACUERDO CON EL ACTUAL ESTADO DE LA TÉCNICA, PARA EL ÁREA DE REDES LOCALES ESTÁN PREVISTOS CALBES DE FIBRA ÓPTICA ENTRE 10 Y 2000 FIBRAS.

COMO VENTAJAS DE LA ENVOLTURA SUELTA Y DE LA TÉCNICA DE ELEMENTOS CONDUCTORES EN HAZ CABE MENCIONAR LAS SIGUIENTES:

SUFICIENTE HUELGO PARA LA FIBRAS ANTE UNA ALTERACIÓN LONGITUDINAL PROVOCADA, POR EJEMPLO, POR FLUCTUACIONES DE TEMPERATURA O CARGAS PRO TRACCIÓN (DICHO HUELGO IMPIDE QUE DENTRO DE CIERTOS LÍMITES PREDETERMINADOS OCURRAN ATENUACIONES ADICIONALES O CARGAS MECÁNICAS ADICIONALES);

- DISPOSICIÓN DE HASTA DIEZ FIBRAS EN UNA ENVOLUTRA, LO QUE PERMITE ALCANZAR UNA ALTA DENSIDAD DE EMPAQUETAMIENTO;
- EMPLEO DE JUEGOS DE EMPALME POR ELEMENTO CONDUCTOR EN HAZ Y, EN CONSECUCIÓN, FACILITACIÓN DE LOS EMPALME Y DE LAS DERIVACIONES;
- DIÁMETROS Y PESOS DE CABLE MÍNIMOS;
- ESTRUCTURA DE CABLE LIBRE DE METAL;

IMPERMEABILIDAD LONGITUDINAL AL AGUA DE LA ENVOLTURA DEL HAZ Y DEL CABLE;

- ALTERACIÓN DE ATENUACIÓN DESDEÑABLE BAJO CONDICIONES CALCULABLES; PARA LA CONFIRMACIÓN DE CABLES COMPLETOS DEBEN SER CONOCIDOS AL -- CONSTRUCTOR TODAS LAS CONDICIONES MARGINALES.

EN PRIMERA LÍNEA LE INTERESAN:

- CANTIDAD PREVISTA DE FIBRAS Y SUS PROPIEDADES DE TRANSMISIÓN; CASO DE APLICACIÓN ESPECIAL (CABLE PARA INTERIORES, EN CAÑERÍA, EN TERRADO, AÉREO O MARÍTIMO);
- CARGAS CLIMÁTICAS Y GEOGRÁFICAS (POR EJEM. TEMPERATURA, TRACCIÓN, PRESION, CARGA DE HIELO O VIENTO).
- SIN ALTERACIONES FUNDAMENTALES DEL CONCEPTO DE CONDUCTOR EN HAZ -- PUEDEN SOLUCIONARSE TODOS LOS PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN MEDIANTE LA ADOPCIÓN DE MEDIDAS COMPLEMENTARIAS.

VARIANDO LAS DIMENSIONES DE CONDUCTOR HUECO Y EL PASO DE CABLEADO DURANTE EL TRENZADO DEL ALMA, POR UNA PARTE, O VARIANDO LOS ELEMENTOS DE TRACCIÓN Y RECALCADO, POR OTRA, PUEDE AMPLIARSE EL RANGO DE USO MECÁNICO Y MEDIANTE LA ELECCIÓN DE OTROS MATERIALES CONSTRUCTIVOS TAMBIÉN TÉRMICO. ESPECIALES PLÁSTICOS NO COMBUSTIBLES O REVESTIMIENTOS EXTERNOS RESISTENTES A ROEDORES CONDUCE A CABLES INFLAMABLES O SEGUROS CONTRA RODENTIA.

TENDIDO DE LOS CABLES Y ESTRUCTURA DE LA RED.

EN TENDIDO DE CALBES, LOS "LIVIANOS" CABLES DE FIBRA ÓPTICA OFRECEN VENTAJAS CON RESPECTO A LOS CABLES DE COBRE. ASÍ, LOS CABLES DE ALTA CAPACIDAD, POR SU PESO Y SUS DIMENSIONES, SÓLO TIENEN TODAVIA LARGOS PARA EL PASADO NORMAL DE 330 M; LOS DIÁMETROS DE ESTOS CABLES DETERMINABAN HASTA AHORA TAMBIÉN LOS DIÁMETROS MÁXIMOS DE LAS CAÑERIAS. UNA CONFRONTACIÓN DE LAS DIMENSIONES; PESOS Y LARGOS DE SUMINISTRO PARA CALBES DE FIBRAÓPTICA Y CABLES DE COBRE MUESTRA LA TABLA 2. EN ELLA SE SUPUSO PARA LA LÍNEA DE ABODANO UNA OPERACIÓN CON MULTIPLE DE LONGITUD DE ONDA, QUE POSIBILITA LA TRANSMISIÓN DE IDA, Y VUELTA SOBRE UNA ÚNICA FIBRA.

CON LA INTRODUCCIÓN DE LA TÉCNICA DE FIBRA ÓPTICA SE HACE NECESARIO REPLANTEAR LA TÉCNICA DE REDES LOCALES. COMO CADA EMPALME CAUSA UNA ATENUACIÓN ADICIONAL, DEBEN AHORRARSE LOS PUNTOS DE ENLACE; SERÁ MENESTER POR LO TANTO PLANEAR MANGUITOS DE REPARTO, Y DE ENLACE O DE BIFURCACIÓN EN LA CANTIDAD MENOR POSIBLE Y EVITAR DENTRO DE LO POSIBLE LAS CRUZADAS EN DISTRIBUIDORES DE CABLES. EN LA REALIDAD ES POSIBLE REDUCIR LOS PUNTOS DE EMPLAME, SI SE TOMAN EN CUENTA LOS SIGUIENTES PUNTOS:

- TENIENDO EN PARALELO DE VARIO CABLES LO MÁS LARGOS POSIBLES (AHORRO DE MANGUITOS DE BIFURCACIÓN);
- REPARTO SIN MANGUITOS EN LA CENTRAL DE CONMUTACIÓN;
- REPARTO HACIA ADELANTE Y HACIA ATRÁS EN LOS MANGUITOS DE BIFURCACIÓN.

CON AYUDA DE UN EJEMPLO PARA UNA RED LOCAL DE CORREO FEDERAL ALEMÁN EN CONCORDANCIA CON LA FIG. 5, RESULTA CLARO QUE AHORROS DE ENLACE SON POSIBLES CUANDO SE TOMAN EN CONSIDERACIÓN LOS PUNTOS ANTERIORMENTE MENCIONADOS.

Cantidad de conductores		Diámetro		Peso		Largo de suministro	
Fo	Cu Pares	Fo mm	Cu mm	Fo kg/km	Cu kg/km	Fo m	Cu m
Cables principales							
50	50	11,5	17,0	100	275	2000	1000
100	100	17	21,5	150	495	2000	1000
500	500	38	40,0	1055	1785	1000	1000
1000	1000	45	50,0	1850	3065	1000	750
2000	2000	66	66,5	2750	7395	1000	330
Cables de derivación							
2, 4, 6	0	10	11,0	95	120	2000	1000
10	10	11	12,5	95	165	2000	1000
40	40	13,5	21,0	100	500	2000	1000
100	100	17	30,5	100	1125	2000	1000
200	200	24	41,5	295	2120	2000	1000

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA (Fo) Y DE COBRE (Cu).

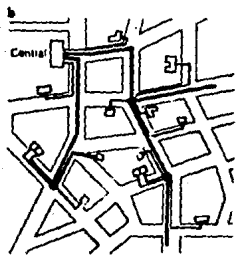
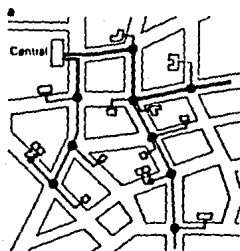


FIG. 5. ESQUÉMATICO DE UN PLANTEL EXTERIOR.

A) INSTALACIÓN CON CABLES DE COBRE Y DIEZ MUFLAS

B) INSTALACIÓN CON CABLES DE FIBRA ÓPTICA Y TRES MUFLAS.

PLANIFICACION DE INSTALACIONES DE CABLES CON FIBRAS OPTICAS

EN LA TÉCNICA DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS SE HAN LOGRADO APRECIABLES ADELANTOS EN LOS ÚLTIMOS TIEMPOS. YA SE DISPONE DE LAS PRIMERAS EXPERIENCIAS EN LA EXPLOTACIÓN DEL NUEVO MEDIO DE TRANSMISIÓN-FIBRA ÓPTICA, OPERANDO YA ACTUALMENTE VARIAS INSTALACIONES A SATISFACCIÓN. EN LA PLANIFICACIÓN DE TALES INSTALACIONES HAY QUE TENER EN CUENTA, ANTE TODO, LA ATENUACIÓN, EL ANCHO DE BANDA DE LAS FIBRAS UTILIZADAS Y SUS EMPALMES.

CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN DE UNA FIBRA ÓPTICA.

LA ATENUACIÓN Y EL ANCHO DE BANDA SON LOS PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES PARA LA PLANIFICACIÓN DE INSTALACIONES DE FIBRAS ÓPTICAS. HABITUALMENTE AMBAS MAGNITUDES SON REFERIDAS A LA POTENCIA ÓPTICA, QUE LA FIBRA ÓPTICA O EL COMPONENTE ÓPTICO DEBEN TRANSMITIR EN SERVICIO REGLAMENTARIO. DESIGNANDO CON P_i LA POTENCIA ÓPTICA DE ENTRADA, Y CON P_A LA DE SALIDA, RIGE PARA LA ATENUACIÓN A (EN DB):

$$a = -10 \lg (P_A / P_i) \quad (1)$$

OBSERVANDO UNA LÍNEA HOMOGÉNEA (O SEA UN CONDUCTOR ÓPTICO NO INTERFERIDO), LA ATENUACIÓN A PUEDE SER RELACIONADA CON LA LONGITUD L (EN KM); RIGE PARA EL FACTOR DE ATENUACIÓN a (EN DB/KM) LA RELACIÓN:

$$a = A/L \quad (2)$$

EN DICHA FÓRMULA, a ES UNA FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA LUMÍNICA. LAS FIBRAS ÓPTICAS DE ÍNDICE GRADUAL USADAS ACTUALMENTE TIENEN, -- POR EJEMPLO, PARA 850 NM ATENUACIONES ENTRE 2,5 DB/KM Y 4 DB/ KM, --

PARA 1300 NM LOS CORRESPONDIENTES VALORES ESTÁN UBICADOS APROXIMADAMENTE EN 1,5 DB/ KM POR DEBAJO (ES DECIR, LA ATENUACIÓN SE SITÚA ENTRE 1,0 DB / KM Y 2,5 DB/ KM APROXIMADAMENTE). DESARROLLOS TÍPICOS DE CURVAS DE ATENUACIÓN ESTÁN REPRESENTADAS EN (1).

ENLACES DE TRANSMISIÓN EN FIBRA ÓPTICA MUESTRAN UN COMPORTAMIENTO TÍPICO DE PASABAJO. MODULANDO LA POTENCIA ÓPTICA DE ENTRADA EN FORMA SINUSOIDAL, LA AMPLITUD DE ESTA MODULACIÓN DE POTENCIA ÓPTICA DISMINUYE A LA SALIDA CON EL AUMENTO DE LA FRECUENCIA DE MODULACIÓN. LA FUNCIÓN DE TRANSMISIÓN SE ASEMEEJA A UN PASABAJO GAUSIANO. LA FRECUENCIA DE MODULACIÓN, CON LA CUAL LA AMPLITUD DE MODULACIÓN DE LA POTENCIA ÓPTICA HA DISMINUIDO EN 3 DB (POR LO TANTO, LA ATENUACIÓN DE LA SEÑAL HA AUMENTADO EN 3 DB), SE DENOMINA FRECUENCIA LÍMITE DE PASABAJO O GENERALMENTE ANCHO DE BANDA B. LA FIG 1 MUESTRA ESTE COMPORTAMIENTO DE PASABAJO.

EL ANCHO DE BANDA NECESARIO PARA UN ENLACE ESTÁ DETERMINADO POR LA SEÑAL A TRANSMITIR. PARA 34 Mbit/s SE NECESITAN, POR EJEMPLO, 50-MHz Y PARA 140 Mbit/s, EL VALOR ES DE 130 MHz. PARA PROYECTAR EL ANCHO DE BANDA DE UNA INSTALACIÓN SE PUEDE PROCEDER DE DOS FORMAS: ANALIZAR EL VALOR DE ANCHO DE BANDA B A LO LARGO DE LA RUTA O SUMAR DE FORMA APROPIADA LA ATENUACIÓN ADICIONAL PARA UNA DETERMINADA FRECUENCIA (POR EJEMPLO $\Delta\omega$ EN 120 MHz).

EN TODAS LAS DEFINICIONES REFERIDAS A LA POTENCIA ÓPTICA HAY QUE TENER EN CUENTA QUE LOS RECEPTORES ACTUALMENTE EN USO LA CONVIERTEN LINEALMENTE EN CORRIENTE. LA POTENCIA ELÉCTRICA QUE SE PRESENTA EN UNA RESISTENCIA DE CARGA DEPENDE POR LO TANTO DEL CUADRADO DE LA POTENCIA ÓPTICA P_A , EN CONSECUENCIA A LA FRECUENCIA LÍMITE DE 3DB DEFINIDA PARA EL LADO ÓPTICO, EQUIVALE EN LA BANDA BASE A UNA CAIDA DE 6 DB. POR TAL MOTIVO, APARECE ADEMÁS EN LA LITERATURA TÉCNICA DE VEZ EN CUANDO EL CONCEPTO DE "ANCHO DE BANDA DE 6 DB" CON EL CUAL, SIN EMBARGO, TAMBIÉN SE ENTIENDE EL ARRIBA DEFINIDO ANCHO DE BANDA B.

INDICACIONES DE ATENUACIÓN Y DE NIVEL

A LA LUZ DE LA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA, LAS FIBRAS ÓPTICAS SON GUIAS DE ONDAS ABIERTAS Y DIELECTRICAS. JUNTO A LOS MODOS CONDUCIDOS (SERVICIO ESTIPULADO) APARECEN ADEMÁS MÚLTIPLES MODOS IRRADIADOS EN MA

YOR O MENOR GRADO (MODOS DE FUGA) CUYOS EFECTOS DEBERÁN SER TENI--
DOS EN CUENTA EN TODAS LAS MEDICIONES Y DEFINICIONES, DADO QUE PUE
DEN CONDUCIR A UN COMPORTAMIENTO DE TRANSICIÓN, ESPECIALMENTE EN -
EL PUNTO DE ACOPLAMIENTO, PERO TAMBIÉN EN TODO PUNTO DE EMPALME. -
UNA PLANIFICACIÓN SISTEMÁTICA DE LA INSTALACIÓN ES FACTIBLE, CUAN-
DO TODOS LOS DATOS DE NIVEL Y ATENUACIÓN SE REFIEREN A UN ESTADO -
DEL CAMPO, QUE EN LOS POSIBLE NO SE ALTERE A LO LARGO DE LA LÍNEA-
(ESTADO DE CAMPO ESTACIONARIO),

POR EJEMPLO, AL MEDIR LA ATENUACIÓN DE UNA FIBRA MONOMODO SE DEBE-
RÁ PRESTAR ATENCIÓN, QUE LA LUZ SÓLO SEA ACOPLADA EN LA ZONA NUCLE
AR (DIÁMETRO POR EJEM. 10 μ M, DIFERENCIA DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN-
0,3 %) CON LA CORRESPONDIENTE APERTURA NUMÉRICA. SI SE SOBRECARGA
AL GUIAONDAS (ACOPLAMIENTO TOTAL), PRIMERAMENTE SE ELIMINARÁN CON-
CUIDADO LOS MODOS DE FUGA Y LOS MODOS PERIFÉRICOS QUE ESTÁN PERTUR
BANDO (SEA POR MEDIO DE UNA CAPA SOBRE LA FIBRA, CUYO ÍNDICE DE RE
FRACCIÓN ES SUPERIOR AL DEL VIDRIO DEL REVESTIMIENTO, O BIEN SUMER
GIENDO UN TROZO DE FIBRA DESCAPADA EN UN LIQUIDO DE REFRACCIÓN MA-
YOR),

CONDICIONES MÁS COMPLEJAS AÚN SE PRESENTAN EN LAS FIBRAS MULTIMODO
CON PERFIL DE INDICE GRADUAL NÚCLEO DE 50 μ M)M PARA LAS CUALES EL-
ÁNGULO DE ACEPTACIÓN DE LOS MODOS DISMINUYE DESDE EL EJE HACIA LA-
PERIFERIA. ÉSTA PARTICULARIDAD DEBE SER CONSIDERADA EN LAS MEDICIO
NES DE ATENUACIÓN, DADO QUE SÓLO PUEDEN SER UTILIZADOS LOS GENERA-
DORES DE SEÑALES CON UNA DISTRIBUCIÓN DEFINIDA DE LA LUZ.

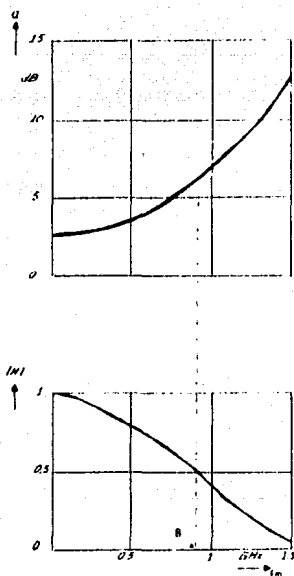


FIG. 1 CARACTERÍSTICA PASABAJO DE UNA FIBRA ÓPTICA DE 1 KM DE LONGITUD CON $B_p = 800$ MHz Km; ATENUACIÓN A EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA DE MODULACIÓN F_m Y VALOR DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA (H)

PLAN DE ATENUACIÓN PARA UNA INSTALACIÓN DE
DE CABLES ÓPTICOS CON FIBRAS MONOMODO
Y MULTIMODO

UNA INSTALACIÓN DE CABLES DE FIBRAS ÓPTICAS COMPRENDE LOS LARGOS -
DE CABLE TENDIDOS Y EMPALMADOS ENTRE SI, EXTENDIÉNDOSE EN LOS EX--
TREMOS HASTA LA PRIMERA UNIÓN SEPARABLE (CONECTOR). EN LAS MEDI--
CIONES PARA LA RECEPCIÓN DE LA INSTALACIÓN SE SEPARA CONVENIENTE--
MENTE ESTA CONEXIÓN ENCHUFABLE, INTRODUCIENDO LA ESPIGA DE CONTACTO
EN EL RECEPTÁCULO DEL PUESTO DE MEDICIÓN.

COMO EN ESTE CASO NO SE REGISTRA LA ATENUACIÓN DEL CONECTOR, SE LA
CONSIDERA EN EL PLAN DE ATENUACIÓN DE LOS EQUIPOS.

DANDO CUMPLIMIENTO A LOS REQUISITOS DESCRITOS CON RESPECTO A LA --
TÉCNICA DE MEDICIÓN, LOS DIVERSOS VALORES DE LA ATENUACIÓN (LARGO-
DE CABLE l_i CON EL FACTOR DE ATENUACIÓN α_i , EMPALMES DE LA ATENUA-
CIÓN s_j) PUEDEN SER SUMADOS ENTRE SI:

$$a_k = \sum a_i + \sum s_j \text{ con } a_i = l_i \alpha_i \quad (3)$$

ESTA ECUACIÓN SUMINISTRA LA ATENUACIÓN a_k DE LA INSTALACIÓN DE CA-
BLES, UNA VEZ CONOCIDOS TODOS LOS VALORES PARCIALES.

EN LOS VALORES DE ATENUACIÓN a_i DE LOS LARGOS DE CABLES SE CONSIDE-
RÁN ESPECIALMENTE LOS AUMENTOS DE ATENUACIÓN TAL VEZ PRESENTES - -
(POR EJEM. DEBIDO A ESFUERZOS POR EL TENDIDO O EFECTOS DE LA TEMPE-
RATURA). DE ACUERDO A LAS EXPERIENCIAS DE SIEMENS ADQUIRIDAS EN -
LA INSTALACIÓN DE MÁS DE 30.000 KM DE FIBRA ÓPTICA (5 A 10) NO SE-
PRESENTAN AUMENTOS DE LA ATENUACIÓN EN CABLES DE PROTECCIÓN TUBU--
LAR CORRECTAMENTE DIMENSIONADOS. EN TAL CASO SE PUEDEN COLOCAR EN
LA ECUACIÓN (3) SIMPLEMENTE LOS VALORES DE ATENUACIÓN DE LOS LAR--
GOS PROVISTOS, MEDIDOS EN EL CONTROL DE CALIDAD DE LA FABRICACIÓN-
DEL CABLE.

DISTINTOS MÉTODOS DE PLANIFICACIÓN.

LA SUMA SEGUN (3) PUEDE SER USADA DE DIFERENTES FORMAS EN LA PLANIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES DE CABLES A EJECUTAR. EN LA PLANIFICACIÓN POR VALOR MEDIO SE PARTE DE VALORES MEDIOS DE LA ATENUACIÓN DEL EMPALME $\bar{\alpha}$ Y LA ATENUACIÓN DEL CABLE CONOCIDOS, Y SI J ES LA CANTIDAD DE EMPALMES, ENTONCES RIGE PARA LA ATENUACIÓN MEDIA DE UNA INSTALACION DE CABLES DE LA LONGITUD L :

$$\bar{\alpha}_k = \bar{\alpha}L + j\bar{\alpha} \quad (4)$$

LA ATENUACION MEDIA DEL CABLE DEPENDE DE LA LONGITUD DE ONDAS Y DE LA CALIDAD DEL CABLE UTILIZADO. LA ATENUACION MEDIA DEL EMPALME ESTA UBICADA, SEGUN EL PROCEDIMIENTO APLICADO, EN EL RANGO DE 0,1 A 0,3 DB. LOS VALORES DE ATENUACIÓN DE LAS INSTALACIONES DE CABLES EFECTIVAMENTE REALIZADAS PUEDEN FLUCTUAR ALREDEDOR DE ESTE VALOR MEDIO. ESTAS FLUCTUACIONES PUEDEN SER CONSIDERADAS EN LA PLANIFICACIÓN SIMPLEMENTE CON AUXILIO DE LAS DESVIACIONES NORMALES DE LAS DIVERSAS DISTRIBUCIONES.

EN LA PLANIFICACION CON AUXILIO DE DESVIACIONES NORMALES SE SUPONE QUE LAS VARIACIONES DE LAS DISTINTAS DISTRIBUCIONES PUEDEN SER SUMADAS, OBTIENDO, POR LO TANTO, PARA LA DESVIACIÓN NORMAL Ó DE LA INSTALACION.

$$\sigma_s = \sqrt{j\sigma_s^2 + i\sigma_k^2} \quad (5)$$

AQUI σ Y σ_k SIGNIFICAN LA DESVIACION NORMAL DE LA ATENUACION DEL EMPALME Y DEL CABLE RESPECTIVAMENTE, J LA CANTIDAD DE EMPALMES E i LA CANTIDAD DE LARGOS DE SUMINISTRO DE CABLE (POR EJEM. EN KM) DE MEDICIONES ESTADISTICAS EXISTEN LOS SIGUIENTES VALORES NUMÉRICOS: σ_s ALREDEDOR DE 0,2 A 0,3 DB/KM. EN LA PLANIFICACIÓN DE LA ATENUACIÓN PODEMOS TENER EN CUENTA LA DISPERSIÓN SUMANDO ADICIONALMENTE AL VALOR MEDIO α_k UN MÚLTIPLO k DE LA DESVIACIÓN NORMAL - - ($k=2$ ó 3).

$$\alpha_k \geq \bar{\alpha}_k + \rho \sigma \quad (6)$$

OBTENIENDO ASÍ UNA MEDIDA DE LA ATENUACIÓN MÁXIMA ESPERADA PARA LA INSTALACION.

EN LA PLANIFICACIÓN A VALORES LÍMITES PRESUPONE QUE CADA LARGO DE CABLE FUE EXACTAMENTE MEDIDO EN LA FABRICACIÓN QUE SÓLO SE UTILIZAN LARGOS, CUYA ATENUACIÓN ESTÁ SITUADA DEBAJO DE UN VALOR LÍMITE α_G PREFIJADO. ADEMÁS SE SUPONE QUE CADA PUNTO DE EMPALME HAYA SIDO MEDIDO EN CAMPO, TOLERÁNDOSE SOLAMENTE ATENUACIONES DE EMPALME DEBAJO DE UN VALOR LÍMITE s_G . LUEGO RESULTA DE LA ECUACIÓN (3),

$$\alpha < L + j s_G \quad (7)$$

EN CASO QUE LOS EMPALMES NO DEBAN SER EXPRESAMENTE MEDIDOS EN EL CAMPO PODEMOS LLEVAR A CABO CONVENIENTEMENTE UNA PLANIFICACIÓN MIXTA. LA ATENUACIÓN DEL CABLE EN ESTE CASO ENTRA EN LA ECUACIÓN (7) COMO VALOR LÍMITE α_G SOBRE LA BASE DE UN CONVENIO DE PROVISIÓN, MIENTRAS QUE LA ATENUACIÓN DEL EMPALME ES TRATADA ESTADÍSTICAMENTE SEGÚN LAS ECUACIONES (5) Y (6):

$$\alpha_k \leq L \alpha + j s + \rho \sigma \sqrt{J} \quad (8)$$

CON LAS ECUACIONES (6), (7) Y (8) ES POSIBLE CALCULAR EN CADA CASO LA ATENUACIÓN MÁXIMA ESPERADA DE LA INSTALACIÓN.

2.4.- TRANSMISORES OPTICOS.

DIODOS LUMINISCENTES DE ALTA RADIANCIA PARA TRANSMISORES OPTICOS

PARA LA TRANSMISIÓN ÓPTICA DE INFORMACIÓN CON FIBRAS MULTIMODO RESULTAN APROPIADOS, EN UN AMPLIO RANGO DE SECCIONES REGENERADORAS Y TASAS DE TRANSMISIÓN, DIODOS LUMINISCENTES SIMPLES Y DE COSTO FAVORABLE QUE EMITEN ESPONTÁNEAMENTE Y SE DESTACAN POR SU ROBUSTEZ Y LARGA VIDA. PARA SISTEMAS MÁS SIMPLES ALCANZAN DIODOS NORMALES, QUE EMITEN EN LA ZONA ESPECTRAL ROJA VISIBLE. PARA MAYORES REQUERIMIENTOS, POR EJEMPLO EN SISTEMAS CON TASAS DE TRANSMISIÓN EN LA GAMA DE LOS MEGABITS POR SEGUNDO Y SECCIONES REGENERADORAS EN EL RANGO DE KILÓMETROS, SE DESARROLLARON ESPECIALMENTE PARA EL EMPLEO EN SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA DIODOS QUE EMITEN LUZ INFRARROJA, OPTIMIZADOS PARA LAS VENTANAS DE TRANSMISIÓN FAVORABLES DE 800 A 900 NM Y DE 1300 NM DE LONGITUD DE ONDA.

EN ESTA CONTRIBUCIÓN SE TRATA DE INFORMAR SOBRE UN DIODO LUMINISCENTE DE GaAs CON UNA LONGITUD DE ONDA DE 900 NM PARA APLICACIONES SIMPLES SOBRE UNOS DIODOS DE ALTA POTENCIA CON ARQUITECTURA DOBLE-HETEROESTRUCTURAL DE ALGaAs Y DE InGaAsP/InP CON LONGITUDES DE ONDA EN TORNO DE 830 Y 1300 NM RESPECTIVAMENTE, QUE CUBREN APLICACIONES EN SISTEMAS CON TASAS DE TRANSMISIÓN DE ALGUNOS MEGABITS POR SEGUNDO A MÁS DE 100 Mbit/s, Y SECCIONES REGENERADORAS DESDE POCOS METROS HASTA MÁS DE 10 Km.

LOS DIODOS TRANSMISORES PARA SISTEMAS DE TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA SE ADAPTAN A LOS REQUERIMIENTOS POR MEDIO DE:

- UN AJUSTE DE LA LONGITUD DE ONDA DE EMISIÓN A LOS RANGOS DE BAJA ATENUACIÓN Y A LA DISPERSIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA.
- LA REALIZACIÓN DE UNOS TIEMPOS DE SUBIDA Y BAJADA DE LA EMISIÓN DE LUZ INFRARROJA LO SUFICIENTEMENTE CORTOS PARA EL ANCHO DE BANDA O LA TASA DE TRANSMISIÓN REQUERIDA. PERO SOBRE TODO POR MEDIO DE.

- LA ESTRUCTURACIÓN DE LOS DIODOS EN TAL FORMA QUE LA LUZ INFRARROJA DE UN VOLUMEN ACTIVO MUY PEQUEÑO SEA EMITIDA VERTICALMENTE A LA JUNTURA PN DESDE EL PLANO DE COBERTURA DEL CUBO DE CRISTAL SEMICONDUCTOR (EMISOR PLANAR). ÉSTA MEDIDA, JUNTAMENTE CON UNA BAJA RESISTENCIA TÉRMICA, QUE POSIBILITA UNA FUERTE CARGA DE CORRIENTE, CONDUCE A UNA GRAN DENSIDAD DE RADIACIÓN Y, POR TANTO, TAMBIÉN A UNA ALTA POTENCIA DE RADIACIÓN ÓPTICA ACOPLADA DEL DIODO SOBRE LA FIBRA.

EN LOS DIODOS DE ALTA POTENCIA SE UTILIZA ADICIONALMENTE LAS VENTAJAS DE UN DISEÑO LAMINAR DOBLE-HETEROESTRUCTURAL, SOBRE TODO EL ALTO RENDIMIENTO CUÁNTICO (1).

DIODO DE GAAs DIFUNDIDO PARA 900 NM DE LONGITUD DE ONDA

DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL DISEÑO, INDUDABLEMENTE EL DIODO TRANSMISOR MÁS SIMPLE, PARA LOS SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA, ES EL QUE MUESTRA LA FIG. 1. LA VERSIÓN AQUÍ MÁS DE CERCA DESCRITA, SFH-407, ES PRODUCIDA EN TECNOLOGÍA PLANAR, CUYO MATERIAL INICIAL CONSISTE EN DISCOS DE CRISTAL DE GAAs, DE APROXIMADAMENTE 10 CM² DE TAMAÑO, DOTADOS N. PARA MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS POR RECOMBINACIÓN NO RADIANTE SOBRE FALLAS DE CRISTAL, SE EMPLEAN DISCOS DE CRISTAL DE BAJA DENSIDAD DE DISLOCACIÓN (< 4000 CM²).

LA FIG. 2 REPRODUCE UNA SECCIÓN TRANSVERSAL POR EL CUERPO DEL DIODO CON LA LONGITUD DE CANTO DE 400 μ M. EL DIODO CONSISTE EN GAAs N CON UNA REGIÓN P DE 200 μ M DE DIÁMETRO SOBRE EL LADO SUPERIOR DE LA LUZ INFRARROJA, GENERADA PRINCIPALMENTE EN LA REGIÓN , SE UTILIZA LA FRACCIÓN PROVENIENTE DE LA SUPERFICIE P, PARA SU ACOPLAMIENTO EN LA FIBRA.

LA REGIÓN P COMO TAL SE OBTIENE POR DIFUSIÓN DE Zn, APLICÁNDOSE EN PRINCIPIO UNA CAPA DE ENMASCARAMIENTO DE Al₂O₃ POR "SPUTTERING" Y ABRIÉNDOSE LAS VENTANAS DE DIFUSIÓN POR PROCEDIMIENTOS FOTOLITÓGRAFICOS Y MORDENATADO.

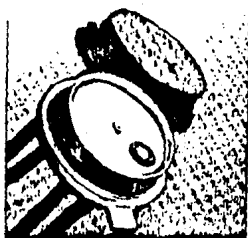


FIG. 1 DIODO EMISOR SFM 407 DELANTE DE UNA PLACA DE CRISTAL GAAs.

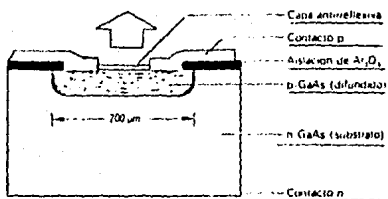


FIG. 2 ESTRUCTURA ESQUEMÁTICA DEL DIODO DIFUNDIDO GaAs SFH 407.

ELIGIENDO ADECUADAMENTE LAS CONDICIONES DE DIFUSIÓN, SE CONSIGUE PRODUCIR UNA ZONA P DE 10 μ M DE ESPESOR DE DOTACIÓN P RELATIVAMENTE BAJO DOTADO P Y, EN CONSECUENCIA, ESCASA AUTOABSORCIÓN. CON RESPECTO AL RENDIMIENTO DE INFRARROJOS, ESTA ZONA CONSTITUYE UN COMPROMISO ÓPTICO ENTRE LA AUTOABSORCIÓN QUE AUMENTA A MEDIDA QUE CRECE EL ESPESOR DE CAPA Y LA FRACCIÓN EN DISMINUCIÓN DE LA RECOMBINACIÓN NO RADIATIVA SOBRE LA SUPERFICIE. ADEMÁS SE AJUSTA UN GRADIENTE DE DOTACIÓN DÉBIL SOBRE LA JUNTURA PN, DE SUERTE QUE PUEDEN EVITARSE ALLÍ TENSIONES RÉTICULARES Y ADICIONALES PÉRDIDAS POR RECOMBINACIÓN NO RADIATIVA.

PARA LA PRODUCCIÓN DE LA JUNTURA PN SE FUENDEN BAJO VACIO EN UNA AMPOLLA DE CUARZO LOS DISCOS DE CRISTAL JUNTAMENTE CON LA SUBSTANCIA DOTANTE Y LUEGO SE CARGAN EN UN HORNO DE DIFUSIÓN, DONDE, A ALTA TEMPERATURA Y EN UN TIEMPO PREDETERMINADO, LA SUBSTANCIA DOTANTE PULDE MIGRAR EN LOS DISCOS DE CRISTAL INDIVIDUALES. SE PREFIERE LA DIFUSIÓN EN AMPOLLA CON SEMICONDUCTORES III-V, PORQUE, CON ESTE MÉTODO, PUEDE EXCLUIRSE BÁSICAMENTE UNA FUERTE EVAPORACIÓN DE LOS COMPONENTES V DE LA SUPERFICIE SEMICONDUCTORA.

SOBRE EL LADO INFERIOR, LOS DISCOS DIFUNDIDOS RECIBEN CONTACTOS N POR VAPORIZACIÓN SOBRE SU ENTERA SUPERFICIE, EN TANTO QUE, SOBRE EL LADO SUPERIOR, OBTIENEN CONTACTOS P CON ESTRUCTURA DACTILAR.

ESTOS ÚLTIMOS SE INTERNAN SÓLO PARCIALMENTE EN LA REGIÓN P, PARA MINIMIZAR EL DESVANECIMIENTO DE LA LUZ INFRARROJA.

POR LO DEMÁS, LOS CONTACTOS P DESCANSAN SOBRE LA CAPA DE Al_2O_3 AISLANTE.

POR ÚLTIMO, LAS SUPERFICIES P AÚN RECIBEN UNA CAPA ANTIRREFLEXIVA DE Si_3N_4 , QUE ELEVA UN 35% EL ACOPLAMIENTO DE LUZ INFRARROJA. TRAS LA REPARTICIÓN DEL DISCO EN DIODOS INDIVIDUALES, SE SUELDAN ÉSTOS SOBRE CÁPSULAS (FIG.1) SOMETIÉNDOSE LOS LUEGO A UN PROCESO DE COLADO PLANO CON RESINA EPOXÍDICA.

EL EMPLEO DE GaAs DOTADO CON Zn PERMITE FIJAR LA LONGITUD DE ONDA DE EMISIÓN DE ESTE DIODO LUMINISCENTE EN 900 NM Y EL ANCHO DE LÍNEA ESPECTRAL EN 40 NM. LA POTENCIA LUMÍNICA EMITIDA EN EL SEMI-ESPACIO SE INCREMENTA PROPORCIONALMENTE A LA CORRIENTE DE PASO. - CON 100 mA SE IRRADIA TÍPICAMENTE 3 mW, DONDE LA DISTRIBUCIÓN ANGULAR DE LA INTENSIDAD OBEDECE A UNA LEY DE COSENO (RADIADOR LAMBERTIANO). CON SU RELATIVAMENTE GRANDE ÁREA DE EMISIÓN ESTE DIODO TRANSMISOR ESTÁ PARTICULARMENTE APROBADO PARA FIBRAS DE NÚCLEO --GRUESO. EN TALES FIBRAS CON PERFIL ESCALONADO Y UNA APERTURA NUMÉRICA DE $A_N = 0,4$ SE ACOPLA UNA POTENCIAL LUMÍNICA DE 120 μ W, PARA 100 mA. LA FIG.3 MUESTRA LA DISMINUCIÓN DE LA POTENCIA LUMÍNICA ACOPLADA CUANDO LA FIBRA DE NÚCLEO GRUESO EXHIBE RELATIVAMENTE AL DIODO UNA DISLOCACIÓN AXIAL Y LATERAL. EN AMBOS CASOS, UNA ORIENTACIÓN ERRÓNEA EN 50 μ m SÓLO CONDUCE A UNA DISMINUCIÓN RELATIVA DE LA POTENCIA LUMÍNICA ACOPLADA DE MENOS DEL 20%. EN CASO DE INCORPORACIÓN DE LOS DIODOS EN CONECTORES ESPECIALES SE OBSERVAN TOLERANCIAS CORRESPONDIENTES DE $\pm 50 \mu$ m, LO QUE POSIBILITA LA REALIZACIÓN DE INTERFACES SIMPLEMENTE SEPARABLES CON BAJAS PÉRDIDAS DE INSERCIÓN.

A CAUSA DEL GRUESO SUBSTRATO DE GaAs Y DEL SIMPLE ENCAPSULADO, LA RESISTENCIA TÉRMICA ENTRE LA JUNTURA PN Y EL AIRE ES MUY ALTA; --AUN PARA INCORPORADOS EN CONECTOR, ASCIENDE LA CITADA RESISTENCIA A 400 K/W. ESTO LIMITA LA CORRIENTE DE PASO A 100 mA, PORQUE SOBRE LA JUNTURA PN ES ADMISIBLE UNA TEMPERATURA MÁXIMA DE 80°C. - PARA DIODOS OPERADOS A TEMPERATURA AMBIENTE CABE ESPERAR UNA VIDA MEDIA (TIEMPO TRANSCURRIDO HASTA PRODUCIRSE UNA DEGRADACIÓN DEL -50% EN LA POTENCIA LUMÍNICA) DE 10^5 h. (4).

LOS TIEMPOS DE SUBIDA Y BAJADA DE LA EMISIÓN DE 40 A 50 ns SON EXPRESIÓN DE LA RELATIVAMENTE LARGA VIDA DE LOS PORTADORES DE CARGA EN LA REGIÓN P INFRADOTADA. POR TAL CAUSA SE OFRECE ESTE DIODO -TRANSMISOR PARA UNA TRANSMISIÓN DE SEÑALES DE HASTA APROXIMADAMENTE 5 Mbit/s Y PARA LONGITUDES DE TRAMO DE ALGUNOS CENTENARES DE -METROS. CON SUPERIORES DOTACIONES, OBIVIAMENTE, SE LOGRA OBTENER -MAYORES ANCHOS DE BANDA DE MODULACIÓN, PARA IGUAL GEOMETRÍA DÍODICA, PERO SÓLO A COSTAS DE UNA MERMA DE LA POTENCIA. DEBIDO PRINCIPALMENTE A LA ELEVADA AUTOABSORCIÓN ANTERIORMENTE CITADA.

DIODOS DE ALTA POTENCIA SOBRE LA BASE DE
ALGaAs/GaAs PARA LONGITUD DE ONDA DE
830 NM.

SUPERIORES REQUERIMIENTOS SATISFACEN LOS DIODOS DE ALTA POTENCIA SOBRE LA BASE DE ALGaAs/GaAs. EL DIODO SFH 404 (FIG. 4 Y 5) CONSISTE EN UN CRISTAL SEMICONDUCTOR CUBIFORME DE APROXIMADAMENTE 70 μm DE ALTO Y 400 μm DE LONGITUD DE CANTO. SOBRE UN SUBSTRATO DE GaAs DOTADO N DE 60 μm DE ESPESOR ESTÁ CONFORMADA EPITÁCTICAMENTE UNA DOBLE HETEROESTRUCTURA DE TRES CAPAS DE ALGaAs CON DIFERENTES ESPESORES Y DOTACIONES. CON ESTAS CAPAS EPITAXIALES HACIA ABAJO (DISEÑO "UPSIDE DOWN"), EL DIODO ESTÁ SOLDADO POR MEDIO DE UN DISIPADOR TÉRMICO DE 10 μm DE ESPESOR, DE ORO SOBRE UNA PLAQUETA DE SILICIO CON PISTA CONDUCTORA Y AISLACIÓN DE SiO₂. SOBRE EL LADO INFERIOR DEL CRISTAL, UNA CAPA AISLANTE DE Al₂O₃ LIMITA EL FLUJO DE CORRIENTE AL CONTACTO P DE PEQUEÑA ÁREA, DE 40 μm DE DIÁMETRO.

EL ESPESOR Y, SOBRE TODO, EL MONTO DE DOTACIÓN DE LA CAPA DE COBERTURA DE ALGaAs SUPERPUESTA, ESTÁN AJUSTADOS DE TAL SUERTE QUE EN ESTA CAPA NO OCURRA UN ENSANCHAMIENTO DE CORRIENTE NOTABLE. ÉSTO TIENE COMO CONSECUENCIA QUE LA CAPA DE ALGaAs ACTIVA A LA LUZ INFRARROJA DENTRO DE UN ÁREA PLANAR ES ESTIMULADA PARA LA EMISIÓN CON UN DIÁMETRO SÓLO LEVEMENTE MAYOR (UNOS 45 μm) QUE LA DEL CONTACTO P, CON LO QUE SE GARANTIZA LA PEQUEÑA ÁREA DE EMISIÓN BUSCADA.

LAS DOS CAPAS DE ALGaAs CON MAYOR CONTENIDO DE ALUMINIO FORMAN BARRERAS DE POTENCIAL PARA LOS ELECTRONES INYECTADOS CON EL FLUJO DE CORRIENTE EN LA CAPA ACTIVA INTERMEDIA, Y PARA LOS HUECOS AFLUYENTES, RESTRINGIENDO SU RECOMBINACIÓN RADIATIVA O LA REGIÓN DE EMISIÓN VERTICALMENTE A LA CAPA DE ALGaAs ACTIVA. LA RECOMBINACIÓN NO RADIATIVA DE ELECTRONES Y HUECOS SOBRE LAS SUPERFICIES INTERMEDIAS DE LAS CAPAS DE ALGaAs ES SUBSTANCIALMENTE MENOR QUE SOBRE LAS SUPERFICIES DE ALGaAs. DE AHI QUE, YA CON EL ESPESOR ELEGIDO DE LA CAPA ACTIVA DE 1 μm , SEA NEGLIGIBLE LA REDUCCIÓN DEL GRADO DE EFICIENCIA CUANTICA POSIBLE POR RECOMBINACIÓN NO RADIATIVA SOBRE LAS SUPERFICIES INTERMEDIAS.

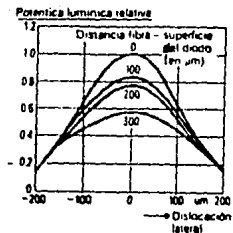


FIG. 3 POTENCIA LUMINICA RELATIVA ACOPLADA CON DISLOCACIÓN AXIAL Y LATERAL ENTRE EL DIODO SFH 407 Y UNA FIBRA DE NÚCLEO GRUESO ($D_N = 200 \mu\text{m}$, $A_N = 0.4$).

FUERA DE LA CUALIDAD CRISTALINA, LA EFICIENCIA CUÁNTICA DEPENDE - SOBRE TODO DE LA DOTACIÓN Y DE LA COMPOSICIÓN DE LA CAPA ACTIVA. LOS VALORES ÓPTIMOS SE ALCANZAN CON COMPOSICIONES PARA LONGITUDES DE ONDA ENTRE 800 Y 880 NM, Y ASI COMO TAMBIÉN PARA DOTACIONES EN TORNO DE 2.10^{18} CM³, EXHIBIENDO TALES DIODOS ENTONCES UN TIEMPO - DE ALREDEDOR DE 15 NS.

LA LUZ INFRARROJA IRRADIADA HACIA ARRIBA EN DIRECCIÓN DEL SUBSTRATO DE GAAS SE UTILIZA PARA EL ACOPLAMIENTO EN LA FIBRA. ESTA RADIACIÓN EXPERIMENTA UNA AUTOABSORCIÓN DESDEÑABLE EN LA CAPA ACTIVA, DEBIDO AL PEQUEÑO ESPESOR DE CAPA, Y ATRAVIESA SIN ABSORCIÓN LA CAPA, Y ATRAVIESA SIN ABSORCIÓN LA CAPA DE ALGAAS SUPERPUESTA, PERO SERÍA TOTALMENTE ABSORBIDA EN EL SUBSTRATO DE GAAS DENTRO DE POCOS MICRÓMETROS. POR TAL MOTIVO SE MORDENTA EL GAAS SOBRE EL - ÁREA DE EMISIÓN CONCÉNTRICAMENTE AL CONTACTO P Y SE APLICA EL CONTACTO N SOBRE EL MATERIAL DE GAAS REMANENTE. EL DISEÑO "UPSIDE - DOWN" OFRECE, POR TANTO, LA VENTAJA DE QUE CON AYUDA DEL CONTACTO P DE PEQUEÑA SUPERFICIE SE PUEDE DEFINIR UN ÁREA DE EMISIÓN CORRESPONDIENTEMENTE PEQUEÑA SIN QUE SE ORIGINE UN DESVANECIMIENTO POR EL CONTACTO. ADEMÁS, LAS ZONAS DIÓDICAS QUE GENERAN LA POTENCIA - DE DISIPACIÓN - EL CONTACTO P Y LA JUNTURA PN - SE ENCUENTRAN CERCA DEL DISIPADOR TÉRMICO, LO QUE HACE QUE LA RESISTENCIA TÉRMICA - ESTÉ SITUADA DEBAJO DE 50 K/W.

PARA LA PRODUCCIÓN DE ESTOS DIODOS SE DEPOSITAN PRIMERAMENTE LAS - TRES CAPAS DE LA DOBLE HETEROESTRUCTURA POR EPITAXIA EN FASE LÍQUIDA SOBRE UN SUBSTRATO DE GAAS DOTADO N DE APROXIMADAMENTE 3CM² DE SUPERFICIE Y CON BAJA DENSIDAD DE DISLOCACIÓN (3000 CM²) - PARTIENDO DE 800°C POR ENFRIAMIENTO DE MASAS FUNDIDAS RICAS EN GALIO, SATURADAS CON AL Y AS (7). UNA CONCLUSIVA DIFUSIÓN DE ZN -- ELEVA LA CONCENTRACIÓN DE LOS PORTADORES DE CARGA SOBRE LA SUPERFICIE DE LA CAPA DE COBERTURA DE ALGAAS DOTADA P Y POSIBILITA CONTACTOS P CON RESISTENCIA SUFICIENTEMENTE BAJA. A CONTINUACIÓN, - SOBRE LA CAPA DE COBERTURA SE APLICA AL₂O₃ PARA AISLACIÓN, SE - ABREN VENTANAS DE 40 μM DE DIÁMETRO Y SE APLICAN LOS CONTACTOS P.

DESPUÉS DEL PULIDO POR MORDENATADO DEL DISCO EPITÁCTICO SOBRE UN ESPESOR FINAL DE 70 μm , SE PRODUCEN LOS CONTACTOS N Y SE DEPOSITAN GALVÁNICAMENTE LOS DISIPADORES TÉRMICOS DE ORO SOBRE EL LADO P. POR MORDENTADO SELECTIVO SE REMUEVE EL GaAs SOBRE LOS CONTACTOS P.

DESPUÉS DE RASPAR Y ROMPER EL DISCO SE SUELDAN LOS DIODOS INDIVIDUALES SOBRE LAS PLAQUETAS DE SILICIO CON AISLACIÓN DE SiO_2 . EN LA VERSIÓN SFH 404 SE INCORPORA UNA TAL UNIDAD EN UN ZÓCALO (FIG. 5), CON PASOS AISLADOS DE TIERRA, DE MANERA QUE LA SUPERFICIE DE EMISIÓN DEL DIODO ESTÉ CÉNTRICAMENTE AJUSTADA CON UNA DESVIACIÓN MÁXIMA DE $\pm 20 \mu\text{m}$ CON RESPECTO AL EJE DE ZÓCALO. SEGUIDAMENTE SE CUELA EL DIODO EN EL ZÓCALO EN FORMA PLANA CON RESINA EXPOXÍDICA; EL ZÓCALO AQUÍ UTILIZADO SE DESTACA CON RESPECTO AL ZÓCALO PARA LA VERSIÓN SFH 407 POR UNA PRECISIÓN SUPERIOR EN LAS MEDIDAS PREVIAMENTE ESPECIFICADAS Y POR UN MAYOR ESPESOR DE LA PLACA INFERIOR. ESTOS ZÓCALOS - AL IGUAL QUE EN LA VERSIÓN SFH 407 - SE ADAPTAN VENTAJOSAMENTE PARA SU INCORPORACIÓN EN CONECTORES (3), QUE POSIBILITAN SIN UNA EROGACIÓN ADICIONAL EN CONCEPTO DE AJUSTE, -- UNA INTERFAZ ÓPTICA SEPARABLE TAMBIÉN EN TRAMO CON FIBRAS DE (NDI) CE GRADUAL.

EN LA VERSIÓN DIÓDICA AQUÍ DESCRITA SFH 404 EL MÁXIMO DE LA EMISIÓN ESTÁ SITUADO EN 830 NM; EL ANCHO DE BANDA ESPECTRAL ES DE 45 NM. AL ELEVARSE LA TEMPERATURA, SE DESPLAZA EL MÁXIMO DE EMISIÓN HACIA ONDAS MÁS LARGAS EN EL ORDEN DE 0,3 A 0,4 NM / K. SOBRE TODO A CAUSA DEL CONTACTO P, DE ÁREA, LOS DIODOS TIENEN UNA RESISTENCIA SERIE DE 5Ω . LA NECESIDAD DE TENSIÓN PARA 100mA ESTÁ SITUADA EN 1,9 V. EN DIRECCIÓN DE BLOQUEO LOS DIODOS DEMUESTRAN -- UNA DISRUPCIÓN BLANDA DE 4 A 6 V CON 10mA DE CORRIENTE DE BLOQUEO.

PARA UN TIEMPO DE SUBIDA DE 15 NS SON MENESTER CONDICIONES OPERATIVAS ESPECIALES (FIG.6); SIN UNA TENSIÓN CONTINUA SUPLEMENTADA - EL TIEMPO DE SUBIDA SÓLO SE ALCANZA CON CORRIENTES DE IMPULSO DE ALREDEDOR DE 100 nA. LA REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE SUBIDA CON CORRIENTES DE IMPULSO SUPERIORES DEBE SER ATRIBUIDA A UN ACORTAMIENTO DE LA VIDA ÚTIL DE LOS PORTADORES DE CARGA EN LA CAPA ACTIVA.

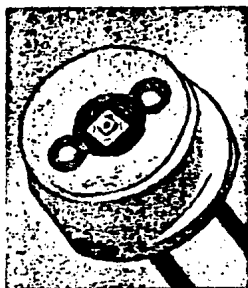


FIG. 4 DIODO DE ALTA POTENCIA SFH 404 DE ALGaaS / GAAs PARA UNA -
LONGITUD DE ONDA DE 830 NM.

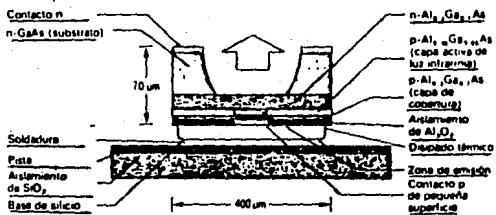


FIG. 5 ESTRUCTURA ESQUEMÁTICA DEL DIODO DE ALTA POTENCIA SFH 404 DE ALGaAs / GaAs.

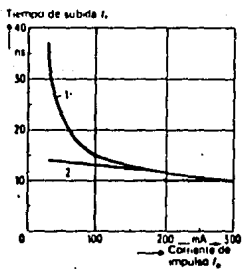


FIG. 6 TIEMPO DE SUBIDA DEL DIODO ALGaAs / GaAs SFH 404 (TIEMPO - ENTRE 10 Y 90 % DE LA POTENCIA ÓPTICA) EN FUNCIÓN DE LA CORRIENTE DE IMPULSO.

CURVA 1: SIN TENSIÓN PREVIA:

CURVA 2: CON TENSIÓN PREVIA.

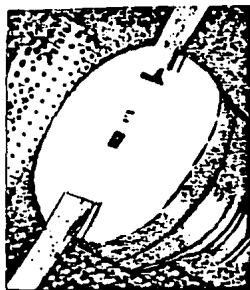


FIG. 7 DIODO DE ALTA POTENCIA DE InGaAsP/InP PARA UNA LONGITUD DE ONDA DE 13000 NM DELANTE DE UN DISCO SEMICONDUCTOR CON ESTRUCTURA LENTICULAR INTEGRADA

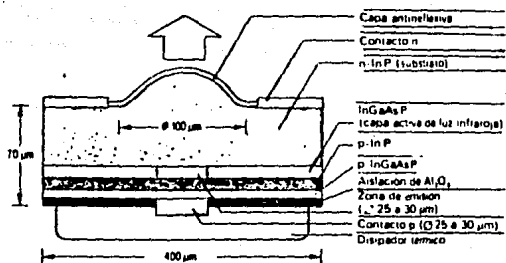


FIG. 8 ESTRUCTURA ESQUEMÁTICA DEL DIODO DE ALTA POTENCIA DE InGaAsP /InP.

CON CORRIENTES DE IMPULSO PEQUEÑAS EL TIEMPO DE SUBIDA SE PROLONGA POR LA CAPACIDAD DE LA CARGA ESPACIAL DE LOS DIODOS DE APROXIMADAMENTE 400 pF (PARA 0V); PERO ESTA PROLONGACIÓN PUEDE SER BÁSICAMENTE SUPRIMIDA SUPLEMENTANDO UNA TENSIÓN CONTINUA. DESVIÁNDOSE DE LA VERSIÓN SFH 404 SON FÁCILES DE REALIZAR TIEMPOS DE SUBIDA MÁS CORTOS DE HASTA 4 NS, CIERTAMENTE SÓLO CON UNA REDUCCIÓN MÁS QUE PROPORCIONAL DE LA POTENCIA LUMÍNICA, ELEVANDO LA DOTACIÓN DE LA CAPACITIVA SOBRE VALORES EN TORNO DE $10^{19} / \text{cm}^3$.

PARA DIODOS SFH 404 LA POTENCIA LUMINICA ES APROXIMATIVAMENTE PROPORCIONAL A LA CORRIENTE DE PASO MIENTRAS NO SE CALIENTAN LOS DIODOS POR LA CARGA. CON 100 mA SE ALCANZAN POTENCIAS LUMINICAS DE 4m W, DONDE LA POTENCIA LUMÍNICA ACOPLADA CON LA CORRIENTE EN FIBRAS DE INDICE GRADUAL ($D_K = 63 \mu\text{m}$; $A_N = 0,2$) ES DEL ORDEN DE 60 μW , MIENTRAS QUE LA POTENCIA ACOPIADA EN FIBRAS DE NÚCLEO GRUESO ($D_K=100 \mu\text{m}$ $A_N=0,4$) ASCIENDE A 700 μW . CON EL CALENTAMIENTO LAS POTENCIAS SE REDUCEN EN UNA PROPORCIÓN DE 0,3 A 0,4 % POR KELVIN. CUANDO SE EMPLEAN LENTES AJUSTADAS A DIODO Y FIBRA O SE CONFIGURA ESPECÍFICAMENTE EL ÁREA FRONTAL DE LA FIBRA, PUEDE ELEVARSE LA POTENCIA ACOPLADA SI EL DIÁMETRO DEL ÁREA DE EMISIÓN DEL DIODO ES MENOR QUE EL DIÁMETRO DEL NÚCLEO DE LA FIBRA. DE ESTO SE HACE USO EN LOS DIODOS DE ALTA POTENCIA PARA 1300 NM DE LONGITUD DE ONDA.

SOBRE LA BASE DE DEGRADACIÓN TEMPORAL DE LA POTENCIA LUMÍNICA DE LOS DIODOS, RELATIVAMENTE RÁPIDA A TEMPERATURAS OPERATIVAS DE LA JUNTURA PN DE HASTA 200° C, ES POSIBLE DETERMINAR LA DURACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE OPERACIÓN DE LOS DIODOS. PARA DIODOS LIBRES DE DEFECTOS DE TIPO "DARK LINE", RESULTA UNA VIDA MEDIA EXTRAPOLADA SOBRE LA TEMPERATURA AMBIENTE DE MÁS DE 10^6 HY, EN CONCORDANCIA CON LOS DATOS CONSIGNADOS POR OTROS FABRICANTES. CIERTAMENTE PARA ALCANZAR ESTA VIDA ÚTIL ES NECESARIO SELECCIONAR LOS DIODOS DESPUÉS DE LA FABRICACIÓN CON PROCESOS DE "BURN-IN" Y CUIDAR DURANTE EL SERVICIO QUE LA TEMPERATURA DE LA JUNTURA PN NO SUBA SUBSTANCIALMENTE POR ENCIMA DE LA TEMPERATURA DEL AMBIENTE. LA RESISTENCIA TÉRMICA DEL CRISTAL EN RELACIÓN CON LA PLACA AISLANTE ESTÁ SITUADA EN 50 K/W; LA RESISTENCIA TÉRMICA DE LOS DIODOS INCORPORADOS EN EL ENCAPSULADO CON RESPECTO AL AIRE, EN 400 A 500 K/W. POR TANTO, PARA PODER UTILIZAR TODAS LAS POSIBILIDADES QUE EL DIODO TRANSMISOR SHF-404 OFRECE ES CONDICIÓN NECESARIA UNA INCORPORACIÓN CON SUFICIENTE TRANSFERENCIA TÉRMICA.

EL DIODO SFH 404 AMPLIA LA POSIBILIDAD DE APLICACIÓN DE DIODOS LUMINISCENTES EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN FRENTE AL DIODO SFH 407 SOBRE UN RANGO TÍPICO DE LONGITUDES DE TRAMO EN TORNO DE 6 KM CON UNA TASA DE TRANSMISIÓN DE 34 MBIT/S.

DIODOS DE ALTA POTENCIA A BASE DE InGaAsP/InP PARA 1300 NM DE LONGITUD DE ONDA

UN ÚLTIMO DESARROLLO EN EL DOMINIO DE LOS DIODOS EMISORES DE LUZ INFRARROJA PARA APLICACIONES DE FIBRA ÓPTICA SON LOS DIODOS PARA EL RANGO DE LONGITUDES DE ONDA DE ALREDEDOR DE 1300 NM. VENTANA DE TRANSMISIÓN DE MODERNAS FIBRAS MULTIMODO CON MÍNIMA ATENUACIÓN Y DISPERSIÓN POR MATERIAL. EL CAMBIO DE LA LONGITUD DE ONDA DE 800 - 900 NM A VALORES DE ALREDEDOR DE 1300 NM REQUIERE POR PARTE DEL MATERIAL UNA TRANSICIÓN DEL AlGaAs TERNARIO AL SEMICONDUCTOR CUATERNARIO InGaAsP Y A CRISTALES DE SUBSTRATO DE InP . EN PRINCIPIO LA ESTRUCTURA DE LOS DIODOS DE ALTA POTENCIA CUATERNARIOS (FIGS. 6 Y 7), CORRESPONDE A LA DE LOS DIODOS DE GaAlAs/GaAs . UNA CAPA DE CRISTAL COMPUESTA DE $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,28}\text{As}_{0,51}\text{Po}_{,39}$, EMITE A 1300 NM DE LONGITUD DE ONDA Y ESTÁ ADAPTADA EN SU CONSTANTE RETICULAR SOBRE InP . DE ESTE MODO PUEDE REALIZARSE NUEVAMENTE LA DOBLE HETEROESTRUCTURA, TAN EFICAZ PARA DIODOS TRANSMISORES, CON QUE AHORA EL InP ASUME EL ROL DE LA BARRERA. COMO CAPA DE CONTACTO ESTÁ AÑADIDA EN ESTE TIPO UNA CAPA DE InGaAsP DORADA P, YA QUE SOBRE InP RESULTA DIFÍCIL PRODUCIR CONTACTOS P DE BAJA RESISTENCIA.

LAS DIMENSIONES EXTERIORES DEL DIODO CORRESPONDEN APROXIMADAMENTE A LAS DEL DIODO SFH 404. CIERTAMENTE EL PUNTO DE CONTACTO DEL LADO P - Y, POR TANTO, EL PUNTO DE EMISIÓN - TÍPICAMENTE SÓLO TIENE DE 25 - A 30 μm DE DIÁMETRO, LO QUE FACILITA EL ACOPLAMIENTO DE RADIACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA. COMO EL SUBSTRATO DE InP ES TRANSPARENTE PARA RADIACIÓN DE 1300 NM, POR UNA PARTE, SE OMITIÓ EL MORDENTADO DE AGUJEROS NECESARIO CON GaAs ; POR OTRA, SE OFRECE LA POSIBILIDAD DE FORMAR EL MATERIAL DE SUBSTRATO COMO UNALENTE INTEGRADA, A FIN DE MEJORAR EL ACOPLAMIENTO. UN BUEN EFECTO DELENTE SE OBTIENE CON UN RADIO DE CURVATURA DE LA SUPERFICIE DE APROXIMADAMENTE 80 μm , DONDE LA CAPA ACTIVA DE LA ESTRUCTURA ESTÁ SITUADA EN EL PLANO FOCAL DE LALENTE. EL RECUBRIMIENTO ANTIRREFLEXIVO DE NITRURO DE SILICIO ELEVA ADICIONALMENTE LA EFICIENCIA DEL DIODO.

EN LA FABRICACIÓN DE DIODOS, EL MATERIAL DE PARTIDA ES TÍPICAMENTE UN DISCO EPITAXIAL DE UN CENTÍMETRO CUADRADO DE TAMAÑO, EN EL CUAL, POR EPITAXIA DE FASE LÍQUIDA, SE HA FORMADO UNA SECUENCIA DE CAPAS-COMO EN LA FIG. 7, SOBRE UN SUBSTRATO DE InP . LA EPITAXIA SE EFECTÚA A PARTIR DE APROXIMADAMENTE 650°C CON MASA FUNDIDAS RICAS EN EL ELEMENTO INDIO, DONDE ADICIONES DE Sn Y Zn DAN COMO RESULTADO UN SEMICONDUCTOR CONDUCTENTE N° O CONDUCTENTE P° . LA LONGITUD DE ONDA DE LA EMISIÓN Y LA EXACTA ADAPTACIÓN DE LA REJILLA DE CRISTAL DE LA HETEROESTRUCTURA DEPENDEN MUY FUERTEMENTE DE LA COMPOSICIÓN DE LAS MASAS DE FUSIÓN Y DE LA TEMPERATURA DE CRECIMIENTO ELEGIDA. ASÍ YA UNA PEQUEÑA ADAPTACIÓN ERRÓNEA DISMINUYE EL GRADO DE EFICIENCIA. LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN QUE SIGUEN A LA EPITAXIA CORRESPONDEN APROXIMATIVAMENTE A LOS QUE SE EMPLEAN EN LA PRODUCCIÓN DEL DIODO DE ALGAs. EN UN PROCESO DE MORDENTADO QUE INCLUYE DOS ETAPAS SE FORMA LALENTE CÉNTRICAMENTE AJUSTADA AL ÁREA DE EMISIÓN SOBRE LA BASE DEL MATERIAL DE SUBSTRATO. LOS DIODOS PRODUCIDOS HASTA AHORA-COMO MUESTRA DE LABORATORIO ESTÁN MONTADOS LIBRES DE TIERRAS SOBRE UNA CÁPSULA ALTAMENTE TERMOCONDUCTIVA; DE TODOS MODOS, HAY QUE RECOMENDAR PARA TALES DIODOS DE ALTA POTENCIA LA INCORPORACIÓN DIRECTA-EN UN MÓDULO TRANSMISOR CON UNA FIBRA DE CONEXIÓN AJUSTADA AL DIODO.

AUNQUE EL ANCHO DE BANDA ESPECTRAL DE LOS DIODOS DE InGaAsP , CON 100 nm , ES CONSIDERABLEMENTE MAYOR QUE CON LOS DIODOS DE ALGAs, ESTO NO TIENE UNA INFLUENCIA NEGATIVA SOBRE LA PROPAGACIÓN DE LOS PULSOS A CAUSA DE LA ESCASA DISPERSIÓN DEBIDA AL MATERIAL DE LA FIBRA-CON 1300 nm . LA LONGITUD DE ONDA ES AJUSTABLE EN EL RANGO DE APROXIMADAMENTE 1200 A 1310 nm SIN QUE SE PRODUZCA MERMA ALGUNA EN LA POTENCIA. TÍPICA PARA LOS DIODOS CUATERNARIOS ES LA CARACTERÍSTICA NO LINEAL DE POTENCIA LUMÍNICA-CORRIENTE QUE SE REPRODUCE EN FIG.8, LA CUAL LLEVA A CONCLUIR EN LA EXISTENCIA DE MECANISMOS DE PÉRDIDA-DEPENDIENTES DE CORRIENTE EN LA ESTRUCTURA DE LOS DIODOS, CUYA NATURALEZA, SIN EMBARGO, NO ESTÁ AÚN DEFINITIVAMENTE ACLARADA. ESTE COMPORTAMIENTO EN SATURACIÓN TIENE COMO CONSECUENCIA QUE TALES DIODOS SON MÁS BIEN APROPIADOS PARA TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL. OTRO EFECTO DE LAS PÉRDIDAS INTERNAS ES EL COMPORTAMIENTO TEMPORAL-DE OTRO TIPO EN MODULACIÓN DE PULSOS, DONDE TÍPICAMENTE EL TIEMPO DE BAJADA ES DE APROXIMADAMENTE EL DOBLE DEL TIEMPO DE SUBIDA. EN-

CONSECUENCIA, PARA LOGRAR UN APROVECHAMIENTO ÓPTIMO DEL ANCHO DE BANDA ALCANZABLE, SE DEBERÍA EMPLEAR UNA CORRIENTE DE MODULACIÓN MODIFICADA, EN QUE SE ACORTE EL TIEMPO DE CAÍDA SOBRE EL FIN DE PULSO POR INVERSIÓN DE DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE.

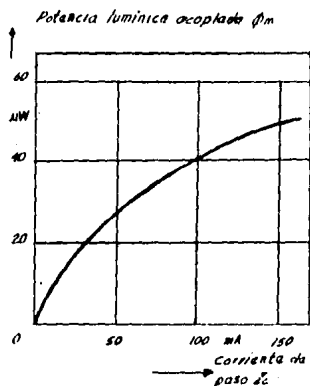


FIG. 8 DECURSO CARACTERISTICO DE LA POTENCIA ÓPTICA ACOPLADA CON UN DIODO DE ALTA POTENCIA DE InGaAsP/InP A UNA FIBRA ESTANDAR. ($D_K=50\mu\text{m}$, $A_N=0,2$) EN FUNCIÓN DE LA CORRIENTE DE PASO.

PARA UNA DOTACIÓN NORMAL DE LA CAPA ACTIVA A LA LUZ INFRARROJA EN EL RANGO DE 10^{18} cm^3 , LOS DIODOS TIENEN UN TIEMPO DE SUBIDA DE 8 NS Y UN TIEMPO DE BAJADA DE 18 NS; EN CONSECUENCIA, RESULTAN APROPIADOS PARA TASAS DE TRANSMISIÓN DE 34 Mbit/s. CON UNA DOTACIÓN SUPERIOR CLARO QUE ASOCIADA CON UNA DISMINUCIÓN A LA MITAD DE LA POTENCIA DE RADIACIÓN SE ACORTAN LOS TIEMPOS DE SUBIDA Y BAJADA A 3, RESPECTIVAMENTE 6 NS, LO QUE POSIBILITA TASAS DE TRANSMISIÓN DE 140 Mbit/s.

LALENTE UTILIZADA DUPLICA LA POTENCIA LUMÍNICA ACOPLADA EN FIBRAS ESTÁNDAR CON PERFIL EN GRADIENTE ($D_K=50 \mu\text{m}$; $A_N=0.2$) FRENTE A DIODOS CON SUPERFICIE PLANA. VALORES TÍPICOS CON 100 mA DE CORRIENTE DE PASO SON LOS DE 40 ó 20 μW PARA LOS DIODOS DIFERENTEMENTE DOTADOS. LOS DIODOS INGAAsP TIENEN CIERTAMENTE UNA MAYOR DEPENDENCIA TÉRMICA DE LOS DIODOS ALGAAs (APROXIMADAMENTE 0.77% POR KELVIN PARA LOS PRIMEROS), PERO SE CARACTERIZAN POR UNA TASA DE ENVEJECIMIENTO EXTREMADAMENTE PEQUEÑA. INCLUSO A UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 70°C ES DE ESPERAR AÚN UNA VIDA ÚTIL DE MÁS DE 10^6 H; NO SE PRESENTAN CASOS DE FALLAS POR DEFECTOS DEL TIPO "DARK LINE" COMO CON LOS DIODOS DE GAALAs.

PARA ESTIMAR QUÉ POSIBILIDADES OFRECE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN CON DIODOS TRANSMISORES CUATERNARIOS, SE PUEDE CONTAR CON UNA POTENCIA MEDIA DISPONIBLE EN LA FIBRA ÓPTICA APROXIMADAMENTE - 17 dBm PARA TASAS DE TRANSMISIÓN DE 34 Mbit/s Y CON APROXIMADAMENTE - 20 dBm PARA 140 Mbit/s. LOS RECEPTORES CON FOTODIODOS DE INGAAs EN COMBINACIÓN CON PREAMPLIFICADORES FET ALCANZAN CON ESTAS TASAS DE TRANSMISIÓN -- SENSIBILIDADES DE APROXIMADAMENTE - 47 ó - 42 dBm PARA LA PROPORCIÓN DE ERRORES DE BITS USUALMENTE REQUERIDA DE 10^{-9} . SEGÚN ESTO, EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DISEÑADO CON ESTOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS, SE DISPONE DE UN MARGEN DE 30 ó 22 dB. CON UNA RESERVA DE 6dB Y UNA ATENUACIÓN DE FIBRA DE 1,5 dB/Km, INCLUYENDO EL EMPALME, ESTO SIGNIFICA QUE CON DIODOS TRANSMISORES CUATERNARIOS PUEDEN TRANSMITIRSE SEÑALES DE 34 Mbit/s SOBRE UN TRUCHO DE HASTA 15 Km Y SEÑALES DE 140 Mbit/s SOBRE UN TRAYECTO DE HASTA 10 Km SIN REGENERACIÓN INTERMEDIA.

DIODOS LASER - COMPONENTES EMISORES DE ELEVADA POTENCIA LUMINICA PARA LA TRANSMISION OPTICA DE INFORMACIONES.

DIODOS LÁSER - CONSIDERADOS DURANTE MUCHO TIEMPO COMO COMPONENTES PARTICULARMENTE CRÍTICOS EN LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIONES POR FIBRA ÓPTICA - SON HOY LAS ÚNICAS FUENTES LUMÍNICAS DISPONIBLES PARA SISTEMAS DE ELEVADAS TASAS DE TRANSMISIÓN Y GRAN ALCANCE. PARA EL RANGO DE LONGITUD DE ONDA 820 HASTA 880 NM EXISTE CON EL LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO GALLAS UN DIODO TÉCNICAMENTE MADURO, ROBUSTO Y DE CONSTRUCCIÓN ORIENTADA AL USUARIO (1), QUE SE DESTACA ANTE TODO POR CUALIDADES OPERATIVAS ESTABLES HASTA ALTAS TEMPRATURAS (100°C) Y POR UNA VIDA ÚTIL EXTRAPOLADA MUCHO MÁS ALLÁ DE LAS 100 000 H A 25°C.

LOS DIODOS LÁSER GAINASP/INP PARA 1300 HASTA 1600 NM SON DESARROLLADOS EN MUCHOS LABORATORIOS, EN VIRTUD DE LA ATENUACIÓN DE FIBRAS MUCHO MENOR EN ESTE RANGO. EN EL PRIMER LUGAR DEL INTERÉS PRÁCTICO - SE ENCUENTRAN ACTUALMENTE LOS DIODOS LÁSER PARA 1300 NM, DADO QUE ACÁ EL ENSANCHAMIENTO DINÁMICO DEL ESPECTRO DE LOS LÁSERES FABRY-PEROT USUALES ES DESPRECIABLE, DEBIDO A QUE LA DEPRESIÓN DE FIBRAS ES ÍNFIMA. CARACTERÍSTICAS DE LOS LÁSERES EN ESTE RANGO DE LONGITUD DE ONDA SON LA FUERTE DEPENDENCIA DE LA TEMPERATURA DEL UMBRAL DE EMISIÓN DEL LÁSER Y EL RANGO DE TEMPERATURA DE SERVICIO PERMANENTE LIMITADO CON RESPECTO A LOS LÁSERES GALLAS. ESTO LLEVA A UN DESPLAZAMIENTO DEL ACENTO A FAVOR DE ESTRUCTURAS DE LÁSERES, QUE, POR UN LADO TIENEN UNA CORRIENTE DE UMBRAL BAJA, PERO, POR EL OTRO LADO TAMBIÉN UNA ELEVADA SENSIBILIDAD DE REACCIÓN. ESTO DEMUESTRA QUE LAS PROPIEDADES DE LOS DIODOS LÁSER DETERMINANTES PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN DE SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA NO PUEDEN SER MODIFICADAS Y VALORADAS INDEPENDIENTEMENTE, DEBIDO A LAS INTERRELACIONES QUE RIGEN EN PRINCIPIO ENTRE ESTOS PARÁMETROS.

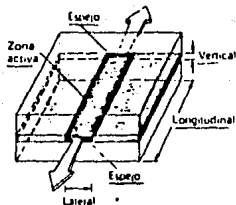


FIG. 1 LIMITACIÓN ESPACIAL DE LA ZONA ACTIVA DE UN DIODO LÁSER: LONGITUDINAL POR LOS ESPEJOS DEL RESONADOR, VERTICAL POR LA HETEROESTRUCTURA Y LATERAL POR ESTRUCTURACIÓN ADICIONAL INTERNA.

DIODOS LÁSER SON FUENTES DE RADIACIÓN ÓPTICA, PEQUEÑOS, MECÁNICAMENTE ROBUSTOS Y, CON BAJA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN, RÁPIDA Y DIRECTAMENTE MODULABLES, SUMINISTRANDO ASISMISMO UNA LUZ COHERENTE DE GRAN INTENSIDAD. LA SINGULARIDAD RESULTANTE DE ESTAS CUALIDADES EN DICHS COMPONENTES YA FUE DESCUBIERTA PREMATURAMENTE, PERO, PARA SU EMPLEO POSTERIOR EN LA TÉCNICA DE COMUNICACIONES ÓPTICAS POR FIBRAS DEBIERON SATISFACERSE TODAVÍA UNA SERIE DE OTROS REQUISITOS FUNDAMENTALES.

ACTUALMENTE LOS DIODOS LÁSER DEBEN, ANTE TODO,

- PRESENTAR PROPIEDADES ESPECTRALES ADAPTADAS A LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS,
- POSIBILITAR SERVICIO CONSTANTE HASTA LAS TEMPERATURAS QUE SE ORIGINAN EN EL EMISOR Y LAS POTENCIAS DE EMISIÓN ÓPTICAS EXIGIDAS -- (TÍPICO 5 HASTA 10 mW),
- PRESENTAR DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y ESPECTRAL DE LA EMISIÓN LÁSER -

ESTABLES,

- MOSTRAR, A TRAVÉS DE LARGOS PERÍODOS OPERATIVOS, SUFICIENTE ESTABILIDAD EN LO CONCERNIENTE A LAS PROPIEDADES DE TERMINANTES DEL LÁSER.
- OFRECER UNA POSIBILIDAD DE FABRICACIÓN ACABADAMENTE SIMPLE, ES DE CIR RENTABLE.

ESTAS CONDICIONES, EN PARTE MUY COMPLEJAS, PUEDEN CUMPLIRSE AMPLIAMENTE EN LA ACTUALIDAD. UNA MEDIDA IMPORTANTE PARA EL CASO ES DIMENSIONAR CORRECTAMENTE NO SÓLO LOS ESPEJOS EN LOS DOS EXTREMOS, SINO TAMBIÉN LA ESTRUCTURA INTERNA DEL LÁSER (FIG. 1). CON ELLO, LA ZONA DE BOMBEO ELÉCTRICO ES LIMITADA ALREDEDOR DE LA JUNTURA PN Y EL RESONADOR ÓPTICO ES REDUCIDO A UN PEQUEÑO VOLUMEN PARCIAL EN EL CRISTAL LÁSER. IMPRESCINDIBLE PARA EL SERVICIO PERMANENTE A TEMPERATURA AMBIENTE O POR ENCIMA DE ELLA, ES LA DELIMITACIÓN VERTICAL DE PORTADORES DE CARGA Y ONDA ÓPTICA POR MEDIO DE LA DOBLE HETEROESTRUCTURA (2), GENERALMENTE EN UNA ZONA ACTIVA DE SÓLO 0,1 HASTA 0,2 μm DE ESPESOR.

UN ROL IMPORTANTE EN RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES DE DIODOS LÁSER - PARA LA TRANSMISIÓN ÓPTICA DE INFORMACIONES CUMPLE ANTE TODO PARA SU ESTABILIDAD - LA LIMITACIÓN LATERAL. MEDIANTE EL ESTRECHAMIENTO LATERAL DE LA ZONA ACTIVA A POCOS MICRÓMETROS SE LOGRA QUE EL LÁSER OSCILE SÓLO EN EL MODO FUNDAMENTAL LATERAL Y QUE MODOS LATERALES -- MÁS ELEVADOS NO SEAN PROPAGABLES. DE ESTAMANERA SE EVITAN EFECTOS DE INESTABILIDAD, COMO QUIEBRES EN LA CURVA DE RESPUESTA, RUIDOS DE LA EMISIÓN LÁSER Y FLUCTUACIONES DE LA CARACTERÍSTICA DE IRRADIACIÓN QUE PUEDEN MANIFESTARSE POR MODOS CONCURRENTES SIMULTÁNEOS. -- ADEMÁS, A CONSECUENCIA DE ELLO, SE EVITA UNA DEFORMACIÓN DEL PERFIL DE AMPLIFICACIÓN LATERAL, POR LA PROPIA EMISIÓN ESTIMULADA.

DOS FAMILIAS DE ESTRUCTURAS

DIFERENTES POSIBILIDADES DE REALIZACIÓN TECNOLÓGICA EN LA LIMITACIÓN LATERAL DE LA ZONA ACTIVA HAN GENERADO UNA DIVERSIDAD DE ESTRUCTURAS DE LÁSERES. SIN EMBARGO, LOS DIODOS LÁSER ACTUALES PUEDEN ASIGNARSE A DOS FAMILIAS DE ESTRUCTURAS, QUE ESTÁN CARACTERIZADAS EN EL LÁSER POR EL TIPO DE GUIAONDAS LATERAL.

DIODOS LÁSER CON GUIAONDAS INDUCIDO POR CORRIENTE.

EN ESTOS LÁSERES, EL CAMINO DE LA CORRIENTE Y CON ELLO DE LOS PORTADORES DE CARGA INYECTADOS SON LIMITADOS LATERALMENTE POR DISPOSICIONES TECNOLÓGICAS - EN EL LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO (3,4), POR EJEM. MEDIANTE UNA CAPA ENMASCARADA AISLANTE ELÉCTRICAMENTE, EN LA CUAL LA CORRIENTE ES ENTREGADA A TRAVÉS DE UNA VENTANA DE CONTACTO EN FORMA DE FRANJA (FIG. 2A), DEBIDO A LA CONCENTRACIÓN DE LOS PORTADORES DE CARGA INYECTADOS SOBRE LA FRANJA ACTIVA SE ORIGINA UN PERFIL LATERAL DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN IMAGINARIO n_1 , QUE ESPECIALMENTE EN ANCHOS DE FRANJA MUY PEQUEÑOS CONDUCE ESTABLEMENTE AL MODO FUNDAMENTAL LATERAL. ESTE PERFIL DE ÍNDICE ES EQUIVALENTE CON UN PERFIL DE LA AMPLIFICACIÓN ÓPTICA - TAMBIÉN DESIGNADO COMO GANANCIA-; POR ELLO, A LOS LÁSERES DE ESTA FAMILIA, A LA CUAL PERTENECEN COMO OTRAS ESTRUCTURAS CONOCIDAS EL LÁSER PORBOMBARDEO DE PROTONES (5) Y EL LÁSER DE RANURAS EN V (6), SE LOS DENOMINA TAMBIÉN LÁSERES GUIADOS POR GANANCIA (GLD).

LÁSERES CON GUIAONDAS INCORPORADO

ESTRUCTURAS DE LÁSERES DE ESTE GRUPO TIENEN TANTO UNA LIMITACIÓN DE CORRIENTE LATERAL COMO TAMBIÉN UN PERFIL DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN LATERAL YA "INCOMPARADO" POR RAZONES DE FABRICACIÓN, POR EJEM. EN FORMA DE UN ESCALÓN A AMBOS LADOS DE LA ZONA ACTIVA DEL LÁSER, YA SEA EN LA PARTE REAL (ASÍ COMO EN LA DOBLE HETEROESTRUCTURA VERTICAL) O BIEN EN LA PARTE IMAGINARIA DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN. LOS EJEMPLOS MÁS CONOCIDOS PARA ESTE TIPO DE GUIAONDAS SON EL LLAMADO LÁSER BH (BURIED HETEROSTRUCTURE (7)), Y EL LÁSER CSP (HANNELED SUBSTRATE PLANAR (8)) CON CONDUCCIÓN DOMINANTE POR UN PERFIL DE LA PARTE REAL O IMAGINARIA DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN. UN LÁSER DE ESTA FAMILIA CON VENTAJAS DE FABRICACIÓN ESPECIALES, EL LÁSER MCRW (METAL CLAD RIDGE WAVEGUIDE (9)) MUESTRA LA FIG. 2 B.

EN ESTA ESTRUCTURA DE LÁSER, LA CONDUCCIÓN DE LA CORRIENTE Y DE LAS ONDAS ES REALIZADA EN UN SOLO PASO DE FABRICACIÓN. LA LIMITACIÓN -

DE LA CORRIENTE DEL DIODO EN LA FRANJA ACTIVA DEL LÁSER ES ALCANZADA POR EL EFECTO DE BLOQUEO DEL CONTACTO METÁLICO SOBRE LA CAPA DE DOPADO REDUCIDO EN LA ZONA EXTERNA A LA FRANJA. SIMULTÁNEAMENTE SE ORIGINA DEBIDO A LA ELEVADA REFLEXIÓN DE LA ONDA ÓPTICA EN LA METALIZACIÓN A AMBOS LADOS DE LA FRANJA INTERMEDIA, UN PERFIL DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN EFECTIVO n_{EFF} Y, CON ELLO, UN GUIAONDAS ÓPTICO.

TODOS LOS DIODOS LÁSER CON GUIAONDAS INCORPORADO SON DESIGNADOS TAMBIÉN COMO DIODOS LÁSER GUIADOS POR EL ÍNDICE (ILD), EN VIRTUD DEL PERFIL DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN SIEMPRE EXISTENTE.

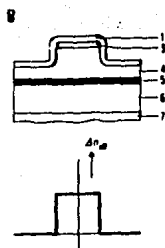
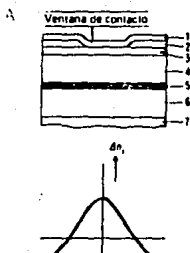
PROPIEDADES ESPECÍFICAS A LA ESTRUCTURA

LAS DIFERENCIAS DESCRITAS RESPECTO A LAS DISPOSICIONES DE ESTRUCTURA SON TAN PROFUNDAS, QUE LLEVAN A PROPIEDADES DE LÁSER MUY ESPECÍFICAS A CADA APLICACIÓN (Fig. 3).

EN LA CORRIENTE DE UMBRAL, LOS DIODOS LÁSER GUIADOS POR EL ÍNDICE SE DESTACAN CON RESPECTO A LOS GUIADOS POR GANANCIA DEBIDO A VALORES MENORES HASTA POR EL FACTOR 5. POR ELLO, EN LOS PRIMEROS, EL AUTOCALENTAMIENTO PARA EL SUPLEMENTO DE CORRIENTE CONTINUA NECESARIO PARA UNA MODULACIÓN DE ELEVADA TASA, ES CORRESPONDIENTEMENTE MENOR.

EL ESPECTRO DE LOS LÁSERES FABRY-PEROT USUALES CONSTA, EN CASO DE PREDOMINIO DE GUIADO POR GANANCIA, DE UN NÚMERO MAYOR O MENORMENTE GRANDE DE LÍNEAS ESPECTRALES, NÚMERO ESE DESCENDENTE A MEDIDA QUE SE INCREMENTA LA POTENCIA ÓPTICA, A UNA DISTANCIA ENTRE DOS MODOS LONGITUDINALES DADA POR LA LONGITUD DE RESONADOR L , EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN n Y SU DEPENDENCIA DE LA LONGITUD DE ONDA λ .

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2L \left(n - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right)} \quad (1)$$

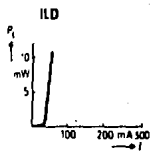
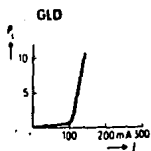


- 1- METALIZACIÓN (TiPtAu)
- 2- MASCARA DE ÓXIDO (Al_2O_3)
- 3- CAPA DE COBERTURA (P-GaAs)
- 4- CAPA DE DELIMITACIÓN (P-GaAlAs)
- 5- CAPA ACTIVA (GaAs)
- 6- CAPA DE DELIMITACIÓN (N-GaAlAs)
- 7- SUBSTRATO (N-GaAs)

ARRIBA: CORTE PARALELO AL PLANO DEL ESPEJO.
 ABAJO: PERFIL LATERAL DEL INDICE DE REFRACCIÓN IMAGINARIO n EN LA FRANJA DEL LÁSER DE ÓXIDO E INDICE DE REFRACCIÓN EFECTIVO EN EL LÁSER MCRW.

FIG. 2 ESTRUCTURA Y MECANISMOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS DE LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO (A) Y DE LÁSER MCRW (B).

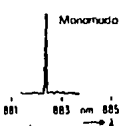
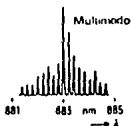
CURVA
CORRIENTE LUZ



CAMPO LEJANO
- - - LATERAL
----- VERTICAL



ESPECTRO
(FUNCIONAMIENTO
CONTINUO)



CORRIENTE DE
UMBRAL
(LARGO DEL LÁSER
200 A 400 μm)

50 a 120 mA

10 a 60 mA

ASTIGMATISMO

FUERTE

MUY BAJO

SENSIBILIDAD

BAJA

FUERTE

TÉCNICA DE
FABRICACIÓN

SIMPLE

MAS COMPLICADO

CORRIENTE DEL DIODO

LONGITUD DE ONDA
LUMINOSA

POTENCIA LUMÍNICA

FIG 3. CARACTERÍSTICAS DE AMBAS FAMILIAS ESTRUCTURALES GLD (GAINGUI DE LASER DIODE) E ILD (INDES-GUIDE LASER DIODE) EN EL EJEMPLO DEL LÁSER GaALAs/GaAs.

LÁSERES ILD TIENDEN, CON SERVICIO POR CORRIENTE CONTINUA, A LA EMISIÓN EN SÓLO UNA LÍNEA ESPECTRAL DOMINANTE EN EL MÁXIMO DE LA CURVA DE AMPLIFICACIÓN. ÉSTA PROPIEDAD, SIN EMBARGO, NO SE MANTIENE CON TASAS DE MODULACIÓN ELEVADAS. DADO QUE LA POSICIÓN ESPECTRAL DE LA AMPLIFICACIÓN MÁXIMA VARÍA CON LA MODULACIÓN, EL ESPECTRO DINÁMICO EXPERIMENTA UNA AMPLIACIÓN O AUMENTO DE LA CANTIDAD DE MODOS A MEDIDA QUE ASCIENDE LA TASA DE TRANSMISIÓN. ACÁ, EN CONSECUENCIA, LA DIFERENCIACIÓN ENTRE AMBAS FAMILIAS DE LÁSERES SE PIERDE. EN CASO DE ASCENSO DE TEMPERATURA, EL ESPECTRO DE AMBAS FAMILIAS DE ESTRUCTURASE DESPLAZA DE ALGUNAS DÉCIMAS DE NANÓMETRO POR KELVIN HACIA ONDAS MÁS LARGAS. EN LÁSERES GLD ESTO SÓLO OCASIONA UN DESPLAZAMIENTO DE LAS EVOLVENTES, MIENTRAS QUE EN ILD TAMBIÉN PUEDEN ORIGINARSE SALTOS DE MODOS.

EL CAMPO LEJANO DE LÁSER SEMICONDUCTOR, O SEA LA DISTRIBUCIÓN DE RADIACIÓN ESPACIAL MEDIDA A GRAN DISTANCIA DEL REFLECTOR DEL LÁSER, ES DEBIDO A LAS PEQUEÑAS DIMENSIONES DEL RESONADOR (EFECTO DE DIFRACCIÓN), INEVITABLEMENTE MÁS ANCHO QUE LA CARACTERÍSTICA DE IRRADIACIÓN DE LÁSERES GASEOSOS Y SÓLIDOS CONVENCIONALES Y ES POR LO GENERAL ASIMÉTRICO, EN RAZÓN DE LAS DIMENSIONES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES GENERALMENTE DIFERENTES. LAS MEDIDAS DEL GANCHO DIELÉCTRICO EN DIRECCIÓN VERTICAL COMPARABLES PARA ILD Y GLD DAN INICIALMENTE EN AMBOS CASOS SEMIANGOS DE APROXIMADAMENTE 40 HASTA 60° PARA LA CARACTERÍSTICA DE IRRADIACIÓN VERTICAL RESPECTO AL PLANO PN. LOS CAMPOS LEJANOS LATERALES DE ILD Y GLD, POR EL CONTRARIO, LLEVAN A DIFERENTES SEMIANGOS DE TÍPICAMENTE 5 HASTA 15° O 25 HASTA 35° RESPECTIVAMENTE, COMO ASIMISMO A DISTINTAS PROPIEDADES EN ENFOQUE, DEBIDO A LOS DIFERENTES MECANISMOS DE GUIADO. PARTICULARMENTE LOS GLD CON UN PRONUNCIADO GUIADO POR GANANCIA PRESENTAN UN ASTIGMATISMO PARALELO A LA JUNTA PN, DEBIDO A LOS FRENTES DE ONDAS CURVADOS PARA LA PROPAGACIÓN LUMÍNICA. DICHO ASTIGMATISMO PUEDE SER DESFAVORABLE PARA EL ACOPLAMIENTO DE LUZ EN LAS FIBRAS.

EL ACOPLAMIENTO DE RAYOS LÁSER EN LA FIBRA ÓPTICA ES EN SU PRINCIPIO PROBLEMÁTICO. A PRIMERA VISTA PARECE ORIENTADO POR EL CAMPO LEJANO Y EL ASTIGMATISMO DEL RAYO. EN ESTE CASO, NO OBSTANTE, UN ELEVADO RENDIMIENTO DE ACOPLAMIENTO EN LO POSIBLE, NO DEBE SER EL ÚNICO OBJETIVO; MÁS QUE NADA, SIMULTÁNEAMENTE DEBE MANTENERSE PEQUEÑA LA REAC-

CIÓN DE LA LUZ REFLEJADA DEL SISTEMA DE FIBRAS SOBRE EL LÁSER. LA SENSIBILIDAD DE REACCIÓN ES MARCADAMENTE DIFERENTE PARA AMBAS FAMILIAS DE LÁSERES GLD TIENEN UNA SENSIBILIDAD DE REACCIÓN BAJA, MIENTRAS QUE EN LOS DE TIPO ILD ES ALTA, DEBIDO A SU MAYOR CALIDAD DE RESONADOR. POR LO TANTO, EN DISPOSICIONES DE ACOPLAMIENTO NORMALES, LA VENTAJA DE UN ILD CON CAMPO LEJANO ANGOSTO SE PIERDE OTRA VEZ DEBIDO A ESE EFECTO.

TAMBIÉN EN LO REFERENTE A LA TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN, LOS LÁSERES-ILD TIENEN POR REGLA MAYORES EXIGENCIAS RESPECTO A LOS LÁSERES GLD. ACÁ, EL LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO SE DESTACA POR SU PARTICULAR SIMPLEZA.

ESTA OBSERVACIÓN MUESTRA COMO LA ELECCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE LÁSER INCIDE EN LAS PROPIEDADES DEL SISTEMA Y LAS RELACIONA CON LOS CRITERIOS DE FABRICACIÓN, DE MANERA QUE QUEDA MUY POCO MARGEN PARA UNA OPTIMIZACIÓN. ANTE TODO, NO ES POSIBLE MODIFICAR DISTINTAS PROPIEDADES DEL LÁSER INDEPENDIENTEMENTE DE OTRAS CARACTERÍSTICAS.

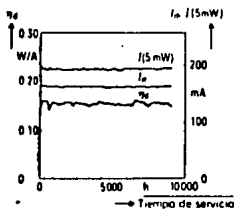


FIG. 4 LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO GALLAS DE 800 NM: CORRIENTE OPERACIONAL / PARA 5 M W POR ESPEJO, CORRIENTE DE UMBRAL / Y RENDIMIENTO DIFERENCIAL EN DEPENDENCIA DE LA DURACIÓN DE SERVICIO CON UNA TEMPERATURA DE CÁPSULA DE 100°C Y UNA POTENCIA ÓPTICA DE TRAZO ININTERRUMPIDO DE 5 M W POR ESPEJO.

DIODOS LÁSER PARA LA PRIMERA VENTANA TRANSMISORA (800 HASTA 900 NM)

TÉCNICAMENTE MÁS EVOLUCIONADOS SON LOS LÁSERES DEL SISTEMA DE MATERIALES GaALAs PARA EL RANGO DE LONGITUD DE ONDA 820 HASTA 880 NM. EL LÍMITE DE ONDA LARGA ESTÁ DADO POR LA SEPARACIÓN DE BANDA DEL -- GaAs. EL LÍMITE DE ONDA CORTA TODAVÍA PUEDE DESPLAZARSE HASTA APROXIMADAMENTE 700 NM AUMENTANDO LA PROPORCIÓN DE Al SIN QUE ELLO OCASIONE MERMAS IMPORTANTES EN LAS CUALIDADES DEL LÁSER.

UN EJEMPLO DEL AVANZADO ESTADO DE DESARROLLO, ES EL LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO GaALAs / GaAs APROPIADO Y DESARROLLADO CON GRAN PERFECCIÓN PARA LA APLICACIÓN EN SISTEMAS ÓPTICOS MULTIMODOS. EN ESTE TIPO DE LÁSER, LAS ELEVADAS DENSIDADES DE POTENCIA ÓPTICA Y ELÉCTRICA TÍPICAS PARA LÁSERES SEMICONDUCTORES Y QUE SE ORIGINAN SOBRE LOS ESPEJOS (HASTA 10^6 W CM²) Y LOS CONTACTOS (APROXIMADAMENTE $5 \cdot 10^3$ W CM²) SON HOY EN DÍA DOMINADAS Y REPRODUCIDAS -- CONFIABLEMENTE. ACÁ, ANTE TODO, EL PROBLEMA DEL ENVEJECIMIENTO -- EXISTENTE DURANTE MUCHO TIEMPO HA SIDO SOLUCIONADO HASTA TAL PUNTO, QUE EN LOS LÁSERES LAS TASAS DE ENVEJECIMIENTO PARA PARÁMETROS OPERATIVOS DETERMINANTES SON TAN BAJAS COMO LAS DE LOS MEJORES IRED -- (DIODOS EMISORES DE LUZ INFRARROJA; ESTO SIGNIFICA QUE EL EFECTO DE LOS PROCESOS DE ENVEJECIMIENTO ESPECÍFICOS AL LÁSER (POR EJEMPLO EN VEJECIMIENTO DEL ESPEJO Y EL CONTACTO) PUEDEN ELIMINARSE AMPLIAMENTE. EVENTUALES EFECTOS QUE PUEDAN QUEDAR DE UN ENVEJECIMIENTO REMANENTE SON TAN PEQUEÑOS QUE AÚN CON UNA CARGA DE TEMPERATURA MUY ELEVADA DEL LÁSER, POR EJEMPLO 100°C A TRAVÉS DE CASI 10000H, APENAS SON -- PERCEPTIBLES. DE ESTO RESULTAN TIEMPOS DE SERVICIO EXTRAPOLADOS SO BRE LA TEMPERATURA AMBIENTE MUY SUPERIORES A 100.000 H, EN LAS CUALES, POR EJEMPLO, LA MODIFICACIÓN DE LA CORRIENTE DE SERVICIO NECESARIA PARA EL MANTENIMIENTO DE UNA POTENCIA ÓPTICA DE 5mW ES DEL -- 10% COMO MÁXIMO.

EL LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO SE DISTINGUE ADE MÁS POR LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:

- COMPARATIVAMENTE ESCASA SENSIBILIDAD DE LA CORRIENTE DE UMBRAL CONTRA VARIACIONES DE TEMPERATURA HASTA 100°C , O SEA QUE EL LÁSER ES -- UTILIZABLE SIN ELEMENTO PELTIER;

- EMISIÓN DE LÁSER ESTABLE HASTA TEMPERATURAS ELEVADAS Y SIN AUTOPULSACIONES;

- GRAN ESTABILIDAD HASTA ELEVADAS POTENCIAS DE PULSOS (FIG. 5) Y POR ELLO MENOR SENSIBILIDAD CONTRA PICOS DE PULSOS, POR EJEMPLO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS DE ALIMENTACIÓN Y REGULACIÓN.

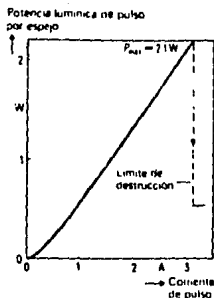


FIG. 5 CURVA CORRIENTE-LUZ PARA SERVICIO DE PULSOS (ANCHO DE PULSO 18 NS, TASA DE REPETICIÓN 100 KHz) HASTA EL LÍMITE DE CARGA ESPECULAR P_{max} PARA UN LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO GaAs - (LONGITUD DE ONDA $\lambda = 880\text{ nm}$, ANCHO DE FRANJA DE CONTACTO $3\ \mu\text{m}$, LONGITUD DE RESONADOR $400\ \mu\text{m}$, TEMPERATURA DE LA CÁPSULA 25°C).

CON ELLO ESTE LÁSER ES ADECUADO ANTE TODO PARA UNA TRANSMISIÓN CONFIABLE DE GRANDES CANTIDADES DE DATOS A TRAVÉS DE TRAMOS MÁS CORTOS (ALGUNOS KILÓMETROS). CONCEPCIÓN Y EJECUCIÓN PRÁCTICA DE UN ELEMENTO EMISOR CON EL LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO - GaALAs SON DESCRITOS EN (1).

DIODOS LÁSER PARA LA SEGUNDA VENTANA TRANSMISORA (1300 HASTA 1600 NM)

DISTINTO A LA PRIMERA VENTANA DE TRANSMISIÓN 800 HASTA 900 NM) EN LA CUAL LAS LONGITUDES DE TRANSMISIÓN ALCANZABLES PREPONDERANTEMENTE ESTÁN LIMITADAS POR LA ATENUACIÓN, EN LA SEGUNDA VENTANA (1300 - HASTA 1600 NM) TAMBIÉN TIENEN UN ROL IMPORTANTE LAS CUALIDADES DE FIBRAS, DEBIDO A LA ESCASA ATENUACIÓN. Es así que el ENSANCHAMIENTO DINÁMICO ESPECTRAL DE FABRY PEROT CITADO ANTERIORMENTE RECIBE -- UNA INFLUENCIA DETERMINANTE PARA TRANSMISIONES DE GRAN ALCANCE. EN ESTE CASO, EL RANGO DE TRANSMISIÓN ENTRE 1300 Y 1600 nm SE DESTACA POR EL ECHO QUE ACÁ LA DISPERSIÓN TOTAL DE UNA FIBRA MONOMODO PARA UNA DETERMINADA LONGITUD DE ONDA EN PRINCIPIO PUEDE HACERSE DESAPARECER COMPLETAMENTE (10), ELIMINÁNDOSE ASÍ LA INCIDENCIA DEL ENSANCHAMIENTO DINÁMICO. ESTO SE CONSIGUE MÁS FÁCILMENTE EN LONGITUDES DE ONDA ALREDEDOR DE LOS 1300 NM; SE EXPLICA ASÍ LA PREFERENCIA DE ESTA LONGITUD DE ONDA DE TRANSMISIÓN EN LOS SISTEMAS REALIZADOS ACTUALMENTE.

DIODOS LÁSER PARA EL RANGO DE ONDA LARGA SON FABRICADOS PRINCIPALMENTE DE GaInAsP/InP. EN ESTE SISTEMA DEJA CUBRIRSE EL RANGO DE -- LONGITUD DE ONDA DE 900 NM HASTA 1700 NM. DEBIDO A LA ALTURA MINIMA DE LA BARRERA DE POTENCIAL EXIGIDA A LAS HETEROJUNTURAS A AMBOS LADOS DE LA ZONA ACTIVA Y EN VIRTUD DE LA NECESIDAD DE LA ADAPTACIÓN DE LA REJILLA PARA EL SUBSTRATO InP (2), EL LÍMITE DE LONGITUD DE ONDA INFERIOR PARA LÁSERES GaInAsP / InP QUE DEBEN SER APTOS PARA LA OPERACIÓN PERMANENTE, SE ENCUENTRA REALMENTE EN APROX. 1200NM EL SISTEMA DE MATERIAL GaInAsP / InP TIENE EN LO ESENCIAL LAS MIS-- MAS PROPIEDADES BÁSICAS COMO EL SISTEMA GaALAs / GaAs, PERO CON --

UNA GRAN DIFERENCIA; DIODOS LÁSER DE GaInAsP / InP MUESTRAN EL DENOMINADO "PROBLEMA T_0 ". ESTE CONSISTE EN LA CRECIENTE INFLUENCIA DE RECOMBINACIÓN NO RADIATIVA A MAYOR LONGITUD DE ONDA (2), QUE OBSTRUYE CADA VEZ MÁS LA REALIZACIÓN DE DIODOS LÁSER EMISORES DE ONDA LARGA. LAS REPERCUSIONES PRÁCTICAS DE ESTE EFECTO SON LA GRAN DEPENDENCIA DE LA TEMPERATURA DE LA CORRIENTE DE UMBRAL I_{TH} , QUE CON LA TEMPERATURA CARACTERÍSTICA T_0 ESTÁ RELACIONADA A TRAVÉS DE UNA FUNCIÓN-EXPONENCIAL DE MANERA QUE:

$$I_{TH} = \exp(T / T_0) \quad (2)$$

(T TEMPERATURA EN K)

EN LA FIG. 6 PUEDE RECONOCERSE CLARAMENTE LA GRAN SENSIBILIDAD A LA TEMPERATURA DE LA CORRIENTE DE UMBRAL DE LOS DIODOS LÁSER GaInAsP / InP POR LA MAYOR ELEVACIÓN DEL DIAGRAMA DE CORRIENTE DE UMBRAL-TEMPERATURA, CON RELACIÓN A LOS DIODOS LÁSER GaInAsP / InP. ESTE COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA DESFAVORABLE REDUCE DECISIVAMENTE EL RANGO DE TEMPERATURA PARA EL SERVICIO POR CORRIENTE CONTINUA DE LOS DIODOS LÁSER DE 1300 NM. DADO QUE ESTAS LIMITACIONES ANULAN PARCIALMENTE LA VENTAJA DE LOS LÁSERES DE LA FAMILIA DE LOS GLD DEBIDO A SUS ELEVADAS CORRIENTES DE UMBRAL, EN ESTE RANGO DE TRANSMISIÓN LOS PESOS SE DESPLAZAN MÁS NOTORIAMENTE HACIA LOS ILD CON SUS CORRIENTES DE UMBRAL, MÁS BAJAS.

TAMBIÉN PARA EL RANGO DE LONGITUD DE ONDA ALREDEDOR DE LOS 1300 NM, EL LÁSER MCRW ES EN LO REFERENTE A LA TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN UN ILD PARTICULARMENTE SIMPLE. SIN PERJUICIO DE LA ELEVADA SENSIBILIDAD A LA TEMPERATURA DE LOS LÁSERES CUATERNARIOS, LA BAJA CORRIENTE DE UMBRAL DE ESTOS ILD ESPECÍFICOS POSIBILITA LA COLOCACIÓN DEL CRISTAL DEL LÁSER SOBRE DISIPADORES TÉRMICOS DE COBRE CON EL LADO DEL SUBSTRATO HACIA ABAJO, ES DECIR EN UNA TÉCNICA DE MONTAJE RELATIVAMENTE SENCILLA. LAS CURVAS DE CORRIENTE LUZ DE ESTOS LÁSERES REGISTRADAS EN SERVICIO PERMANENTE ESTÁ REPRESENTADAS EN LA FIG. 7, A, UN ESPECTRO TÍPICO EN LA FIG 7, B. LA FIG. 8 MUESTRA LAS DISTRIBUCIONES DE CAMPO LEJANO DE LOS LÁSERES MCRW DE ONDA LARGA, DETERMINANTES PA-

RA EL ACOPLAMIENTO DE FIBRAS ÓPTICAS. EL SEMIANCHO EN DIRECCIÓN VERTICAL RESPECTO A LA JUNTURA PN ESTÁ DETERMINADO POR EL ORDEN DE LAS HETEROCAPAS, COMO EN EL LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO Y SE ENCUENTRA TÍPICAMENTE ENTRE 40 Y 50°. LA ESTRUCTURA MCRW, EN CAMBIO, MUESTRA UN ÁNGULO DE IRRADIACIÓN REDUCIDO POR EL FACTOR 3 CON RESPECTO AL LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO, DEBIDO AL GUIADO POR ÍNDICE PARALELO A LA JUNTURA PN Y PERMITE CON ELLO UN ACOPLAMIENTO MÁS SIMPLE EN LAS FIBRAS, PERO A PRECIO DE UNA MAYOR SENSIBILIDAD DE REACCIÓN.

MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL MÍNIMO DE DISPERSIÓN QUE LAS FIBRAS ÓPTICAS DE SiO_2 PRESENTAN A 1300 NM, PUEDEN OBTENERSE SECCIONES REGENERADORAS HASTA MÁS DE 40 KM. CON TASAS DE TRANSMISIÓN HASTA 2 GBIT/S, TAL COMO HA SIDO DEMOSTRADO EN UN LABORATORIO POR DIFERENTES GRUPOS DE TRABAJO. CON ESTA LONGITUD DE ONDA, EL LARGO DE SECCIÓN REGENERADORA ALCANZABLE ES, HASTA APROXIMADAMENTE 1 GBIT/S, FUNDAMENTALMENTE LIMITADO POR LA ATENUACIÓN. MAYORES LONGITUDES DE CAMPO COMO CON 1300 NM SON FACTIBLES EN EL RANGO DE LA ATENUACIÓN MÁS BAJA CON APROXIMADAMENTE 1500 NM SI LA FUERTE DISPERSIÓN DEBIDA AL MATERIAL ALLÍ EXISTENTE PUEDE SER ANULADA. ESTO REQUIERE MEDIDAS ESPECIALES YA SEA DEL LADO DE LA FIBRA O DEL LADO DEL EMISOR. UNA MEDIDA CONSISTE, POR DIMENSIONAMIENTO APROPIADO (POR EJEMPLO DIÁMETROS DE NÚCLEO MÁS PEQUEÑOS, PER FIL DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN ESPECIAL) DE LAS FIBRAS, EN COMPENSAR LA DISPERSIÓN DEBIDA AL MATERIAL Y CON ELLO DESPLAZAR EL MÍNIMO DE LA DISPERSIÓN TOTAL EN EL CAMPO ALREDEDOR DE 1500 NM (10). SI ESTO, NO OBSTANTE, DEBE SER MATERIALIZADO CON UN AUMENTO DE ATENUACIÓN MUY GRANDE (POR EJEMPLO DEBIDO A EMPALMES) O SI NO SE JUSTIFICAN LAS TOLERANCIAS ESTRECHADAS EN RAZÓN DEL DIÁMETRO DE NÚCLEO REDUCIDO, EXISTE COMO SALIDA AÚN LA POSIBILIDAD DE DISMINUIR EL ANCHO DEL ESPECTRO DINÁMICO DEL DIODO LÁSER A UN MODO LONGITUDINAL DOMINANTE. ESTO, SIN EMBARGO, SE LOGRA SÓLO MEDIANTE UNA DE LAS SIGUIENTES COMPLICADAS CONCEPCIONES:

- EN LUGAR DE DIODOS LÁSER CON RESONADOR FABRY-PEROT SE UTILIZAN DIODOS LÁSER CON REALIMENTACIÓN DISTRIBUIDA, POR EJEMPLO LÁSERES DFB (DISTRIBUTED FEED-BACK). ESTOS LÁSERES SÓLO PUEDEN FABRICARSE HASTA AHORA CON UN GRAN DESPLIEGUE TECNOLÓGICO.

- EL DIODO LÁSER A MODULAR ES ESTABILIZADO CON UN SEGUNDO DIODO LÁSER UNIMODO FUNCIONANDO EN SERVICIO PERMANENTE ("INJECTION LOCKING").

- EL ESPECTRO DINÁMICO UNIMODO ES IMPUESTO MEDIANTE UN RESONADOR EXTERNO O UN RESONADOR DOBLE.
- LA POTENCIA LUMÍNICA DE UN DIODO LÁSER UNIMODO FUNCIONANDO EN SERVICIO POR CORRIENTE CONTINUA ES MODULADO EXTERNAMENTE.

ACTUALMENTE NO PUEDE DETERMINARSE CUÁL DE ESTAS SOLUCIONES ES LA MÁS ADECUADA PARA APLICACIONES TÉCNICAS.

CORRIENTE DE UMBRAL

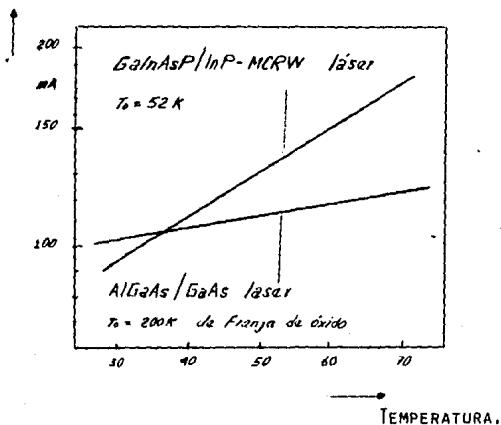


FIG. 6 DEPENDENCIA DE LA CORRIENTE DE UMBRAL DE LA TEMPERATURA EN EL EJEMPLO DE UN LÁSER GAINASP INP - MCRW FRENTE A UN LÁSER DE GEOMETRIA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO ALGAAS / GAAS.

A

POTENCIA LUMINICA PL POR ESPEJO

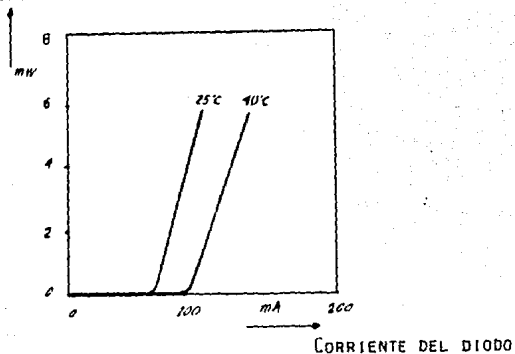
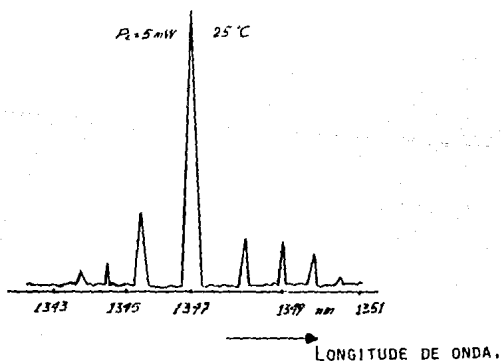


FIG. 7 CURVA CORRIENTE-LUZ (A) Y ESPECTRO (B) PARA SERVICIO PERMANENTE DE UN LÁSER GAINASP / INP- MCRW.

B



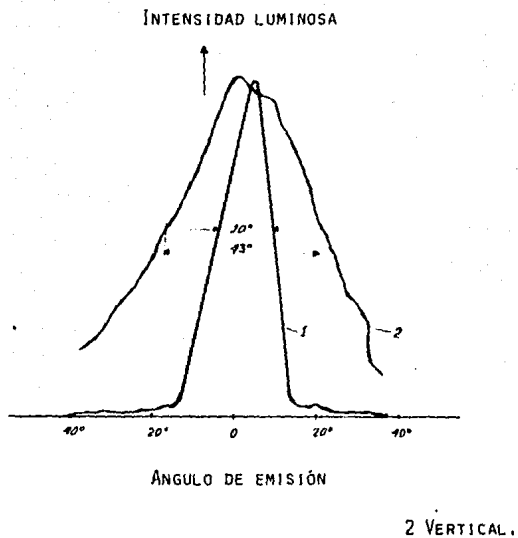


FIG. 8 DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO LEJANO DE UN LÁSER GAÍNASP / INP-MCRW.

EMISORES LÁSER DE TIPO MODULAR

PARA LA TRANSMISIÓN DE MENSAJES CON LUZ TIENEN UNA FUNCIÓN CLAVE LOS TRANSDUCTORES OPTOELECTRÓNICOS DE LOS DISPOSITIVOS DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN, POR CUANTO QUE ELLOS INFLUENCIAN DECISIVAMENTE LA CALIDAD DE TRANSMISIÓN DEL SISTEMA ENTERO. EN LA ELECCIÓN DE ESTOS COMPONENTES, ENTRE LOS CRITERIOS INDUDABLEMENTE MÁS IMPORTANTES SE CUENTAN, JUNTO A LA EFICIENCIA DEL TRANSMISOR ÓPTICO Y LA SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR ÓPTICO, UNA VIDA ÚTIL LO MÁS LARGA POSIBLE Y UN MANEJO SENCILLO. UN ELEMENTO TRANSMISOR PARTICULARMENTE EFICIENTE Y UNIVERSALMENTE APLICABLE ES EL COMPONENTE LÁSER AQUÍ PRESENTADO, QUE, DEBIDO A LA ESTRUCTURA MODULAR, TIENE EN CUENTA LAS PROPIEDADES ESPECIALES DEL DIODO LÁSER Y DE LA FIBRA ÓPTICA.

PROPIEDADES DEL DIODO LÁSER DE ESTRUCTURA DISCRETA

SOLO EL DIODO LÁSER COMO ELEMENTO TRANSMISOR PERMITE APROVECHAR PLENAMENTE LA ALTA CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN Y EL GRAN ALCANCE NECESARIOS PARA LA TRANSMISIÓN ÓPTICA DE MENSAJES. PERO, PARA PODER UTILIZAR DE MANERA ÓPTIMA LAS PRINCIPALES VENTAJAS DE ESTOS DIODOS FRENTE A OTROS ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN, COMO LOS DIODOS LUMINISCENTES-- (LED E IRED), ES PRECISO EFECTUAR UNA GRANDE EROGACIÓN CON EL OBJETO DE ASEGURAR LA ESTABILIDAD DEL SERVICIO Y PROTEGER LOS DIODOS LÁSER.

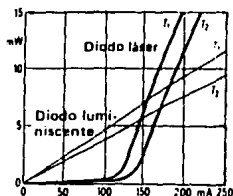
LA FIG. 1 MUESTRA CURVAS TÍPICAS DE POTENCIA LUMÍNICA-CORRIENTE PARA DIODOS LUMINISCENTE Y LÁSER EN DIVERSAS CONDICIONES DE TEMPERATURA. LAS DIFERENCIAS BÁSICAS SON MANIFIESTAS. MIENTRAS QUE EL DIODO LUMINISCENTE EMITE UNA POTENCIA LUMÍNICA IMPORTANTE YA CON MUY PEQUEÑAS-CORRIENTES ($I < 50$ mA), LA POTENCIA LUMÍNICA DEL DIODO LÁSER SÓLO ASCIENDE A PARTIR DE UNA CORRIENTE MÍNIMA (CORRIENTE DE UMBRAL), PARA ELEVARSE LUEGO EN FORMA SUMAMENTE EMPINADA YA ANTE UN PEQUEÑO AUMENTO DE CORRIENTE.

EL CURSO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS INDICADAS PONE CLARAMENTE DEMANIFIESTO LAS VENTAJAS SUSTANCIALES DEL DIODO LÁSER, PERO TAMBIÉN -

SU COMPORTAMIENTO CRÍTICO EN SERVICIO:

- EN EL SERVICIO LÁSER, CON CORRIENTES POR ENCIMA DE LA CORRIENTE DE UMBRAL, EL DIODO LÁSER EMITE RADIACIÓN COHERENTE. EL AUMENTO DE POTENCIA ANTE EL AUMENTO DE CORRIENTE (POR EJEMPLO EFICIENCIA DIFERENCIAL $N=0,2$ W/A ES SUPERIOR EN VARIOS ÓRDENES DE MAGNITUD CON RELACIÓN AL DIODO LUMINISCENTE. LO QUE REPERCUTE, ANTE TODO SOBRE LA MODULABILIDAD DE LA RADIACIÓN.

POTENCIA LUMINICA ϕ



CORRIENTE DE PASO I .

FIG. 1 CURVAS DE POTENCIAL LUMÍNICA-CORRIENTE DE DIODOS LUMINISCENTES Y LÁSER CON $T_1 = 25$ C Y $T_2 = 60$ ° C.

- RESULTA CLARO QUE LA POTENCIA LUMÍNICA EN FUNCIÓN DE LA CORRIENTE-CASI YA NO PUEDE REGULARSE, PUESTO QUE PEQUEÑAS FLUCTUACIONES DE CORRIENTE OPERAN AGRAVANTES ALTERACIONES DE LA POTENCIA LUMÍNICA. POR ELLO, UN SERVICIO CON POTENCIA LUMÍNICA CONSTANTE SÓLO ES POSIBLE -- POR MEDICIÓN DE LA POTENCIA ÓPTICA.

- OTRO PROBLEMA ES EL COMPORTAMIENTO EN TEMPERATURA DEL DIODO LÁSER. MIENTRAS QUE EL DIODO LUMINISCENTE AL ELEVARSE LA TEMPERATURA REDUCE SU POTENCIA LUMÍNICA, PARA IGUAL CORRIENTE, EN APROXIMADAMENTE UN -- 0.7% POR KELVIN, EL DIODO LÁSER MUESTRA UN DESPLAZAMIENTO PARALELO - DE LA CURVA HACIA LAS CORRIENTES SUPERIORES. YA UN AUMENTO DE TEMPERATURA DE POCOS KELVIN PUEDE AQUÍ OPERAR QUE AQUÉL PARALICE EL SERVICIO LÁSER Y NO EMITA YA SINO RADIACIÓN INCOHERENTE CON ESCASA POTENCIA.

ASÍ ES COMO UNA BUENA TRANSFERENCIA TÉRMICA Y UNA ADECUADA ESTABILIZACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL DIODO LÁSER SON DE IMPORTANCIA FUNDAMENTAL PARA UNA EMISIÓN DE POTENCIAL LUMÍNICA CONSTANTE.

COMO LAS DIMENSIONES DE LA VENTANA DE SALIDA DE LA RADIACIÓN ÓPTICA EN EL PLANO ESPECULAR DEL DIODO LÁSER ESTÁN SITUADAS EN EL ORDEN DE MAGNITUD DE LA LONGITUD DE ONDA LUMÍNICA , SE PRODUCEN EFECTOS DE DIFRACCIÓN DE LA LUZ RADIADA Y, POR LO TANTO, MAYORES DIVERGENCIAS - DE HAZ, QUE, POR EJEMPLO, CON LÁSERES DE GAS. A ELLO SE AGREGA EL - ASTIGMATISMO DEL CAMPO DE RADIACIÓN, QUE SE ORIGINA POR UNA DISLOCACIÓN LONGITUDINAL DE LAS ABERTURAS DE SALIDA APARENTES DEL CAMPO LEJANO LATERAL Y TRANSVERSAL (FIG.2).

LA FIG. 3 MUESTRA LAS PROPORCIONES DE LUZ ACOPLADAS EN UNA TÍPICA FIBRA DE INDICE GRADUAL ($D_K = 50 \mu\text{m}$) CON DESPLAZAMIENTO DE LA FIBRA EN EL PLANO ESPECULAR Y VERTICALMENTE A ÉSTE. AQUÍ SE VE CLARAMENTE -- CON QUÉ PRECISIÓN DEBE AJUSTARSE LA FIBRA AL DIODO PARA PODER UTILIZAR EN FORMA ÓPTIMA LA ALTA POTENCIA LUMÍNICA DEL DIODO LÁSER. A PESAR DE LA DIVERGENCIA DE RADIACIÓN DEL DIODO, ES POSIBLE ACOPLAR EN LA FIBRA HASTA EL 70% DE LA RADIACIÓN TOTAL EMITIDA DESDE UN ESPEJO DE UN DIODO LÁSER, SUPUESTA UNA BUENA ADAPTACIÓN ÓPTICA DE LA FIBRA. TALES VALORES NO SON ALCANZABLES NI CON DIODOS LUMINISCENTES NI CON DIODOS QUE EMITEN LUZ INFRARROJA.

LAS DIFERENCIAS EN LOS VALORES PARA EL ACOPLAMIENTO EN LAS FIBRAS ÓPTICAS DEBEN ATRIBUIRSE A LA DIFERENCIA DE LUMINANCIA Y A LA DIFERENTE CARACTERÍSTICA DE RADIACIÓN DE LOS TRANSMISORES ÓPTICOS. MIENTRAS

POR EJEMPLO LOS DIODOS QUE EMITEN LUZ INFRARROJA TIENEN LUMINANCIAS TÍPICAS DE APROXIMADAMENTE $4 \text{ W} / \text{cm}^2$ CON RADIACIÓN ISOTRÓPICA, LA LUMINANCIA SOBRE LA VENTANA DE SALIDA DE LA LUZ DE UN DIODO LÁSER ES TÍPICAMENTE DEL ORDEN DE $1 \text{ MW} / \text{cm}^2$. DE AHÍ TAMBIÉN QUE EL PLANO ESPECULAR DE UN DIODO LÁSER SEA SUMAMENTE SENSIBLE EN EL SERVICIO A CUALQUIER INFLUENCIA DEL ENTORNO, COMO POLVO, HUEYAD Y VAPORES ORGÁNICOS, QUE SE QUEMARÍA EN SEGUIDA EN LA ZONA DE LA VENTANA DE SALIDA DE LA LUZ, TENIENDOSE QUE PROTEGER EFICAZMENTE EL DIODO LÁSER CONTRA TALES AGENTES.

FUNCIONES DEL MÓDULO

LA MISIÓN DE LA ESTRUCTURA MODULAR DEL DIODO LÁSER DEBE CONSISTIR EN SOLUCIONAR LAS DIFICULTADES CON EL EMPLEO DEL DIODO LÁSER EN LA TRANSMISIÓN ÓPTICA DE INFORMACIÓN. PARA EL USUARIO, EL MÓDULO TIENE QUE SER FÁCIL Y SEGURAMENTE INSERRABLE.

EN LA FIG. 4 ESTÁ REPRESENTADO EL PRINCIPIO DE CONSTRUCCIÓN MODULAR. COMO UNIDAD CENTRAL SURGE EL DIODO LÁSER, QUE CON AYUDA DEL DISEÑO MODULAR ESTÁ ADAPTADO AL AMBIENTE Y AL TRAMO DE TRANSMISIÓN DE FIBRA ÓPTICA. COMO SE DESPRENDE DE FIG. 1, UNA REGULACIÓN DEL DIODO LÁSER SOBRE UNA POTENCIA DE RADIACIÓN CONSTANTE SÓLO PUEDE HACERSE CON SEGURIDAD MEDIANTE LA MEDICIÓN DIRECTA DE UNA PARTE PROPORCIONAL DE LA RADIACIÓN EMITIDA POR EL DIODO LÁSER.

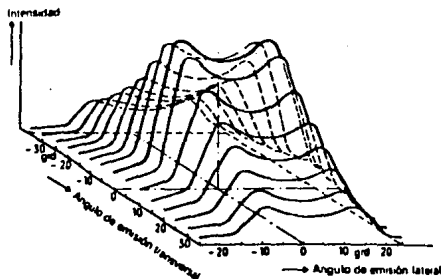


FIG. 2 CAMPO LEJANO DEL DIODO LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRANJAS AISLADAS CON ÓXIDO.

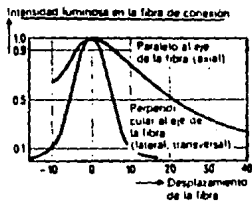


FIG. 3 ACOPLAMIENTO LUMÍNICO DE UN DIODO LÁSER DE GEOMETRÍA DE FRONTERAS AISLADAS CON ÓXIDO DE UNA FIBRA DE ÍNDICE GRADUAL CON $d_K=50 \mu\text{m}$.

PARA ESTE FIN, EN EL MÓDULO LÁSER SE APROVECHA LA PECULIARIDAD DEL DIODO LÁSER DE EMITIR PARTES DE RADIACIÓN MUTUAMENTE PROPORCIONALES DESDE AMBOS ESPEJOS EN DIRECCIONES CONTRAPUESTAS. CON UN ADECUADO MONTAJE DEL CHIP DEL DIODO SOBRE SU PORTADOR (DISIPADOR TÉRMICO PRIMARIO), SÓLO EL ESPEJO DE LÁSER ANTERIOR PUEDE ACOPLAR RADIACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA. EL ESPEJO POSTERIOR SIRVE PARA LA MEDICIÓN DEL NIVEL DE RADIACIÓN, DONDE UN DIODO MONITOR RECIBE LA LUZ EMITIDA, LA CONVIERTE EN UNA FOTOCORRIENTE PROPORCIONAL A ELLA Y PUEDE CEDERLA SOBRE UN CIRCUITO REGULADOR EXTERNO.

CON MIRAS AL APROVECHAMIENTO ÓPTIMO DE LAS PROPIEDADES ESPECÍFICAS DE GRAN IMPORTANCIA EL DISEÑO MODULAR DE LOS COMPONENTES DE MEDICIÓN, REGULACIÓN Y ADAPTACIÓN NECESARIOS PARA EL SERVICIO DEL LÁSER CON CIERRE HERMÉTICO. EN EL MÓDULO DE LÁSER AQUÍ EXPUESTO SFH 408,-

SE INTENTÓ SATISFACER EL CONJUNTO DE EXIGENCIAS QUE HOY EN DÍA SE PLANTEAN SOBRE LOS TRANSMISORES LÁSER PARA APLICACIONES EN LA TÉCNICA DE FIBRA ÓPTICA.

REGULACIÓN DE TEMPERATURA

LA TEMPERATURA DE SERVICIO CONSTANTE NECESARIA EN EL MÓDULO PARA UNA POTENCIA DE RADIACIÓN CONSTANTE SE ALCANZA POR TRANSFERENCIA TÉRMICA SOBRE EL DISIPADOR TÉRMICO PRIMARIO Y POR MEDIO DE UNA ADECUADA CONDUCCIÓN TÉRMICA INTERNA SOBRE LA PARED MODULAR EXTERNA, QUE CONSTITUYE EL DISIPADOR TÉRMICO SECUNDARIO. EN LA CONDUCCIÓN TÉRMICA PASIVA POR MEDIO DEL DISIPADOR TÉRMICO SECUNDARIO, LA TEMPERATURA DEL DIODO LÁSER DEPENDE BÁSICAMENTE DE LA TEMPERATURA DE ESTE DISIPADOR TÉRMICO Y, EN CONSECUENCIA, TAMBIÉN ES AJUSTADA POR ÉSTE DESPUÉS DE UN TERMINADO TIEMPO POR TRANSICIÓN. AQUÍ, POR LO TANTO, EL DIODO LÁSER CONTINUA DEPENDIENDO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE.

EN LA CONDUCCIÓN TÉRMICA ACTIVA, LA TEMPERATURA DEL DIODO LÁSER ES SUSCEPTIBLE DE AJUSTE POR MEDIO DE UN DISIPADOR DE PELTIER DENTRO DE CIERTOS LÍMITES ($\Delta T=40K$) CON INDEPENDENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE. PARA ELLO, EL DISIPADOR INCORPORADO EN EL MÓDULO ES ACOPLADO -- CON SU LADO FRÍO DIRECTAMENTE SOBRE EL DISIPADOR TÉRMICO PRIMARIO -- DEL DIODO LÁSER. EL LADO CALIENTE DEL REFRIGERADOR CONDUCE EL CALOR, -- FINALMENTE SOBRE EL DISIPADOR TÉRMICO SECUNDARIO, A TRAVÉS DE LA PARED DEL ENCAPSULADO.

LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA NECESARIA PARA LA REGULACIÓN DE TEMPERATURA SE REALIZA POR MEDIO DE UN TERMISTOR SITUADO SOBRE EL DISIPADOR PRIMARIO. ÉSTO PERMITE MANTENER CONSTANTE LA TEMPERATURA DEL DIODO LÁSER CON UN CIRCUITO DE REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA CONECTADO EXTERNAMENTE AL MÓDULO SOBRE $\pm 0,5K$, INDEPENDIEMENTE DE LA TEMPERATURA AMBIENTE Y DE LA POTENCIA LÁSER AJUSTADA.

ADAPTACIÓN ÓPTICA

EN ORDEN A ACOPLAR UNA FRACCIÓN LUMÍNICA LINEAL LO MÁS ALTA POSIBLE, ES NECESARIO ADOPTAR UNA SERIE DE MEDIDAS ESPECIALES TENDIENTES A FAVORECER LA ADAPTACIÓN A LA FIBRA ÓPTICA. EN EL CONCEPTO

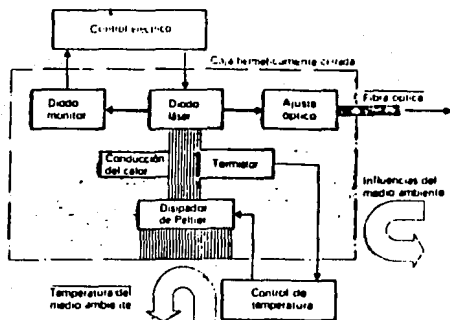


FIG. 4 PRINCIPIO DE CONSTRUCCIÓN MODULAR DEL TRANSMISOR LÁSER.

MODULAR ELEGIDO SE DESPLAZA LA INTERFAZ DIODO LÁSER - FIBRA ÓPTICA - AL INTERIOR DEL MÓDULO Y SE LLEVA AFUERA UN CORTO TROZO DE FIBRA DE CONEXIÓN (PIGTAIL). PARA LA APLICACIÓN, POR ESTE MEDIO SE LIMITA EL PROBLEMA DE ACOPLAMIENTO AL ENLACE DE LA FIBRA ÓPTICA CON EL TRAMO DE FIBRA ÓPTICA.

LA ADAPTACIÓN PROPIAMENTE DICHA DIODO LÁSER A LA FIBRA DE CONEXIÓN - SE REALIZA DENTRO DEL MÓDULO MISMO. ESTO OFRECE LA POSIBILIDAD DE - ACOPLAR DIVERSOS TIPOS DE TRANSMISORES LÁSER A UN TRAMO DE FIBRA ÓPTICA SEGÚN LAS NECESIDADES:

- DIODO LÁSER Y FIBRA ÓPTICA MONOMODO PARA UNA LONGITUD DE ONDA DE --
 $\lambda = 1300 \text{ nm}$.

POR CAUSA DE LOS ALTÍSIMOS REQUERIMIENTOS PLANTEADOS EN EL RANGO MONOMODAL SOBRE LA EXACTITUD EN EL AJUSTE DE FIBRA Y DIODO ENTRE SI -- (EXACTITUD DE AJUSTE $< 1 \mu\text{m}$ PARA $D_K < 10 \mu\text{m}$) UN ACOPLAMIENTO LUMÍNICO ÓPTIMO SÓLO ES ALCANZABLE EN EL DISEÑO MODULAR.

EN TODOS LOS CASOS MENCIONADOS, LA ESTRUCTURA MODULAR SIRVE PARA - - ADAPTAR EL RESPECTIVO DIODO LÁSER AL TRAMO DE FIBRA ÓPTICA.

SELLADO HERMÉTICO

LA SENSIBILIDAD DE LOS ESPEJOS LÁSER ALTAMENTE CARGADOS ASÍ COMO LA DISTANCIA ABIERTA ENTRE DIODO LÁSER Y EXTREMO DE FIBRA DE CONEXIÓN - (POR REGLA GENERAL APROXIMADAMENTE 10 nm) REQUIEREN UN ALTÍSIMO GRADO DE PUREZA EN ORDEN A GARANTIZAR UN DESACOPLAMIENTO RESPECTIVAMENTE ACOPLAMIENTO DE LUZ CONSTANTE. EN CONSECUENCIA, DEBE EVITARSE -- QUE EN CONDICIONES OPERATIVAS SE DEPOSITEN PARTÍCULAS DE POLVO O SUCIEDAD O INCLUSO QUE PRECIPITADOS - ORIGINADOS POR EJEMPLO EN SOLUCIONES ORGÁNICAS O EN LA HUMEDAD ATMOSFÉRICA - INFLUYAN SOBRE LOS ESPEJOS LÁSER Y LA ÓPTICA DE LAS FIBRAS. ESTOS REQUERIMIENTOS SE SATISFACEN CON EL DISEÑO MODULAR POR UN ENCAPSULADO HERMÉTICO. ASIMISMO, LA ESTANQUEIDAD DE TODOS LOS PASOS DE CONEXIÓN Y PRINCIPALMENTE DE LAS FIBRAS DE CONEXIÓN IMPIDE CUALQUIER TIPO DE INFLUENCIA AMBIEN

TALES COMO EL DIODO LASER Y LA OPTICA DE LAS FIBRAS.

EL USO EXCLUSIVO DE SOLDADURAS PARA LA SUJECIÓN Y FIJACIÓN DE LOS DISTINTOS COMPONENTES EN EL INTERIOR DEL MÓDULO PERMITE DESCARTAR POR COMPLETO EN OPERACIÓN A LARGO PLAZO UNA GASIFICACIÓN DE SOLVENTES ORGÁNICOS O COMPONENTES PARCIALES, POR EJEMPLO DE PEGAMENTO.

2.5.- RECEPTORES OPTICOS FOTODIODOS COMO RECEPTORES OPTICOS

MIENTRAS QUE PARA LA VENTANA DE TRANSMISIÓN DE FIBRAS ÓPTICAS EN EL RANGO DE LONGITUDES DE ONDA DE 800 A 900 NM SE EMPLEAN FOTODIODOS Y FOTODIODOS DE AVALANCHA DE SILICIO, PARA LAS VENTANAS DE TRANSMISIÓN EN TORNO DE 1300 A 1500 NM SE UTILIZAN FOTODIODOS DE AVALANCHA DE GERMANIO. LOS RECIENTES DESARROLLOS SE ENCUENTRAN EN REALIZAR, PARA AMBAS VENTANAS DE TRANSMISIÓN DE ONDA LARGA, RECEPTORES MÁS SENSIBLES DE LO QUE ES POSIBLE CON FOTODIODOS DE AVALANCHA DE GERMANIO. EN ESTE SENTIDO, ANÁLOGAMENTE A LOS ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN, LOS FOTODIODOS Y FOTODIODOS DE AVALANCHA SE PRODUCEN SOBRE LA BASE DE LOS SEMICONDUCTORES III-V, PRINCIPALMENTE SOBRE LA BASE DEL SISTEMA MATERIAL INGAAsP / INP. LOS RECEPTORES ACTUALMENTE MÁS SENSIBLES PARA EL RANGO DE ONDA LARGA, HASTA TASAS DE TRANSMISIÓN DE 565 MBIT/S, CONTIENEN FOTODIODOS DE INGAAs/INP Y TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO DE GAAs DE BAJO RUIDO COMO PREAMPLIFICADORES. MAYORES SENSIBILIDADES SOBRE LA BASE DE SEMICONDUCTORES III-V, PERO, A PESAR DE RESULTADOS INDIVIDUALES MUY PROMETEDORES, NO ESTÁ EN VISTA AÚN EL USO TÉCNICO DE TALES DIODOS.

FOTODIODOS PARA LONGITUDES DE ONDA HASTA 1100 NM.

PARA LA VENTANA DE TRANSMISIÓN DE FIBRAS ÓPTICAS EN EL RANGO DE LONGITUDES DE ONDA DE 800 A 900 NM RESULTAN PARTICULARMENTE APROPIADOS LOS FOTODIODOS DE SILICIO. SU SENSIBILIDAD ESPECTRAL SE EXTIENDE DESDE EL RANGO ESPECTRAL ULTRAVIOLETA CERCANO HASTA EL RANGO ESPECTRAL INFRARROJO, DONDE EL LÍMITE DE ONDA LARGA ÉSTA SITUADO EN APROXIMADAMENTE 1100 NM, EN RAZÓN DE LA SEPARACIÓN ENTRE BANDAS DEL SILICIO.

UNA TECNOLOGÍA DEL SILICIO ALTAMENTE DESARROLLADA POSIBILITA LA PRODUCCIÓN DE FOTODIODOS QUE ESTÁN ADAPTADOS EN FORMA ÓPTIMA A LAS DISTINTAS APLICACIONES EN LO REFERENTE A SENSIBILIDAD ESPECTRAL, VELOCIDAD Y CORRIENTE DE OSCURIDAD. HOY SE CONTINÚAN PRODUCIENDO CASI EXCLUSIVAMENTE DIODOS PLANARES.

FOTODIODOS PIN

EN FOTODIODOS PIN NO AMPLIFICANTES, LA EXIGENCIA ARRIBA MENCIONADA SE CUMPLE SEPARANDO LA CAPA N ALTAMENTE DOTADA DE LA CAPA P POR MEDIO DE UNA ZONA I (INTRINSECA) DE ALTA IMPEDANCIA. YA CON PEQUEÑAS TENSIONES DE BLOQUEO, LA REGIÓN DE CARGA ESPECIAL Y, EN CONSECUENCIA, TAMBIÉN EL CAMPO ELÉCTRICO SE EXTIENDE ENTONCES POR TODA LA ZONA I.

LA FIG. 1 MUESTRA EL DISEÑO ESQUEMÁTICO DE UN DIODO CON ESTRUCTURA P^+VN^+ , DONDE V SIGNIFICA QUE LA ZONA I ES N-CONDUCTENTE. LA LUZ INFRARROJA INGRESA EN EL DIODO POR LA REGIÓN P^+ ; PARA EVITAR PERDIDAS POR REFLEXIÓN SE UTILIZA UNA CAPA DE Si_3N_4 . EN COMPARACIÓN CON LA ZONA V, LA ZONA P^+ Y LA N^+ SE MANTIENEN MUY DELGADAS, DE SUERTE QUE LA PARTE SUBSTANCIAL DE LA LUZ SEA ABSORBIDA EN LA ZONA V Y SE EVITEN LOS TIEMPOS DE DIFUSIÓN LARGOS. LOS PARES DE PORTADORES GENERADOS SE SEPARAN EN EL CAMPO DE LA ZONA DE CARGA ESPACIAL, SIENDO ASPIRADO EL ELECTRÓN HACIA EL LADO N^+ Y EL HUECO HACIA EL LADO P^+ . -- CON UN CAMPO DE $2 V / \mu m$ ALCANZAN LOS PORTADORES YA SU VELOCIDAD LÍMITE, QUE PARA LOS ELECTRONES ES DE $84 \mu m/ns$ Y PARA LOS HUECOS ESTA SITUADA EN $44 \mu m/ns$. PARA UN ANCHO DE CARGA ESPACIAL DE $20 \mu m$, LA VELOCIDAD LÍMITE SE ALCANZA A $40 V$ DE TENSIÓN EXTERNA, DONDE UN -- ELECTRÓN RECORRERÁ TODO ESTE TRAYECTO EN APENAS $250 ps$ Y UN HUECO -- EN ESCASAMENTE $500 ps$. COMO LA MAYOR PARTE DE LA RADIACIÓN ES ABSORBIDA EN LAS PROXIMIDADES DE LA JUNTURA P^+V , ESTA ESTRUCTURA OFRECE LA VENTAJA DE QUE LOS HUECOS EN PROMEDIO TIENEN QUE RECORRER TRAYECTOS DE DESPLAZAMIENTO MÁS CORTOS QUE LOS ELECTRONES.

LA EFICIENCIA CUÁNTICA DE TALES DIODOS P^+VN^+ ESTÁ SITUADA TÍPICAMENTE ALREDEDOR DE LOS 80%; LA CAPACIDAD DE BLOQUEO DE UN DIODO DISEÑADO PARA APLICACIONES DE FIBRA ÓPTICA CON ÁREA ACTIVA DE $200 \mu m$ DE -- DIÁMETRO ASCIENDE A $0,2 pF$. LAS REGIONES N^+ SITUADAS FUERA DEL -- ÁREA FOTOSENSIBLE SOBRE EL LADO SUPERIOR DE LOS DIODOS DEBEN SUPRIMIR CORRIENTES DE FUGA SUPERFICIALES. LA CORRIENTE DE OSCURIDAD ESTÁ SITUADA ENTONCES EN EL RANGO DE LOS PICOAMPERES. LA FIG. 2 MUESTRA UN DIODO DEL TIPO SFH 202.

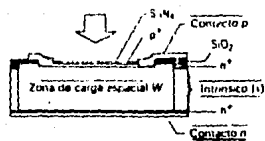


FIG. 1 DISEÑO ESQUEMÁTICO DE UN FOTODIODO PIN DE SILICIO CON ESTRUCTURA p^+vn^+ .

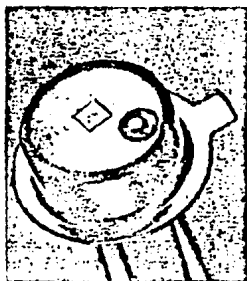


FIG. 2 FOTODIODO PIN SFH 202

FOTODIODOS DE AVALANCHA.

GRACIAS A LAS FAVORABLES CARACTERÍSTICAS DE LOS FOTODIODOS DE SILICIO NO AMPLIFICANTES (BAJO RUIDO DE GRANALLA DE LA CORRIENTE DE OSCURIDAD, PEQUEÑA CAPACITANCIA), EN LOS RECEPTORES OPTOELÉCTRICOS -- CON TALES DIODOS PREPONDERA POR LO GENERAL EL RUIDO DEBIDO AL AMPLIFICADOR. POR TAL CAUSA CABE AUMENTAR CLARAMENTE LA SENSIBILIDAD -- DEL RECEPTOR, EMPLEANDO FOTODIODOS EN LOS QUE SEA POSIBLE UNA AMPLIFICACIÓN DE CORRIENTE INTERNA POR MULTIPLICACIÓN EN AVALANCHA DE -- LOS PORTADORES DE CARGA GENERADOS. EN ESTE ASPECTO, RESULTA PARTICULARMENTE POSITIVO EL HECHO DE QUE EN EL SILICIO LAS TASAS DE IONIZACIÓN DE LOS ELECTRONES (A) SEAN MUCHO MAYORES QUE LAS TASAS DE -- IONIZACIÓN DE LOS HUECOS (B) $k=B/A=0.01$ A 0.1). EL RUIDO ADICIONAL GENERADO POR EL PROCESO DE AVALANCHA, DESCRITO POR EL FACTOR DE RUIDO ADICIONAL F , ES CONSIGUIENTEMENTE MUY ESCASO ($F < 10$)

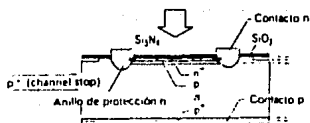
EN PRINCIPIO, LOS FOTODIODOS PIN ARRIBA PRESENTADO PUEDEN SER OPERADOS TAMBIÉN COMO FOTODIODOS DE AVALANCHA. PERO ENTONCES TIENEN LAS DESVENTAJAS SIGUIENTES:

- LA TENSIÓN NECESARIA A FIN DE ALCANZAR LAS ALTAS INTENSIDADES DE CAMPO REQUERIDAS PARA LA MULTIPLICACIÓN EN AVALANCHA DENTRO DEL -- ÁREA V DE LOS DIODOS ES MUY ALTA ($\approx 1000V$).
- EL PROCESO DEL ESTABLECIMIENTO DE LA AVALANCHA ELEVA EL TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO TOTAL DE LOS PORTADORES DE CARGA. COMO LA ZONA DE -- AMPLIFICACIÓN SE EXTIENDE POR UNA GRAN PARTE DE ÁREA V LOS DIODOS -- TIENEN UN PRODUCTO DE AMPLIFICACIÓN POR ANCHO DE BANDA MÁS BIEN ESCASO. EN CONSECUENCIA, ES NECESARIO RESTRINGIR LA MULTIPLICACIÓN A UNA PEQUEÑA ÁREA, DE APROXIMADAMENTE $1 \mu m$ DE ESPESOR.

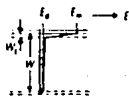
LAS EXIGENCIAS POR UNA TENSIÓN DE SERVICIO LO MÁS BAJA POSIBLE, UN -- ALTO PRODUCTO DE AMPLIFICACIÓN POR ANCHO DE BANDA Y, ADICIONALMENTE, UN ALTO GRADO DE EFICIENCIA CUÁNTICA SON POSIBILITADAS POR ESTRUCTURAS FOTODIÓDICAS EN QUE, AL APLICARSE UNA TENSIÓN EXTERNA, SE INSTAURA LA CURVA INDICADA EN LA FIG. 3. LA ZONA DE ALTO CAMPO CON -- CAMPO MÁXIMO E_M LIMITA LA AMPLIFICACIÓN AL ÁREA PEQUEÑA V_L ; CON -- ELLA ESTÁ ENLAZADA UNA ZONA ANCHA CON CAMPO E_D RELATIVAMENTE BAJO --

PARA LA COLECCIÓN DE PORTADORES DE CARGA. POR RAZONES TECNOLÓGICAS SE REALIZAN HOY CASI EXCLUSIVAMENTE TALES DIODOS CON UNA ESTRUCTURA-
 N^+P n^+p^+ .

A



B



E_0 INTENSIDAD DE DESPLAZAMIENTO
 E_{max} INTENSIDAD DE CAMPO MÁXIMA

U_0 ZONA DE CARGA ESPECIAL
 U_{max} ZONA DE AVALANCHA

FIG. 3 DISEÑO ESQUEMÁTICO (A) Y FORMA DEL CAMPO (B) DE UNA FOTODIODO DE AVALANCHA DE SILICIO.

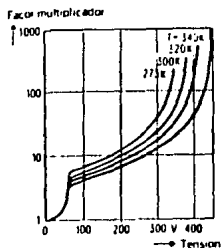


FIG. 4 FACTOR DE MULTIPLICACIÓN M DE UN FOTODIODO DE AVALANCHA DE SILICIO SEGÚN (2) EN FUNCIÓN DE LA TENSIÓN (PARÁMETRO ES LA TEMPERATURA 1),

PARA EVITAR RUPTURAS MARGINALES, EL DIODO TIENE UN ANILLO DE PROTECCIÓN Y, PARA RESTRINGIR POSIBLES CAPAS DE INVERSIÓN SOBRE LA SUPERFICIE, UN BLOQUEADOR DE CANAL P^+ UN (CHANNEL STOP). PARA REDUCIR PÉRDIDAS POR REFLEXIÓN SOBRE LA VENTANA DE ENTRADA, ESTÁ APLICADA UNA CAPA ANTIRREFLEXIVA ÓPTICA DE Si_3N_4 .

LA ABSORCIÓN DE LA LUZ INFRARROJA Y, POR LO TANTO, LA GENERACIÓN DE LOS PARES PORTADORES SE EFECTÚA, COMO EN EL DIODO PIN, PRINCIPALMENTE EN LA ZONA n SIENDO ASPIRADOS LOS HUECOS HACIA LA ZONA P^+ Y SIENDO INYECTADOS LOS ELECTRONES EN LA REGIÓN P, EN LA CUAL TIENE LUGAR LA AMPLIFICACIÓN POR AVALANCHA.

ESTA CLASE DE DIODOS, EN LOS QUE LA ZONA DE CARGA ESPACIAL ESTÁ EXTENDIDA SOBRE LA REGIÓN P Y n HASTA LA CAPA P^+ , SE CONOCE BAJO LA DESIGNACIÓN DE "REACH THROUGH APD" (RAPD). LA DOTACIÓN Y LAS DIMENSIONES GEOMÉTRICAS DE LA ZONA P Y n SE ELIGEN EN ESTOS DIODOS, DENTRO DE LO POSIBLE, DE MANERA QUE EN SERVICIO DE LOS DIODOS REINE EN

LA ZONA γ PRECISAMENTE LA INTENSIDAD DE CAMPO DE SATURACIÓN PARA LOS PORTADORES GENERADOS.

LA FIG. 4 MUESTRA LA CURVA TÍPICA DEL FACTOR DE AMPLIFICACIÓN M DE UN RAPD EN FUNCIÓN DE LA TENSIÓN APLICADA (EL PARÁMETRO ES LA TEMPERATURA). CON M PEQUEÑO, SÓLO LA REGIÓN P ESTÁ VACIADA Y M ASCIENDE EMPINHADAMENTE. EN EL CURSO ULTERIOR DE LA CURVA, ES VACIADA LA ZONA γ ; LA INTENSIDAD DE CAMPO MÁXIMA E_m SÓLO SE ELEVA ENTONCES UN POCO, HASTA QUE FINALMENTE CON TENSIONES SUPERIORES SE PRODUCE LA ROTURA DEL DIODO.

PARA LOS SISTEMAS DE TENSIÓN DE FIBRAS ÓPTICAS DE LA TÉCNICA DE COMUNICACIONES, LOS DIODOS SE OPERAN POR REGLA GENERAL CON FACTORES DE AMPLIFICACIÓN MENORES QUE 100 Y CON TENSIONES DE BLOQUEO ENTRE 100 Y 400 V. CON ESTAS AMPLIFICACIONES, EL TIEMPO DE SUBIDA, SI NO HAY RESTRICCIÓN IMPUESTA POR LA CONSTANTE DE TIEMPO DE RC, ES DETERMINADO, COMO EN EL DIODO PIN POR EL TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO DE LOS PORTADORES EN LA REGIÓN γ . EN LA FIG. 5 ESTÁN REPRESENTADAS LAS SENSIBILIDADES DE RECEPTOR ALCANZADAS BAJO EMPLEO DE FOTODIODOS PIN O AVALANCHA PARA EL RANGO DE TRANSMISIÓN DE 800 A 900 NM.

FOTODIODOS PARA LONGITUDES DE ONDA DE 1100 A 1600 NM

PARA LAS VENTANAS DE TRANSMISIÓN DE ONDA LARGA DE FIBRAS ÓPTICAS ENTORNO DE 1300 Y 1500 NM QUEDAN ELIMINADOS LOS FOTODIODOS Y LOS FOTODIODOS DE AVALANCHA DE SILICIO A CAUSA DE LA DESAPARICIÓN PROGRESIVA DE LA ABSORCIÓN POR ENCIMA DE 1100 NM. COMO MATERIALES SEMICONDUCTORES ALTERNATIVOS CON COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SUFICIENTEMENTE ALTO ESTÁN A DISPOSICIÓN EL GERMANIO Y CRISTALES MIXTOS SOBRE LA BASE DE DIVERSOS SEMICONDUCTORES III-V. CON LOS SEMICONDUCTORES III-V, AL IGUAL QUE CON LOS ELEMENTOS TRANSMISORES, RESULTA FAVORECIDO EL SISTEMA DE MATERIALES $INGaAsP/InP$, CON EL CUAL SE PUEDEN INSTAURAR LONGITUDES DE ONDA LÍMITES CORRESPONDIENTES A LAS SEPARACIONES ENTRE BANDAS DE LA FOTOSENSIBILIDAD ENTRE 930 Y 1650 nm. LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SISTEMA SEMICONDUCTOR $INGaAsP/InP$ CONDUCEN A PARÁMETROS FOTODIÓDICOS MÁS FAVORABLES QUE EN EL GERMANIO; SOBRE TODO, PUEDEN REALIZARSE FOTODIODOS CON CORRIENTES DE OSCURIDAD INFERIORES. PERO LA PROBLEMÁTICA RESIDE EN LA PRODUCCIÓN DE FOTODIODOS DE AVALANCHA, PUESTO QUE:

- ESTOS DIODOS CON JUNTURA PN EN EL InGaAsP TIENEN UNA RUPTURA POR EFECTO TÚNEL SIN AMPLIFICACIÓN DE LOS PORTADORES DE CARGA, POR LO QUE SE HACE NECESARIO ADOPTAR ESTRUCTURAS COMPLICADAS CON LA ZONA DE ALTO CAMPO DE LA JUNTURA PN EN EL InP Y CON UNA CAPA DE ABSORCIÓN DE InGaAsP .

- ADEMÁS, LA RELACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE IONIZACIÓN K DE HUECOS Y ELECTRONES EN EL GERMANIO Y FOSFURO DE INDIUM TIENE VALORES 2 A 3, POR LO QUE LOS FOTODIODOS DE AVALANCHA DE ESTOS MATERIALES TIENEN UN RUIDO ADICIONAL NOTABLEMENTE SUPERIOR AL DE LOS DIODOS DE SILICIO.

PARA RECEPTORES ALTAMENTE SENSIBLES DE LAS DOS VENTANAS DE TRANSMISIÓN DE ONDA LARGA OFRECEN ACTUALMENTE, EN CONSECUENCIA, LOS FOTODIODOS SIGUIENTES:

- FOTODIODOS CON BAJA CORRIENTE DE OSCURIDAD DE InGaAsP ,
- FOTODIODOS DE AVALANCHA DE GERMANIO Y
- FOTODIODOS DE AVALANCHA SOBRE LA BASE DE SEMICONDUCTORES III-V, EN PARTICULAR DE InGaAsP/InP , CUYO DESARROLLO, SIN EMBARGO, AÚN NO ESTÁ CONCLUIDO.

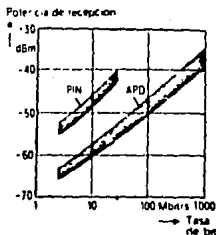


FIG. 5 SENSIBILIDAD DE RECEPTORES CON FOTODIODOS PIN Y DE AVALANCHA (APD) DE SILICIO PARA EL RANGO DE TRANSMISIÓN 800 HASTA 900 NM CON UNA PROPORCIÓN DE ERRORES DE BIT DE 10^{-9} .

FOTODIODOS DE GERMANIO

LA FIG. 6 MUESTRA UNA DE LAS ESTRUCTURAS TECNOLÓGICAMENTE MÁS SIMPLES DE PRODUCIR Y, POR TANTO, TAMBIÉN MÁS USUALES PARA FOTODIODOS DE AVANLANCHA DE GERMANIO (3) PARA 1300 NM. EL DIODO CONSTA DE UN SUBSTRATO DE GERMANIO P BAJAMENTO DOTADO ($p=5.10^{15} \text{cm}^{-3}$) CON UNA JUNTURA n^+p PRODUCIDA POR DIFUSIÓN O IMPLANTACIÓN IÓNICA SOBRE LA SUPERFICIE. PARA EVITAR RUPTURAS MARGINALES, LA REGIÓN n^+ ESTÁ RODEADA DE UN ANILLO PROTECTOR INFERIORMENTE DOTADO n . EL ÁREA SENSIBLE A LA LUZ INFRARROJA TIENE TÍPICAMENTE UN DIÁMETRO DE 100 μm Y, A CAUSA DEL APANTALLAMIENTO POR EL CONTACTO p ANULAR, ES MENOR QUE EL ÁREA DE LA JUNTURA n^+p . LA SUPERFICIE DEL DIODO ES PASIVADA POR UN ÓXIDO (POR EJEMPLO SiO_2). UNA CAPA ANTIRREFLEXIVA ELEVA LA EFICIENCIA CUÁNTICA DE ESTE DIODO.

PARA LONGITUDES DE ONDA MENORES DE 500 NM, COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE GERMANIO ESTÁ SITUADO EN EL RANGO DE 10^4cm^{-1} . EN CONSECUENCIA EN ABSORCIÓN DE LUZ INFRARROJA CON 1300 NM DE LONGITUD DE ONDA, TODOS LOS PARES ELECTRON-HUECO SE ORIGINAN DENTRO DE UNA CAPA POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE DE 1 A μm DE ESPESOR. POR TAL MOTIVO, EL ESPESOR DE LA ZONA n^+ DEL DIODO DEFINE SI LA ABSORCIÓN TIENE LUGAR PREFERENTEMENTE EN LA REGIÓN n^+ O EN LA p Y SI, POR ELLO LLEGAN MÁS HUECOS DE LA REGIÓN n^+ O MÁS ELECTRONES DE LA REGIÓN p A LA ZONA DE ALTO CAMPO DE LA TRANSICIÓN pn , CONTRIBUYENDO ALLÍ, POR MULTIPLICACIÓN DE LOS PORTADORES DE CARGA, A LA AMPLIFICACIÓN DE CORRIENTE. POR ESTA VÍA, EL ESPESOR DE LA ZONA n^+ INFLUYE, ASIMISMO, SOBRE LOS IMPORTANTES FATOS CARACTERÍSTICOS DE LOS DIODOS COMO LA EFICIENCIA CUÁNTICA Y EL RUIDO ADICIONAL DEL PROCESO DE AVALANCHA, ASÍ COMO TAMBIÉN EL TIEMPO DE CRECIMIENTO, PARA EL CUAL SE ALCANZAN VALORES ÓPTIMOS CON UN ESPESOR DE LA ZONA n^+ DE 400 NM. TALES DIODOS TIENEN CON CAPA ANTIRREFLEXIVA UNA EFICIENCIA CUÁNTICA DE 80%; PARA UNA AMPLIFICACIÓN DE CORRIENTE DE $M=10$, EL FACTOR DE RUIDO ADICIONAL ASCIENDE A $F=11$. A TEMPERATURA AMBIENTAL Y TENSIONES POR DEBAJO DE LA TENSIÓN DE RUPTURA DE APROXIMADAMENTE 25 V FLUYE UNA CORRIENTE DE OSCURIDAD DE 0.1 μA , QUE CON ELEVACIONES DE TEMPERATURA DE 20 K ASCIENDE EN UN ORDEN DE MAGNITUD.

LOS RECEPTORES CON ESTOS DIODOS ALCANZAN SENSIBILIDADES DE -46, 40 -

Y - 35 dBm PARA UNA PROPORCIÓN DE ERROR DE BIT DE 10^{-9} PARA LAS TASAS DE TRANSMISIÓN 34, Y 565 Mbit/s (4).

FACTORES DE RUIDO ADICIONAL ALGO MÁS FAVORABLES (POR EJEMPLO $F=7$) CON UNA AMPLIFICACIÓN DE CORRIENTE DE $M=10$ SE PUEDEN ALCANZAR CON LAS SECUENCIAS DE DOTACIÓN P^+N Y N^+NP TECNOLÓGICAMENTE MÁS DIFÍCILES DE PRODUCIR (5,6), EN LOS QUE LA MULTIPLICACIÓN POR AVALANCHA ES LIBERADA - PREFERENTEMENTE POR HUECOS PROCEDENTES DE LAS REGIONES N.

PARA LONGITUDES DE ONDA SOBRE 1500 NM, LAS ESTRUCTURAS DIÓDICAS ARRIBA ADUCIDAS NO ESTÁN ADAPTADAS POR CAUSA DEL COEFICIENTE, DE ABSORCIÓN, NOTABLEMENTE MÁS BAJO QUE PARA 1300 NM. LOS FOTODIODOS DE GERMANIO ÓPTIMO PARA ESTE RANGO DE LONGITUDES DE ONDA DEBERÁN ESTAR ESTRUCTURADOS EN FORMA CORRESPONDIENTE A LOS FOTODIODOS DE SILICIO. DIODOS CON UNA SECUENCIA DE DOTACIÓN P^+NN^- FUERON YA PRODUCIDAS,

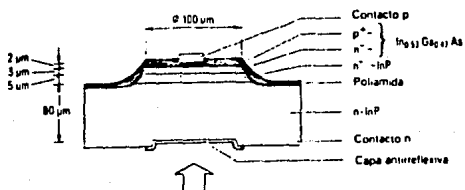


FIG. 6. DISEÑO ESQUEMÁTICO DE UN FOTODIODO DE AVALANCHA DE GERMANIO CON ESTRUCTURA N^+P .

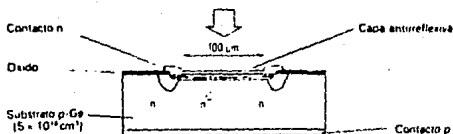


FIG. 7 DISEÑO ESQUEMÁTICO DE UN FOTODIODO $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As/InP}$ NO AMPLIFICANTE.

FOTODIODOS CON BAJA CORRIENTE DE OSCURIDAD DE $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As/InP}$

LA FIG. 7 MUESTRA LA ESTRUCTURA DE UN FOTODIODO NO AMPLIFICANTE CON BAJA CORRIENTE DE OSCURIDAD PARA EL QUE SE DEPOSITARON EN EPITAXIA DE FASE LÍQUIDA UNA CAPA DE $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As-n}^-$ Y UNA CAPA DE $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As-p}^+$ SOBRE SUBSTRATO DE InP . EL DIODO MESA ES ILUMINADO A TRAVÉS DEL SUBSTRATO TRANSPARENTE PARA LONGITUDES DE ONDA POR ENCIMA DE 950 NM. POR ESTE MÉTODO SE EVITA UNA RECOMBINACIÓN SUPERFICIAL DE LOS PORTADORES DE CARGA GENERADOS POR LOS FOTONES Y SE ALCANZA UN ALTO GRADO DE EFICIENCIA CUÁNTICA.

ADEMÁS NO HAY APANTALLAMIENTO DEL ÁREA ACTIVA POR LOS CONTACTOS, Y SE PUEDEN MANTENER PEQUEÑAS LA CAPACIDAD Y LA CORRIENTE DE OSCURIDAD. LA FIG. 8 MUESTRA UN DIODO CORRESPONDIENTEMENTE EJECUTADO SOBRE UN

SOPORTE DE CERÁMICA.

LA EFICIENCIA CUÁNTICA DE ESTOS DIODOS SIN CAPA INHIBITORIA DE LA REFLEXIÓN - ES DEL ORDEN DE 65 A 70 % PARA LONGITUDES DE ORDEN ENTRE -- 950 Y 1650 NM (FIG.9). MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN ADECUADO RECUBRIMIENTO DE Si_3N_4 SE LO PUEDE ELEVAR A APROXIMADAMENTE 90% PARA EL RANGO DE LONGITUDES DE ONDA DESEADO EN TORNO DE 1300 Ó 1500 NM. LA CURVA CARACTERÍSTICA DE FIG. 10 MUESTRA UN CURSO PLANO HASTA TENSIONES EN TORNO DE 40 V; MÁS ALLÁ, LA CORRIENTE DE OSCURIDAD AUMENTA CASI EXPONENCIALMENTE CON LA TENSIÓN. ESTE COMPORTAMIENTO HA SIDO IDENTIFICADO COMO RUPTURA POR EFECTO TÚNEL; NO SE OBSERVA LA RUPTURA EN AVANCHA NI UNA CON ELLA ASOCIADA ALTA AMPLIFICACIÓN DE LA FOTOCORRIENTE. LOS DIODOS CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE LA TÉCNICA ALCANZAN CAPACIDADES DE BLOQUEO MENORES DE 0.5 P F, CORRIENTES DE OSCURIDAD EN TORNO DE 1 nA, EFICIENCIAS CUÁNTICAS DE ALREDEDOR DE 90% ASÍ COMO TAMBIÉN TIEMPOS DE TRANSICIÓN Y CAIDA DE CERCA DE 200 ps. A UNA TENSION DE BLOQUEO DE TRABAJO DE 10 V. EN CASO DE SER EMPLEADOS EN RECEPTORES PIN-FET DE ESTRUCTURA HÍBRIDA, SE PUEDEN OBTENER SENSIBILIDADES DE RECEPTOR DE ALREDEDOR DE -51, -46, Y 38 dBm, PARA LAS TASAS DE -- TRANSMISIÓN 34, 140 Y 565 Mbit/s (4).

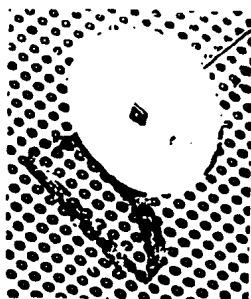


FIG. 8 FOTODIODO $\text{In}_0.53\text{Ga}_{0.47}\text{As/InP}$, EN EL CUAL LA FIBRA DE CONEXIÓN ES LLEVADA A TRAVÉS DEL SOPORTE DE CERÁMICA A LA CAPA ANTIRREFLECTANTE SENSIBLE A LA LUZ DEL DIODO.

FOTODIODOS DE AVALANCHA DE $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}/\text{InP}$.

EL PROBLEMA DE LA RUPTURA POR EFECTO TÚNEL SE PUEDE RESOLVER POR MEDIO DE UNA ESTRUCTURA DIÓDICA ESPECIAL; UN HETERODIODO CORRESPONDIENTE, CUYA ESTRUCTURA PUEDE OBSERVARSE EN FIG. 11, SE HALLA EN FASE DE DESARROLLO. DE ANÁLOGA MANERA QUE CON EL DIODO PIN, LA ILUMINACIÓN SE EFECTÚA A TRAVÉS DEL SUBSTRATO; PERO LA JUNTURA PN NO SE ENCUENTRA EN LA CAPA DE $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$, ABSORBENTE, SINO EN EL InP . ESTO HACE QUE SE FORMA UNA ZONA DE ALTA INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA CAPA DE $\text{InP } n^-$, EN LA QUE PUEDE ALCANZARSE MÁS FÁCILMENTE LA RUPTURA EN AVALANCHA. A FIN DE COLECTAR LOS HUECOS GENERADOS POR LOS FOTONES, ÚNICAMENTE SE HA DE ESTABLECER UN BAJO CAMPO EN EL $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$. YA SE ALCANZARON EN ESTOS DIODOS AMPLIFICADORES DE FOTOCORRIENTE M DE HATA 50 Y CORRIENTES DE OSCURIDAD DE ALGUNOS MICROAMPERES CON $M=10$.

ADICIONALMENTE, CON CAPACIDADES EN TORNO DE 0,3 pF, UNA EFICIENCIA CUÁNTICA INTERNA DE MÁS DE 90%, ASI COMO TIEMPOS DE SUBIDA Y BAJADA DE MENOS DE 300 ps, ESTE TIPO DE DIODO APARECE COMO MUY PROMISORIO. ASÍ, PARA UNA TASA DE TRANSMISIÓN DE 45 Mbit/s, EN CONTRASTE CON EL EMPLEO DE UN DIODO NO AMPLIFICANTE SE HA MEDIDO UNA ELEVACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE RECEPTOR DE 4,8 dB.

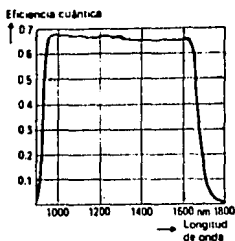


FIG. 9 CURSO ESPECTRAL DE LA SENSIBILIDAD CUÁNTICA DE UN FOTODIODO $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}/\text{InP}$.

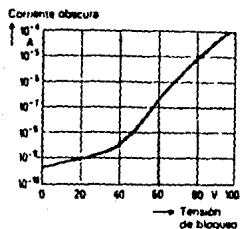


FIG. 10 CURVA DE BLOQUEO DE UN FOTODIODO $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$.

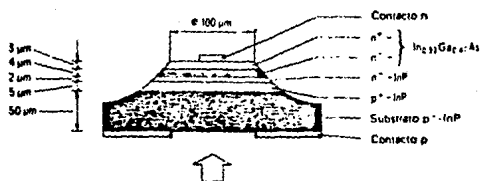


FIG. 11 ESTRUCTURA ESQUEMÁTICA DE UN FOTODIODO DE AVALANCHA $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ CON JUNTURA PN EN INP.

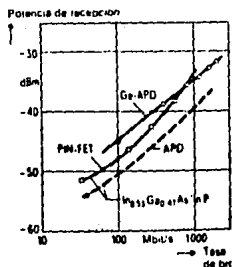


FIG. 12 SENSIBILIDAD DE RECEPTORES CON FOTODIODOS DE INGAAs (COMBINACIÓN PIN-FET), FOTODIODOS DE AVALANCHA (APD) DE GERMANIO E INGAAs PARA LONGITUDES DE ONDA ALREDEDOR DE 1300 NM PARA UNA PROPORCIÓN DE ERRORES DE BIT DE 10^{-9} .

TAMBIÉN PARA TASAS DE TRANSMISIÓN SUPERIORES HABRÍA DE SER POSIBLE UN CORRESPONDIENTE MEJORAMIENTO A CAUSA DEL FUERTE CRECIMIENTO DEL RUIDO DEBIDO AL AMPLIFICADOR.

LOS RANGOS DE LAS SENSIBILIDADES REALIZABLES CON RECEPTORES CON FOTODIODOS DE INGAAs (COMBINACIÓN PIN-FET), ASI COMO CON FOTODIODOS DE AVALANCHA DE GERMANIO E INGAAs, A LONGITUDES DE ONDA EN TORNO DE 1300 NM, ESTÁN REPRESENTADOS EN LA FIG. 12.

2.6.- EMPALMES Y CONECTORES

CONECTORES PARA COMPONENTES Y SISTEMAS DE LA TÉCNICA DE FIBRA ÓPTICA

LAS CONEXIONES EN LAS VÍAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICA SIRVEN PARA ACOPLAR DE MANERA SIMPLE Y REPRODUCIBLE, CON ESCASA ATENUACIÓN Y, EN CASO NECESARIO, TAMBIÉN EN FORMA FÁCILMENTE SEPARABLE, DOS COMPONENTES DE FIBRA ÓPTICA. ENTRE LOS COMPONENTES DE FIBRA ÓPTICA, ENTRE LOS COMPONENTES, EN EL SENTIDO DE ESTA DEFINICIÓN, ADEMÁS DE LAS LÍNEAS, -- FILTROS Y RAMIFICADORES, SE CUENTAN TAMBIÉN LOS TRANSDUCTORES OPTO- -- ELECTRÓNICOS DEL LADO DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN. EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DEL NÚCLEO DE LA FIBRA UTILIZADA Y DE LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN REQUERIDA DE LA CONEXIÓN, SE PLANTEAN DIFERENTES EXIGENCIAS SOBRE LAS TOLERANCIAS MECÁNICAS. ASÍ, POR EJEMPLO, A LAS MEDIDAS CRÍTICAS DE UN CONECTOR PARA FIBRAS DE ÍNDICE GRADUAL CON DIÁMETRO NUCLEAR DE 50- μ m, LAS TOLERANCIAS NO PODRÁN EXCEDER UN VALOR DE APROXIMADAMENTE 1 μ m. PERO LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN RESULTANTE DE UNA CONEXIÓN DEPENDE -- TAMBIÉN SIGNIFICATIVAMENTE DE LAS TOLERANCIAS DE LA FIBRA.

PRINCIPIOS DE LOS CONECTORES SEPARABLES

POR SU MODO DE ACCIÓN LOS CONECTORES PARA LA TRANSMISIÓN ÓPTICA DE SEÑALES SE PUEDEN DIVIDIR EN DOS GRUPOS. EL PRIMER GRUPO SE APOYA EN EL PRINCIPIO DEL ACOPLAMIENTO FRONTAL (FIG.1), EL SEGUNDO EN EL PRINCIPIO DEL ACOPLAMIENTO LENTICULAR (FIG.2). CARACTERÍSTICO PARA EL -- ACOPLAMIENTO FRONTAL ES QUE LA SUPERFICIE DE SALIDA DE LUZ Y LA DE RECEPCIÓN SE ENCUENTRAN CARA A CARA LA UNA CON LA OTRA, A POCAS DISTANCIAS Y EN PARALELO. EN ESTE ASPECTO, DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO, ES IRRELEVANTE QUE LA SUPERFICIE DE SALIDA, POR EJEMPLO, SEA LA SUPERFICIE FRONTAL DE UNA FIBRA ÓPTICA O LA VENTANA DE UN DIODO DE EMISIÓN O QUE LA SUPERFICIE DE RECEPCIÓN SEA LA CARA FRONTAL DE UNA FIBRA O LA SUPERFICIE SILÍCEA DE UN FOTODIODO.

LA FIG. 1A MUESTRA EL ACOPLAMIENTO DE UNA SUPERFICIE DE SALIDA DE LUZ GRANDE SOBRE UNA SUPERFICIE DE RECEPCIÓN PEQUEÑA. ÉSTE CASO SE PRESEN

TA, EN PRAXIS, POR EJEMPLO, CUANDO SE HA DE ACOPLAR LA RADIACIÓN DE UN DIODO DE EMISIÓN DE SUPERFICIE GRANDE EN UNA FIBRA DELGADA, ES NOTORIO QUE EN ESTAS CONDICIONES OCURREN GRANDES PÉRDIDAS.

EN LA FIG. 1 B ESTÁ REPRESENTADO EL CASO EN QUE LAS SUPERFICIE DE SALIDA DE LA LUZ Y LA DE RECEPCIÓN SON IGUAL DE GRANDES. EN LA PRÁCTICA, ESTE SUPUESTO SE CUMPLE (AL MENOS TEÓRICAMENTE) CUANDO DOS FIBRAS DE IGUAL DIÁMETRO DE NÚCLEO ESTÁN ACOPLADAS DE UNA CON LA OTRA EN UN CONECTOR. CUANDO AMBAS FIBRAS ADICIONALMENTE COINCIDEN EN SU APERTURA NUMÉRICA, ESTÁ DADO EL CASO ESPECIAL DEL ACOPLAMIENTO FRONTAL SIMÉTRICO. ÉSTE SE COMPORTA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA TÉCNICA DE TRANSMISIÓN "RECÍPROCAMENTE" ES DECIR, LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN ES IGUAL EN LAS DOS DIRECCIONES DE TRANSMISIÓN.

FINALMENTE, EN FIG. 1 C SE MUESTRA CÓMO ESTÁ ACOPLADA UNA SUPERFICIE DE RECEPCIÓN GRANDE A UNA SUPERFICIE DE SALIDA DE LUZ PEQUEÑA. EN ESTE CASO, PRÁCTICAMENTE TODA LA RADIACIÓN QUE VA POR LA SUPERFICIE DE SALIDA ES ABSORBIDA POR LA SUPERFICIE DE RECEPCIÓN, SIENDO BAJA LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN. EN LA PRÁCTICA, ESTO CORRESPONDE AL ACOPLAMIENTO DE UN FOTODIODO DE SUPERFICIE GRANDE SOBRE UNA FIBRA (RELATIVAMENTE) DELGADA.

EN EL ACOPLAMIENTO LENTICULAR (FIG.2) SE EMPLEAN LENTES U OTROS SISTEMAS ÓPTICOS REFLECTIVOS PARA ACOPLAR LA SUPERFICIE DE SALIDA CON LA SUPERFICIE DE RECEPCIÓN.

LA FIG. 2 A MUESTRA ESQUEMÁTICAMENTE UN CONECTOR SIMÉTRICAMENTE ESTRUCTURADO CON ACOPLAMIENTO LENTICULAR. EN ESTE CONECTOR SE UTILIZAN SISTEMAS REFLECTIVOS HOMOGÉNEOS; LAS SUPERFICIES PARA SALIDA DE LUZ Y RECEPCIÓN SON DE IGUAL TAMAÑO. EN LA PRÁCTICA, SEGÚN ESTE PRINCIPIO, SE PRODUCEN CONECTORES CUYA VENTAJA RESIDE EN QUE EL ÁREA DE INSERCIÓN (SIMBÓLICAMENTE REPRESENTADA EN LA FIG. 2 A POR EL "PLANO DE SEPARACIÓN") SON EN PARTE ADMISIBLES TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS MAYORES. PERO ESTA VENTAJA SE OBTIENE A COSTA DE DESVENTAJAS SOBRE LAS QUE SE VOLVERÁ MÁS ADELANTE.

EN LA ESTRUCTURA ASIMÉTRICA DEL ACOPLAMIENTO LENTICULAR (FIG.2 B) -

SE EMPLEAN SISTEMAS REFLECTIVOS HETEROGÉNEOS A LOS DOS LADOS DEL -- PLANO DE SEPARACIÓN; ADEMÁS, LA SUPERFICIE DE SALIDA DE LA LUZ Y LA DE RECEPCIÓN SON DE TAMAÑO DESIGUAL. EN LA PRÁCTICA, ESTO CORRESPONDE AL ACOPLAMIENTO DE UNA FIBRA SOBRE LA SUPERFICIE DE SALIDA DE LA LUZ RELATIVAMENTE PEQUEÑA DE UN DIODO BURRUS CONLENTE ESFÉRICA.

LAS VERSIONES SIGUIENTES SE CIÑEN A LOS CONECTORES SEGÚN EL PRINCIPIO DEL ACOPLAMIENTO FRONTAL. PARA ELLO SON DETERMINANTES, ANTE TODO, DOS RAZONES:

- PRESCINDIENDO DE CASOS ESPECIALES, COMO EL ACOPLAMIENTO DE DIODOS SEMICONDUCTORES CON LENTES ESFÉRICAS SOBRE FIBRA ÓPTICA, EN LA PRÁCTICA SE EMPLEAN PREFERENTEMENTE CONECTORES SEGÚN EL PRINCIPIO DEL ACOPLAMIENTO FRONTAL. SÓLO SEGÚN ESTE PRINCIPIO SE PUEDEN PRODUCIR CONECTORES DE BANDA ANCHA, ES DECIR, CONECTORES QUE TIENEN ESCASA ATENUACIÓN TANTO EN EL RANGO DE LONGITUDES DE ONDA EN TORNO DE 850-NM, COMO TAMBIÉN EN EL RANGO DE LONGITUDES DE ONDA DE ALREDEDOR DE 1300 NM.

- EN EL ACOPLAMIENTO DE DOS FIBRAS EXACTAMENTE AJUSTADAS DE IGUAL DIÁMETRO UN CONECTOR, SEGÚN EL PRINCIPIO DEL ACOPLAMIENTO LENTICULAR, NO PUEDE SUMINISTRAR BÁSICAMENTE MEJORES RESULTADOS (ES DECIR, ATENUACIONES DE INSERCIÓN MÁS BAJAS) QUE UN CONECTOR SEGÚN EL PRINCIPIO DEL ACOPLAMIENTO FRONTAL. POR EL CONTRARIO, POR LAS PÉRDIDAS ADICIONALES DE LOS SISTEMAS REPRODUCTORES, ASÍ COMO TAMBIÉN POR LAS REFLEXIONES SOBRE LAS DISTINTAS CAPAS LÍMITES DE DIFERENTE ÍNDICE DE REFRACCIÓN LAS PÉRDIDAS EN EL CONECTOR CON ACOPLAMIENTO LENTICULAR SON LA MAYORÍA DE LAS VECES CLARAMENTE MAYORES QUE EN EL CONECTOR CON ACOPLAMIENTO FRONTAL.

LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES POR LO DEMÁS SE LIMITAN A LOS CONECTORES ENTRE DOS LINEAS HOMOGÉNEAS, EN CONGRUENCIA CON LA FIG. 1; ESTE CASO TIENE EN PRAXIS LA MÁXIMA IMPORTANCIA. PERO, DE UN ANÁLISIS PROFUNDO DE ESTE CASO, SE PUEDEN DERIVAR TAMBIÉN CONOCIMIENTOS QUE TIENEN VALIDEZ PARA LOS DOS CASOS ESPECIALES (SUPERFICIE DE SALIDA DE LA LUZ MUCHO MAYOR O MUCHO MENOR QUE LA SUPERFICIE DE RECEPCIÓN).

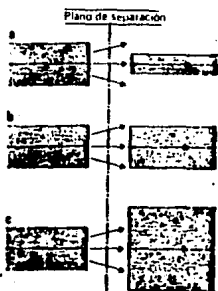


FIG. 1 PRINCIPIO DEL ACOPLAMIENTO FRONTAL.

- A) SUPERFICIE DE SALIDA DE LA LUZ MAYOR QUE LA SUPERFICIE DE RECEPCIÓN
- B) SUPERFICIE DE SALIDA DE LA LUZ Y SUPERFICIE DE RECEPCIÓN IGUAL - DE GRANDE
- C) SUPERFICIE DE SALIDA DE LA LUZ MENOR QUE LA SUPERFICIE DE RECEPCIÓN.

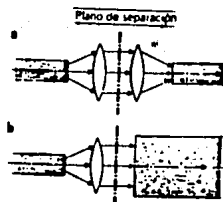


FIG. 2 PRINCIPIO DEL ACOPLAMIENTO LENTICULAR

- A) ESTRUCTURA SIMÉTRICA CON SISTEMAS DE REPRODUCCIÓN HOMOGÉNEOS Y -
 SUPERFICIES DE IGUAL TAMAÑO PARA SALIDA DE LA LUZ Y RECEPCIÓN,
 B) ESTRUCTURA ASIMÉTRICA CON SISTEMAS DE REPRODUCCIÓN HETEROGÉNEOS-
 Y SUPERFICIES DESIGUALES PARA SALIDA DE LA LUZ Y RECEPCIÓN,

ATENUACIÓN DE INSERCIÓN DE UN CONECTOR

TÉCNICAS DE MEDICIÓN

EN ORDEN A EVALUAR LA CALIDAD DE TRANSMISIÓN DE UN CONECTOR SE CONSIDERA SU ATENUACIÓN DE INSERCIÓN, ES DECIR, SE DETERMINA EN QUÉ -- MONTO SE ELEVA LA ATENUACIÓN DE UN TRAMO DE TRANSMISIÓN ÓPTICA CUANDO EN ESTE TRAMO DE TRANSMISIÓN SE INSERTA UN CONECTOR ADICIONAL. -- ES ÓBVIO QUE LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN DE UN CONECTOR, ADEMÁS DE -- SUS TOLERANCIAS, DEPENDE TAMBIÉN DE LAS TOLERANCIAS DE LA FIBRA. A FIN DE REGISTRAR, EN LO ESENCIAL, SÓLO LAS INFLUENCIAS EJERCIDAS -- POR LAS TOLERANCIAS DEL CONECTOR, EL FABRICANTE DE CONECTORES ESTÁ -- INTERESADO, EN CONSECUENCIA, EN UN MÉTODO DE MEDICIÓN EN EL CUAL A LOS DOS LADOS DEL CONECTOR SE EMPLEAN IDÉNTICAS FIBRAS (FIG. 3).

EN PRIMER TÉRMINO, SE EFECTÚA UNA MEDICIÓN DE REFERENCIA (FIG. 3 A). PARA ESTE PROPÓSITO SE ORIENTA OPTIMALMENTE LA SUPERFICIE FRONTAL, -- DEL LADO DE ENTRADA DE LA LÍNEA 1 CON AYUDA DE UN MICROMANIPULADOR -- EN LOS TRES EJES, SOBRE EL DÍODO EMISOR Y LA SUPERFICIE FRONTAL DEL LADO DE SALIDA, CORRESPONDIENTEMENTE, SOBRE EL DIODO RECEPTOR. LA -- FOTOCORRIENTE SUMINISTRADA POR EL DIODO RECEPTOR ES PROPORCIONAL A LA POTENCIA DE RECEPCIÓN P_{E1} .

A CONTINUACIÓN, SE SECCIONA LA LÍNEA 1, EN CONDICIONES DE ACOPLA -- MIENTO Y DESACOPAMIENTO INVARIADAS, APROXIMADAMENTE EN LA MITAD Y LUEGO SE MONTA UN CONECTOR SOBRE CADA EXTREMO DE LÍNEA LIBRE (FIG. 3 B). ESTAS DOS PARTES, MECÁNICAMENTE REUNIDAS EN UN CONECTOR, CONS -- TITUYEN ASÍ LA CONEXIÓN CUYA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN VA A SER MEDI -- DA. TRAS LA INSERCIÓN DEL CONECTOR, LA FOTOCORRIENTE DEL DIODO RE -- CEPTOR RETROCEDE A UN VALOR PROPORCIONAL A LA POTENCIA P_{E2} . LA ATE -- NUACIÓN DE INSERCIÓN DE LA CONEXIÓN PUEDE AHORA CALCULARSE CONFORME A LA RELACIÓN $A_C = 10 \lg (P_{E1} / P_{E2})$.

EN LA TÉCNICA DE MEDICIÓN QUE SE ACABA DE DESCRIBIR SE ELIMINAN EN GRAN PARTE LAS INFLUENCIAS DE LA FIBRA; ÚNICAMENTE LA EXCEN -- TRICIDAD DEL NÚCLEO Y LA ELIPTICIDAD DEL NÚCLEO PUEDEN FALSEAR LOS RESULTA -- DOS DE LA MEDICIÓN. EL INCONVENIENTE DE ESTE MÉTODO DE MEDICIÓN RE

SIDE EN QUE:

- EL MONTAJE DE FICHAS SOBRE LÍNEAS CUYOS EXTREMOS DEBEN QUEDAR - - AJUSTADOS EN MICROMANIPULADORES ES MUY COMPLICADO, Y EN QUE
- EL USUARIO EN DEFINITIVA ESTÁ INTERESADO EN LAS ATENUACIONES DE - LAS LÍNEAS CON LAS FICHAS Y NO EN LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN DE UNA CONEXIÓN SIN LÍNEA.

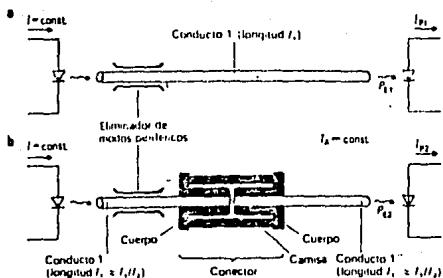
UN MÉTODO DE MEDICIÓN MÁS PRÁCTICO EN ESTE ASPECTO ES EL QUE ESTÁ - REPRESENTADO EN LA FIG. 4.

SEGÚN FIG. 4A, SE PRODUCE EN PRIMERA INSTANCIA, SOBRE UNA LÍNEA DE REFERENCIA L_B PROVISTA DE CONECTORES, UNA CONEXIÓN ENTRE LOS TRANSDUCTORES OPTOELECTRÓNICOS (DIODO TRANSMISOR Y RECEPTOR). EL DIODO-RECEPTOR SUMINISTRA UNA CORRIENTE QUE ES PROPORCIONAL A LA POTENCIA DE REFERENCIA P_{E1} . A CONTINUACIÓN SE INSERTA LA LÍNEA A MEDIR L_M - (FIG. 4B); EL DIODO RECEPTOR PROVEE AHORA UNA FOTOCORRIENTE QUE CORRESPONDE A LA POTENCIA REDUCIDA P_{E2} . PARTIENDO DE LA RELACIÓN $A_C = 10 \lg (P'_{E1} / P_{E2})$, SE PUEDE CALCULAR AHORA LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN DEL APAREAMIENTO DE CONECTORES $St2 / St3$, SUPUESTO QUE ESTÉN -- CUMPLIDA LAS HIPÓTESIS SIGUIENTES:

- LA ATENUACIÓN DE FIBRA DE LA LÍNEA A MEDIR ES INSIGNIFICANTE FRENTE A LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN DE LOS CONECTORES, O AQUELLA DEBE - SER CONOCIDA.
- LA FICHA $St4$ SE COMPORTA CON RESPECTO AL DESACOPAMIENTO DE SEÑAL PARA CON EL TRANSDUCTOR DEL LADO DE RECEPCIÓN COMO LA FICHA $St2$ -- (POR EJEMPLO, SI LA FICHA $St4$, POR HALLARSE SUCIA LA SUPERFICIE - - FRONTAL, CAUSARA ADICIONALMENTE PÉRDIDAS, ÉSTO, EN EL SENO DE LA HIPÓTESIS ADOPTADAS, SE INPUTARÍA AL PAR DE CONECTORES $St2/St3$).

FRENTE A LA VENTAJA DE UNA MEDICIÓN ORIENTADA A LA PRÁCTICA- SE PUE DEN MEDIR AHORA LÍNEAS CONFECCIONADAS, ES DECIR, PROVISTAS DE FI - CHAS - TIENEN EN CONTRA, COMO GRAVITANTE DESVENTAJA, QUE LA ATENUA - CIÓN DE INSERCIÓN MEDIDA ES ALTAMENTE INFLUENCIABLE POR LAS TOLERAN

CIAS DE LAS FIBRAS.

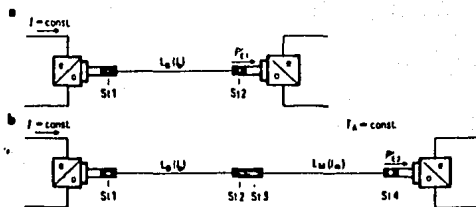


I_1 CORRIENTE FOTOVOLTAICA
 l LONGITUD DE LINEA

$\frac{P_R}{T_A}$ POTENCIA DE RECEPCIÓN
 TEMPERATURA AMBIENTAL

FIG. 3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN DE UN CONECTOR CON EMPLEO DE FIBRAS IDÉNTICAS A AMBOS LADOS DE LA CONEXIÓN.

- A) MEDICIÓN DE POTENCIA SIN CONECTOR (MEDICIÓN DE REFERENCIA)
- B) MEDICIÓN DE POTENCIA CON CONECTOR INSERTADO.



C_o CONVERTOR ELECTROÓPTICO C_e CONVERTOR OPTOELÉCTRICO S CONECTOR
 I CORRIENTE FOTOVOLTAICA P_r POTENCIA DE RECEPCIÓN T_A TEMPERATURA AMBIENTAL.

FIG. 4 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN DE UN CONECTOR EN UNA LÍNEA CORTA

- A) MEDICIÓN DE POTENCIA CON LÍNEA DE REFERENCIA L_B (MEDICIÓN DE REFERENCIA),
 B) MEDICIÓN DE POTENCIA CON LÍNEA L_M POSTCONECTADA A MEDIR.

EN LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN REPRESENTADOS EN LAS FIGS. 3 Y 4 DEBEN - OBTIENEN OBSERVARSE DEFINIDAS Y REPRODUCIBLES CONDICIONES DE ACOPLAMIENTO Y PROPAGACIÓN, SIN LAS CUALES NO ES POSIBLE LLEVAR A CABO MEDICIONES DE ATENUACIÓN COMPARABLES (3). ASÍ, POR EJEMPLO, EN FIBRAS DE ÍNDICE GRADUAL, LAS LONGITUDES DE LAS LÍNEAS L_B Y L_M DEBERÍAN SER DE 500 M POR LO MENOS, DE CONFORMIDAD CON LA FIG. 4, A FIN DE QUE PUEDAN ASUMIR UN ESTADO DE CAMPO ESTACIONARIO.

ANTES DE PASAR A ESTUDIAR CON MAYOR DETENIMIENTO LAS PARTICULARIDADES DE LOS DOS MÉTODOS DE MEDICIÓN CONSIDERADOS, ES PRECISO ANALIZAR PRIMERAMENTE CUALES SON LAS FRACCIONES QUE COMPONEN LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN (4).

MAGNITUDES DE INFLUENCIA GENERALES

LAS RELACIONES INDICADAS A CONTINUACIÓN SÓLO VALEN EXACTAMENTE PARA FIBRAS DE INDICE ESCALONADO; PERO, EN FIBRAS DE INDICE GRADUAL, -- AQUÉLLAS PUEDEN SER CONSIDERADAS COMO ENUNCIADOS CUALITATIVAMENTE -- VÁLIDOS.

LA MAGNITUD DE TOLERANCIA MÁS CRÍTICA ES LA DISLOCACIÓN DE FIBRA -- (FIG. 5A). ASÍ, POR EJEMPLO, ES SUFICIENTE UN DISLOCAMIENTO AXIAL -- (LATERAL) DE APROXIMADAMENTE UN 30% (CORRESPONDIENTE A 30 μm EN UNA FIBRA CON 100 μm DE DIÁMETRO DE NÚCLEO) PARA CAUSAR POR ESTA SOLA -- CAUSA UNA ATENUACIÓN DE APROXIMADAMENTE 2 DB.

LA FIG. 5B MUESTRA LA INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE DESALINEACIÓN ENTRE LOS EJES DE LAS DOS FIBRAS. CUANTO MÁS PEQUEÑA ES LA APERTURA NUMÉRICA DE LAS DOS FIBRAS (ES DECIR, CUANTO MAYOR ES LA CONCENTRACIÓN DE LA RADIACIÓN), TANTO MÁS PERTURBADOR SE MANIFIESTA UN ÁNGULO DE DESALINEACIÓN DETERMINADO.

EN LA FIG. 5C ESTÁ REPRESENTADA LA DEPENDENCIA DE LA ATENUACIÓN CON LA DISTANCIA ENTRE LAS DOS SUPERFICIES FRONTALES DE FIBRA. LO ESPECIAL EN ESTE ASPECTO ES QUE LA ATENUACIÓN RESULTANTE DEPENDE FUERTEMENTE DE LA APERTURA NUMÉRICA. COMO ESTA ÚLTIMA NO ES CONSTANTE PARA UNA FIBRA DADA, SINO QUE ES INFLUENCIADA POR LAS CONDICIONES DE ACOPLAMIENTO, ESTA FRACCIÓN DE ATENUACIÓN ES SUSCEPTIBLE DE MANIPULACIÓN DENTRO DE CIERTOS LÍMITES. SI SE ELIGE POR EJEMPLO, LA LÍNEA I (FIG. 3) O LA LÍNEA L_B (FIG. 4) CON SUFICIENTE LONGITUD (POR EJEMPLO 1 KM PARA UNA FIBRA DE 50 μm), LOS MODOS DE ORDEN SUPERIOR ESTARÁN BÁSICAMENTE ELIMINADOS POR ABSORCIÓN. LA APERTURA NUMÉRICA MENOR EFECTIVA DE AHÍ RESULTANTE A_N CONDUCE A UNA ATENUACIÓN A_D INFERIOR.

GENERALMENTE HAY QUE TENER EN CUENTA QUE POR REFLEXIÓN SOBRE LAS INTERFACES VIDRIO-AIRE SE PRODUCEN PÉRDIDAS, DENOMINADAS "PÉRDIDAS DE FRESNEL". PARA LA COMBINACIÓN SUPERFICIE FRONTAL DE FIBRA - AIRE - SUPERFICIE FRONTAL DE FIBRA, TALES PÉRDIDAS REPRESENTAN 0,35 dB, Y SE LAS DEBE ESTIMAR SIEMPRE QUE ENTRE LAS SUPERFICIES FRONTALES - HAYA UN RESQUICIO DE AIRE (FIG. 5B Y 5C). MEDIANTE RECUBRIMIENTO DIELECTRICO (BONIFICACIÓN) Y/O LÍQUIDO DE INMERSIÓN ES POSIBLE REDUCIR LAS PÉRDIDAS DE FRESNEL. PERO COMO TAMBIÉN UNA PELÍCULA DE AGUA ENTRE LAS SUPERFICIES FRONTALES DE LAS FIBRAS DISMINUYE LAS PÉRDIDAS POR REFLEXIONES, ES PRECISO PROCEDER ANTES DE LA MEDICIÓN A LIMPIAR Y SECAR TALES SUPERFICIES (SIN RAYARLAS).

ES LÓGICO QUE LA CONFIRMACIÓN DE LA SUPERFICIE FRONTAL DE LA FIBRA INFLUYE TAMBIÉN SOBRE LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN. UNA RUGOSIDAD DE SUPERFICIE FRONTAL COMO LA DE FIG. 6A NO SÓLO CREA CENTRO DE ABSORCIÓN, SINO QUE TAMBIÉN OPERA UN MAYOR ESPARCIMIENTO DE LA LUZ. EN UNA PRIMERA APROXIMACIÓN, CABE AFIRMAR QUE UNA PROFUNDIDAD DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE UNA SUPERFICIE FRONTAL DE FIBRA DE 10 μm OPERA UNA ATENUACIÓN DE APROXIMADAMENTE 0,5 dB. ERRORES DE ANGULACIÓN DE LAS SUPERFICIE FRONTAL COMO LOS DE FIG. 6B ACTÚAN EN FORMA ANÁLOGA A UNA DESALINEACIÓN DE LOS EJES DE FIBRA. PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS ERRORES DE ANGULACIÓN PUEDE SERVIR APROXIMADAMENTE FIG. 5B, EMPLEANDO ALLÍ EL ERROR DE ANGULACIÓN θ EN LUGAR DEL ÁNGULO DE BASCULACIÓN φ .

LAS INFLUENCIAS PRECEDENTEMENTE MENCIONADAS SE REFIEREN PRIMERAMENTE A TOLERANCIAS QUE PUEDEN OCURRIR EN CONECTOR, ASI COMO TAMBIÉN A SUPERFICIES FONTALES DE FIBRA DEFICIENTEMENTE TRABAJADAS. EN ESTE CONTEXTO VALE LA PENA SEÑALAR QUE ÚNICAMENTE UN JUEGO DE AJUSTE MÍNIMO DE 2 μm ENTRE FICHEAR EL ELEMENTO DE CONEXIÓN (VÉASE, A ESTE RESPECTO, LA REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN CONECTOR EN LA FIG. 3B) ES SUFICIENTE PARA CAUSAR, EN CONDICIONES PARA EL RESTO IDEALES, UNA ATENUACIÓN 0,2 dB EN EL CASO DE UN CONECTOR DISPUESTO EN EL TRAYECTO DE UNA FIBRA DE ÍNDICE GRADUAL DE 50 μm .

LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN DE UN CONECTOR PARA HACES DE FIBRAS - 19

NORANDO OTRAS INFLUENCIAS - ES DETERMINADA POR LA SUPERPOSICIÓN DE MUCHAS SUPERFICIES FRONTALES DE FIBRA INDIVIDUALES CONTRASTÁNDOSE - RESPECTIVAMENTE. EN LA PRÁCTICA, LOS VALORES DE ATENUACIÓN CORRESPONDIENTES A CONECTORES PARA HACES DE FIBRAS ESTÁN SITUADOS ENTRE - 0,5 y 3,5 dB.

INFLUENCIA DE CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LAS FIBRAS.

A CONTINUACIÓN SE ANALIZAN LAS INFLUENCIAS DE ATENUACIÓN DE UN CONECTOR QUE SON CAUSADAS POR TOLERANCIAS DE LAS FIBRAS.

TIENEN INFLUENCIA LAS TOLERANCIAS DE LA APERTURA NUMÉRICA A_N Y, POR CIERTO, SIEMPRE QUE LA A_N DE LA FIBRA QUE TRANSMITE ES MAYOR QUE LA DE LA FIBRA QUE RECIBE (FIG. 7C). COMO LA APERTURA NUMÉRICA EFECTIVA DE UNA FIBRA DEPENDE TAMBIÉN DE LA LONGITUD DE LÍNEA (ATENUACIÓN DE LOS MODOS DE ORDEN SUPERIOR CON CRECIENTE LONGITUD), LA ATENUACIÓN DE CONECTOR MEDIDA ES INFLUENCIADA POR LA LONGITUD DE LÍNEA.

UNA PARECIDA INFLUENCIA SOBRE LA ATENUACIÓN DE INSERCIÓN TIENEN LAS TOLERANCIAS DE LOS DIÁMETROS DE LOS NÚCLEOS (FIG. 7B), CUANDO EL -- DIÁMETRO DE NÚCLEO DE LA FIBRA QUE TRANSMITE ES MAYOR QUE EL DIÁMETRO DE NÚCLEO DE LA FIBRA QUE RECIBE. POR EJEMPLO, UNA DESVIACIÓN DEL DIÁMETRO DE - 5%, ES DECIR, TRANSICIÓN SOBRE UNA FIBRA MÁS DELGADA, TALES COMO PUEDEN OCURRIR TAMBIÉN CON LAS ASÍ LLAMADAS "FIBRAS IDÉNTICAS" (FIBRAS PROCEDENTES DE UNA MISMA CARGA), CONDUCE - YA A UNA ATENUACIÓN ADICIONAL DE APROXIMADAMENTE 0,5 dB.

LA TRANSICIÓN DE UNA FIBRA MÁS DELGADA SOBRE OTRA MÁS GRUESA EN - PRINCIPIO NO ES CRÍTICA Y EN DETERMINADAS APLICACIONES ES EXPRESAMENTE ADOPTADA, POR EJEMPLO, EN EL ACOPLAMIENTO DE LA FIBRA DE CONEXIÓN DE UN EMISOR LÁSER SOBRE LA FIBRA DEL TRAMO.

EN LA PRODUCCIÓN DE FIBRAS SE ATRIBUYE PARTICULAR IMPORTANCIA AL ESTRECHAMIENTO DE LAS TOLERANCIAS DE LAS FIBRAS. NO OBSTANTE, EN LAS FIBRAS DE ÍNDICE ESCALONADO PUEDE HABER, POR EJEMPLO, ELIPTICIDAD DEL NÚCLEO, ERRORES EN EL ÍNDICE DEL NÚCLEO, EXCENTRICIDADES DEL NÚCLEO E INHOMOGENEIDADES DEL NÚCLEO. ÉSTOS DEFECTOS DE LA FIBRA OCUR

RREN A VECES SÓLO EN PEQUEÑAS ÁREAS DE LA LONGITUD DE LA FIBRA Y --
SON A MENUDO DESDEÑABLES PARA LAS PROPIEDADES DE LA TRANSMISIÓN, --
PERO, SI, POR EJEMPLO, SE EFECTÚA UN ACOPLAMIENTO DE CONECTOR SOBRE
UNO DE ESTOS SITIOS DEFECTUOSOS, ESTAS FALLAS DE LA FIBRA SE MANI--
FESTARÁN COMO UNA DESADAPTACIÓN SUPERFICIAL, ADEMÁS DIFÍCIL DE RELE--
VAR.

EN ESTE PUNTO CONVIENE SEÑALAR QUE EL CRITERIO ADOPTADO POR ALGUNOS
PRODUCTORES DE CONECTORES, EN EL SENTIDO DE INDICAR ATENUACIONES DE
INSERCIÓN DE CONECTORES REFERIDAS A "FIBRAS IDEALES", RESULTA POCO--
PRÁCTICO Y DEBE EN CONSECUENCIA SER RECHAZADO.

REQUERIMIENTOS SOBRE CONECTORES PARA GUIAONDAS ÓPTICOS

EN TÉRMINOS ABSOLUTAMENTE GENERALES SE PUEDE AFIRMAR QUE SOBRE LOS--
CONECTORES PARA LA TRANSMISIÓN ÓPTICA DE SEÑALES SE PLANTEAN SIEM--
PRE LAS MISMAS EXIGENCIAS:

- MONTAJE SENCILLO.
- FORMA CONSTRUCTIVA ESTABLE.
- ATENUACIÓN ESCASA.
- VALORES DE ATENUACIÓN REPRODUCIBLES EN INSERCIÓNES REPETIDAS.
- PROTECCIÓN DE LAS SUPERFICIES FRONTALES DE LAS FIBRAS.

LA EROGACIÓN NECESARIA PARA LA REALIZACIÓN DE ESTAS EXIGENCIAS ES -
DIFERENTE, POR EJEMPLO, CON REFERENCIA A LA ATENUACIÓN, SEGÚN EL TI--
PO DE FIBRA UTILIZADA.

CONECTORES PARA FIBRAS INDIVIDUALES

LOS CONECTORES PARA FIBRAS INDIVIDUALES DEBERÍA ESTAR OPTIMIZADOS -
CON RESPECTO A LA EROGACIÓN EN MONTAJE (CONFECCIONADO DE LOS CABLES
TERMINADOS CON LOS CONECTORES), DATOS FUNCIONALES Y COSTOS DE PRO--
DUCTO. LA FIG. 8 MUESTRA UN CONECTOR QUE FUE DESARROLLADO PARA FI--
BRAS DE INDICE ESALONADO Y FIBRAS DE INDICE GRADUAL Y QUE SE HA - -

ACREDITADO YA EN LA PRÁCTICA.

EL DIÁMETRO DE LA ESPIGA DE CONTACTO ES DE 2,5 MM Y CORRESPONDE AL PROYECTO DE NORMA DIN. EL CABLE ES FIJADO SUFICIENTEMENTE POR CRIMPING EN EL INTERIOR DEL CONECTOR. SEGÚN EL DIÁMETRO DE LA FIBRA -- INCLUSO PARA COMPENSAR TOLERANCIAS EN LOS DIÁMETROS DE LAS FIBRAS -- ESTÁ A DISPOSICIÓN UN SURTIDO DE ESPIGAS DE CONTACTO CON DIFERENTES DIÁMETROS INTERNOS DE PRECISIÓN (ESCALONAMIENTO DE TALES DIÁMETROS EN PASOS DE 3 μ M).

LA FIG. 9 MUESTRA UNA SOLUCIÓN ESPECIAL EN LA CUAL EL CONECTOR CONTIENE UN CAPILAR DE VIDRIO PARA EL GUIADO DE LA FIBRA. MEDIANTE EL GUIADO RELATIVAMENTE LARGO DE LA FIBRA EN EL CAPILAR PUEDEN EVITARSE EN GRAN MEDIDA LOS ERRORES ANGULARES. TALES CONECTORES ESTÁN MENOS PREVISTOS PARA UN MONTAJE DE CAMPO QUE, PARA LA PRODUCCIÓN DE FIBRAS DE CONEXIÓN (PIGTAILS) EXACTAS, CORTAS, UNILATERALMENTE CONFECCIONADAS QUE LUEGO SE EMPALMAN AL CABLE PRINCIPAL.

LOS CONECTORES REPRESENTADOS EN LAS FIGS 8 Y 9 SE ATORNILLAN CON EL TRANSDUCTOR OPTOELECTRÓNICO RESPECTIVO CON AYUDA DE LA TUERCA DE RA-COR QUE SE ENCUENTRA EN EL CONECTOR. PERO, EN DETERMINADOS CASOS DE APLICACIÓN, SE PREFIEREN SOLUCIONES SIN ROSCADO.

LA FIG. 10 MUESTRA UN CONECTOR PARA LA TÉCNICA MODULAR DEL TIPO "R-(5)". DICHO CONECTOR ESTÁ CONSTRUCTIVAMENTE DISEÑADO DE TAL MODO QUE EXISTE LA POSIBILIDAD DE COMPENSAR TOLERANCIAS POR DISLOCACIÓN ENTRE MÓDULO Y BASTIDOR, ES DECIR, LOS CONECTORES DEBEN PODERSE ALOJAR EN FORMA "FLOTANTE" Y EXHIBIR UN ÁREA DE CAPTACIÓN DEFINIDA.

EN LA FIG. 11 ESTÁ REPRODUCIDA UNA ULTERIOR SOLUCIÓN Y POSIBILIDAD PARA LA DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS DE INSERCIÓN EN UNA REGLETA MULTIPOLAR SEGÚN DIN 41612. EL CUERPO DE LA REGLETA PUEDE EQUIPARSE CON LOS CONTACTOS DE BAJA FRECUENCIA, TAMBIÉN OPCIONALMENTE CON INSERTOS PARA ALTA CORRIENTE, ALTA FRECUENCIA O FIBRA ÓPTICA. ÉSTA SOLUCIÓN ES VENTAJOSA SOBRE TODO CUANDO LA TÉCNICA DE TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA, ES DECIR, SUS COMPONENTES, DEBEN INTEGRARSE EN SISTEMAS ESTRUCTURALES CONOCIDOS Y ELEMENTOS DE INSERCIÓN STANDARD.

CONECTORES PARA HACES DE FIBRAS

LA VENTAJA DE LOS HACES DE FIBRAS - LA MAYORIA DE LAS VECES DE 10 A 300 FIBRAS INDIVIDUALES - RESIDE EN SU GRAN SECCIÓN TRANSVERSAL Y - LA GRANDE APERTURA NUMÉRICA ($A_N=0,4$ A $0,6$). LOS HACES DE FIBRAS -- SON RELATIVAMENTE INSENSIBLES CON RESPECTO A UNA FALLA DE LAS FIBRAS INDIVIDUALES; AUNQUE ESTÉN ROTAS MUCHAS FIBRAS, SI EL SISTEMA-GLOBAL ESTÁ ADECUADAMENTE DISEÑADO SE MANTIENE SU FUNCIONALIDAD. A MENUDO, EL EXAMEN VISUAL PERMITE RECONOCER EL ESTADO DEL HAZ DE FIBRAS, YA QUE LAS FIBRAS ROTAS APARECEN COMO PUNTOS OSCUROS EN EL -- CUADRO GENERAL DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LAS FIBRAS. AÚN ENTONCES PUEDEN OCURRIR ATENUACIONES DE INSERCIÓN DE HASTA 3,5 dB; PERO A CAUSA DE LA ALTA ATENUACIÓN DE LOS HACES DE FIBRAS (50 A 700 dB/-Km), TALES ATENUACIONES DE INSERCIÓN SOLO TIENEN UNA INFLUENCIA RELATIVAMENTE ESCASA SOBRE EL ALCANCE DE TRANSMISIÓN.

MONTAJE DE LOS CONECTORES

PARA EL MONTAJE DE LOS CONECTORES SOBRE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA-SI SE PRESCINDE DE SOLUCIONES IDÉNTICAS O SIMILARES AL PRINCIPIO -- DEL ACOPLAMIENTO LENTÍCULAR - BÁSICAMENTE SON DOSLOS MÉTODOS QUE SE OFRECEN:

1.- SE ROMPE LA FIBRA Y SE FIJA ÉSTA EN LA ESPIGA DE CONTACTO DE -- SUERTE QUE LA SUPERFICIE DE ROTURA CONSTITUYA SIMULTÁNEAMENTE LA SU PERFICIE DEL EXTREMO DE LA FIBRA Y, POR LO TANTO, LA SUPERFICIE DE ENTRADA O DE SALIDA DE LA FIBRA ÓPTICA.

2.- SE ROMPE LA FIBRA, LUEGO, SE INFRODUCE ÉSTA EN LA ESPIGA DE CON TACTO Y, DESPUÉS, SE LA FIJA CON PEGAMENTO. EL EXTREMO DE LA FIBRA QUE SOBRESALE POR LA SUPERFICIE FRONTAL DE LA ESPIGA DE CONTACTO ES ESMERILADO Y PULIDO.

AMBOS PROCEDIMIENTOS - TAN SIMPLES EN LA DESCRIPCIÓN - CONTIENEN, - SIN EMBARGO, UNA MULTITUD DE CONDICIONES CUYO CUMPLIMIENTO Y OBSERVANCIA DETERMINAN, EN ÚLTIMA INSTANCIA, LA CALIDAD DE UNA CONEXIÓN-ENCHUFABLE Y, POR TANTO, TAMBIÉN DEL SISTEMA GLOBAL. COMO PARÁME-

TROS DE SIGNIFICACIÓN ESPECIAL EN MATERIA DE CALIDAD CABE MENCIONAR:

- TIPO DE LA FIBRA (EN RELACIÓN CON EL PROCESO DE FABRICACIÓN),
- TOLERANCIAS DEL DIÁMETRO DE LA FIBRA,
- CENTRICIDAD DEL NÚCLEO DE LA FIBRA,
- DIÁMETRO DE LA FIBRA,
- ASIMETRÍA DE LA FIBRA,
- DESVIACIONES EN LA APERTURA NUMÉRICA.

LA SIGNIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS YA FUE EXPLICADA. EN EL MERCADO SE OFRECEN FIBRAS CON LA SIGUIENTE ESTRUCTURA:

- VIDRIO-VIDRIO (NÚCLEO-REVESTIMIENTO),
- VIDRIO-PLÁSTICO (NÚCLEO-REVESTIMIENTO).

CON UNA FIBRA DE VIDRIO-VIDRIO, SE RAYA Y, LUEGO SE ROMPE EL REVESTIMIENTO. SI EL TRABAJADO ES ADECUADAMENTE EFECTUADO Y SI LA FIBRA ES APROPIADA PARA ESTE PROPÓSITO, SE PUEDEN OBTENER SUPERFICIES DE ROTURA SUMAMENTE LIMPIAS. EN EL CASO DE UNA FIBRA DE VIDRIO-VIDRIO ES CONVENIENTE QUE EL REVESTIMIENTO DE LA FIBRA MANTENGA SU FUNCIÓN ÓPTICA DENTRO DEL CONECTOR HASTA LA SUPERFICIE FRONTAL DE LA FIBRA. EN UNA FIBRA DE VIDRIO-PLÁSTICO ES PRECISO QUITAR EL REVESTIMIENTO-PLÁSTICO DE LA ZONA DE ROTURA; A CONTINUACIÓN, SE RAYA Y SE ROMPE LA FIBRA. AQUÍ ES DESVENTAJOSO QUE EN EL ÁREA DE ROTURA DE LA FIGURA SE PIERDA UN REVESTIMIENTO PLÁSTICO QUE CUMPLE UNA FUNCIÓN ÓPTICA, LO QUE CONDUCE A UNA ATENUACIÓN ADICIONAL POR RADIACIÓN LATERAL.

CALIDAD DE LA SUPERFICIE FRONTAL DE FIBRA

LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE DE ROTURA MOSTRADA EN LA FIG. 12 ES - - INSATISFACTORIA, COMO, SOBRE LAS IRREGULARIDADES DE LA SUPERFICIE DE ROTURA, SE ORIGINAN PÉRDIDAS POR REFLEXIÓN Y ESPARCIMIENTO, DEBE REPETIRSE EL PROCESO DE ROTURA SI NO ESTÁ PREVISTO UN ESMERILADO Y PULIDO POSTERIOR. A LA CALIDAD SUPERFICIAL DE LA ROTURA SE AÑADE UNA ULTERIOR CONDICIÓN: LA SUPERFICIE DE ROTURA DEBE SER PERPENDICU

LAR AL EJE DE LA FIBRA.

SEGÚN DE QUÉ APLICACIÓN O DE QUÉ REQUERIMIENTOS SE TRATE, SERÁ SUFICIENTE EL DESCRITO PROCEDIMIENTO 1 PARA EL MONTAJE DEL CONECTOR. - LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE FRONTAL DE FIBRA PUEDE SER MEJORADA POR ESMERILADO Y PULIDO SEGÚN EL PROCEDIMIENTO 2 (FIG. 13).

CON EL HAZ DE FIBRAS, EL ESMERILADO Y EL PULIDO SON NECESARIOS EN - TODOS LOS CASOS. EL HAZ DE FIBRAS DEBE SER PEGADO A LA ESPIGA DE CONTACTO, PARA QUE LAS FIBRAS ESTÉN FIJAS. MEDIANTE EL ESMERILADO, ADEMÁS, SE ELIMINAN LAS DIFERENCIAS LONGITUDINALES ENTRE LAS DISTINTAS FIBRAS.

DIÁMETRO DE FIBRA

CUANTO MÁS GRANDE SEA EL DIÁMETRO DE LA FIBRA, TANTO MENOS CRÍTICOS SERÁN LOS PROBLEMAS DE TOLERANCIA Y TANTO MÁS LUZ SE PODRÁ ACOPLAR EN LA FIBRA. ESTAS VENTAJAS TIENEN TAMBIÉN SU CONTRAPARTIDA: POR EJEMPLO; LA DIFICULTAD DE OBTENER SUPERFICIES DE ROTURA LIMPIAS CON CRECIENTE DIÁMETRO; ADEMÁS SE REDUCE LA FLEXIBILIDAD DE LAS LÍNEAS, Y LOS COSTOS AUMENTAN.

LAS TOLERANCIAS DEL DIÁMETRO DE FIBRA, CUANDO SE TRATA DE FIBRAS INDIVIDUALES, SE PUEDEN COMPENSAR, BÁSICAMENTE, MEDIANTE LA CORRESPONDIENTE ADAPTACIÓN DE LOS DIÁMETROS DE PERFORACIÓN INTERIOR EXISTENTE EN LA ESPIGA DE CONTACTO PARA EL GUIADO DE LA FIBRA INDIVIDUAL.

DEFECTOS DE TRABAJO

LA ATENUACIÓN DE LOS CONECTORES ES DETERMINADA TAMBIÉN POR POSIBLES DEFECTOS DE TRABAJO, ADEMÁS POR LAS TOLERANCIAS MECÁNICAS Y LAS FALLAS DE LA FIBRA. LA FIG. 13 MUESTRA UNA SUPERFICIE FRONTAL DE FIBRA BIEN EXTRUCTURADA Y PULIDA.

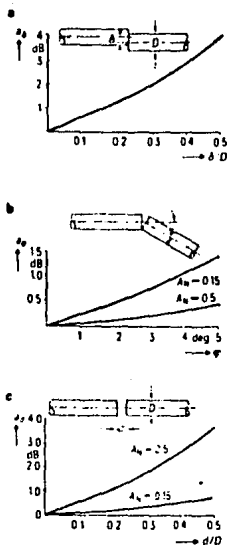


FIG. 5 MAGNITUDES DE INFLUENCIA GENERALES SOBRE LA ATENUACIÓN DE UNA CONESIÓN ENCHUFABLE

A) ATENUACIÓN A_B POR DISLOCACIÓN DE FIBRAS δ/D

B) ATENUACIÓN A POR ÁNGULO DE PIVOTEADO ENTRE LOS EJES DE LAS FIBRAS (PARAMETRO DE LA REPRESENTACIÓN: APERTURA NUMÉRICA A_N),

C) ATENUACIÓN A POR DISTANCIA d/D ENTRE LAS SUPERFICIES FRONTALES DE FIBRAS (PARAMETRO DE LA REPRESENTACIÓN: APERTURA NUMÉRICA A_N),

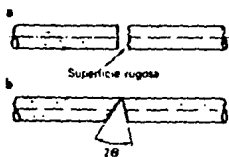
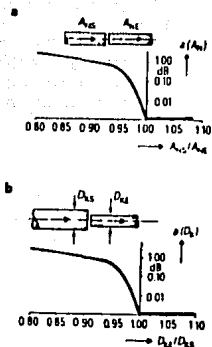


FIG. 6 DEFINICIÓN DE LA CARACTERÍSTICA SUPERFICIAL DE LAS SUPERFICIES FRONTALES DE FIBRAS

A) SUPERFICIE RUGOSA FRONTAL DE UNA FIBRA

B) ÁNGULO ERRÓNEO θ DE LA SUPERFICIE FRONTAL DE LA FIBRA.



A_{Nr} AMPERTURA NUMÉRICA DE LA FIBRA DE RECEPCIÓN

A_{Ns} AMPERTURA NUMÉRICA DE LA FIBRA DE EMISIÓN

D_{Nr} DIÁMETRO NUCLEAR DE LA FIBRA DE RECEPCIÓN

D_{Ns} DIÁMETRO NUCLEAR DE LA FIBRA DE EMISIÓN

FIG. 7 MAGNITUDES DE INFLUENCIA ESPECÍFICAS DE LAS FIBRAS SOBRE LA ATENUACIÓN DE UN CONECTOR.

A) ATENUACIÓN A (A_N) POR TOLERANCIAS DE LA APERTURA NUMÉRICA,

B) ATENUACIÓN A (D_N) POR TOLERANCIAS DE DIÁMETROS DE NÚCLEOS.

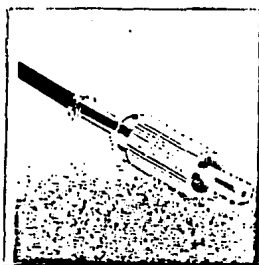


FIG. 8 CONECTOR PARA FIBRAS DE ÍNDICE ESCALONADO Y GRADUAL

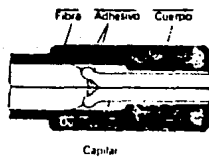


FIG. 9 CONECTOR ESPECIAL

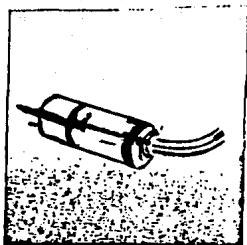


FIG. 10 CONECTOR PARA LA SERIE CONSTRUCTIVA 7R.

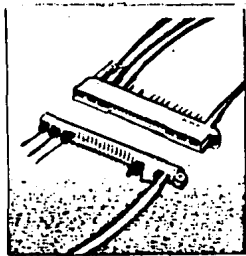


FIG. 11 CONECTOR PARA REGLETAS MULTIPOLARES SEGÚN DIN 41612

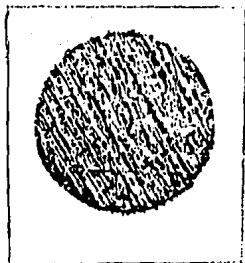


FIG. 12 SUPERFICIE FRONTAL DE FIBRA NO ESMERILADA

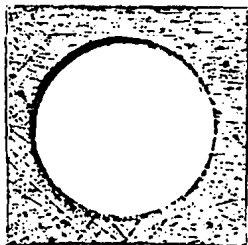


FIG. 13 SUPERFICIE FRONTAL DE FIBRA BIEN ESMERILADA Y PULIDA.

III. NECESIDADES A MEDIANO Y LARGO PLAZO DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN CON FIBRA ÓPTICA EN EL ÁREA METROPOLITANA.

3.1 ANALISIS Y ESTRUCTURA ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISION Y CONMUTACION EN EL AREA METROPOLITANA.

LA TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA - BRINDA ACTUALMENTE TANTAS POSIBILIDADES QUE INMEDIATAMENTE CAPTA EL INTERÉS DE LOS POSIBLES USUARIOS, YA QUE SE CUENTA CON UNA - AMPLIA VARIEDAD DE COMPONENTES Y TIPOS DE FIBRAS DISPONIBLES PARA OPERAR EN CORTAS Y LARGAS DISTANCIAS QUE PERMITE, MEDIANTE - UNA ADECUADA ELECCIÓN, CONTAR CON EL MEJOR SISTEMA PARA CADA - APLICACIÓN.

A PARTIR DE 1970 LA TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN -- POR FIBRA ÓPTICA HA EVOLUCIONADO EN FORMA ACELERADA HASTA EL PUNTO EN QUE ESTOS PRESENTAN HOY ALTERNATIVAS A LAS REDES DE TELECOMUNICACIÓN.

ENTRE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LOS CABLES - DE FIBRA ÓPTICA PODEMOS DESTACAR SU BAJA ATENUACIÓN Y GRAN ANCHO DE BANDA QUE PERMITIRÁN, POR UN LADO UN ESPACIAMIENTO MAYOR ENTRE REPETIDORES, Y POR OTRO, EL TRANSPORTE DE SERVICIOS DE ALTA-VELOCIDAD.

TELÉFONOS DE MÉXICO HA DECIDIDO EMPLEAR LOS S.T.F.O. COMO UNA ALTERNATIVA PARA SOLUCIONAR ALGUNOS PROBLEMAS DE LA RED LOCAL DEL ÁREA METROPOLITANA, Y EN EL FUTURO PRÓXIMO DE SU RED DE LARGA - DISTANCIA.

ENTRE LAS ACTIVIDADES MÁS RELEVANTES QUE HA TENIDO LA EMPRESA EN RELACIÓN A ÉSTOS SISTEMAS ESTAN LA PUESTA EN OPERACIÓN DE CINCO-SISTEMAS ÓPTICOS DE DIFERENTES PROVEEDORES EN EL ÁREA METROPOLITANA. DICHS SISTEMAS FUERON INSTALADOS EN EL PERIODO 1981-1983 COMO ETAPA DE PRUEBA Y EVALUACIÓN CON EL OBJETO DE ENCONTRAR LOS

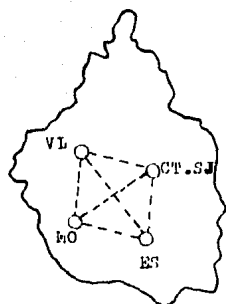
PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LOS CAMPOS DE APLICACIÓN. EN LA TABLA No. 1, SE ESPECIFICAN LOS PROVEEDORES Y LAS CARACTERÍSTICAS DE DICHS SISTEMAS.

YA PARA ESTA ÉPOCA (1983) TELMEX CONTEMPLABA LA POSIBILIDAD DE INTRODUCIR LOS SISTEMAS ÓPTICOS EN SU RED DE LARGA DISTANCIA Y TENÍA CONSIDERADO EN SUS PLANES A LARGO PLAZO, EL EMPLEO DE ESTOS SISTEMAS EN SUS RUTAS DE ALTO TRÁFICO. SIN EMBARGO, LA PENETRACIÓN DE ESTOS SISTEMAS SE VIO ACELERADA POR EL PLAN DE EMERGENCIA PARA LA SUPERACIÓN DE LOS DAÑOS OCURRIDOS EN LA PLANTA TELEFÓNICA A RAÍZ DEL TERREMOTO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985.

COMO PARTE DE LAS MEDIDAS ADOPTADAS POR LA DIRECCIÓN DE LA EMPRESA PARA RESTABLECER LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LA PLANTA DE CONMUTACIÓN DE LARGA DISTANCIA DE LA CIUDAD DE MÉXICO, QUE CONSECUTIVAMENTE HA OBLIGADO A LA CREACIÓN DE UNA RED QUE ENLACE A TRES NUEVOS CALD'S (CENTRO AUTOMÁTICO DE LARGA DISTANCIA), CUYA FUNCIÓN ES LA DE ELEVAR LA CONFIABILIDAD Y DESCONCENTRAR EL TRÁFICO SOBRE EL ÚNICO EXISTENTE HASTA ENTONCES: EL CENTRO TELEFÓNICO SAN JUAN.

ESTA NUEVA CONFIGURACIÓN CONSISTE EN EL ENLACE DE LOS CUATRO CENTROS DE LARGA DISTANCIA (SAN JUAN, VALLEJO, MORALES Y ESTRELLA), MEDIANTE UNA RED COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 2, POR MEDIO DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO Y RADIO DIGITAL. DE ESTA MANERA QUEDARÁN EN LAZADOS LOS CUATRO NODOS DE CONCENTRACIÓN Y TRANSMISIÓN L.D., EN LOS CUALES SE TIENENE YA OPERANDO 400 SISTEMAS PCM.

EN LA ACTUALIDAD TELMEX ESTA TRABAJANDO EN ESTA CONFIGURACIÓN Y LOS DETALLES DE LA MISMA SERÁN VISTOS EN EL SIGUIENTE CAPÍTULO.



VL= VALLEJO
NO= NORALES
ES= ESTRELLA
CT.SJ= CENTRO TELEFONICO
SAN JUAN

FIGURA No. 2. RECONFIGURACIÓN DE LA RED L. D. EN EL AREA METROPOLITANA.

TABLA 1

SISTEMAS DE TRANSMISIÓN POR FIBRA OPTICA INSTALADOS EN LA RED DE TELÉFONOS DE MÉXICO (PROYECTOS DE PRUEBA Y EVALUACIÓN).

PROVEEDOR	RUTA	LONGITUD (KTS.)	VELOCIDAD (Mb/s)	TIPO DE FIBRA	FECHA DE INSTALACION
ERICSSON	CHURUBUSCO URRAZA	5,000	34,368	MULTIMODO	ABRIL/82
INDETEL	URRAZA VICTORIA	7,254	34,368	MULTIMODO	DIC/80
AICAPTEL	VICTORIA PERALVILLO	5,549	34,368	MULTIMODO	JUL/82
NEG. FUJITSU	PERALVILLO STA. CLARA	10,891	34,368	MULTIMODO	DIC/81
PHILLIPS	VICTORIA GOLFO	6,029	34,368	MULTIMODO	MAR/80

LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE ESTA RED ESTÁN FUNDAMENTADOS EN BASE AL PRONÓSTICO DE CRECIMIENTO DE CIRCUITOS, ASÍ COMO A LA OBTENCIÓN DE UNA ALTA CONFIABILIDAD. DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS POR VARIAS ÁREAS DE LA EMPRESA, SE ACORDÓ EMPLEAR RADIO DIGITAL Y FIBRA ÓPTICA COMO MEDIOS DE TRANSMISIÓN, A UNA VELOCIDAD DE 140 Mb/SEG. (1920 CANALES).

EL TOTAL DE EQUIPO DE TRANSMISIÓN REQUERIDO PARA ESTE PROYECTO ES EL SIGUIENTE:

FIBRA ÓPTICA:

CABLE DE 12 FIBRAS NOMODO A 1.3 μ m: 240 Km.

TERMINALES ÓPTICAS A 140 Mb / SEG: 100

RADIOS DIGITALES:

TERMINALES A 15 GHz. 140 Mb / SEG: 10

TERMINALES A 11 GHz. 140 Mb / SEG: 4

EQUIPO MULTIPLEX:

TERMINALES MULTIPLEX 140 Mb / SEG: 84

TERMINALES MULTIPLEX A 34 Mb / SEG: 74

EN BASE A LOS REQUERIMIENTOS DE RED (LONGITUD Y CAPACIDAD), ASÍ COMO A LAS TENDENCIAS TECNOLÓGICAS DE LA FIBRA ÓPTICA, SE DETERMINÓ EMPLEAR PARA ESTA APLICACIÓN, SISTEMAS CON FIBRA MONOMODO OPERADO EN 1.3 μ m, QUE COMO SE OBSERVA EN LA TABLA 3 RESPONDE ADECUADAMENTE A LOS REQUERIMIENTOS DE TELMEX.

LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES SE HIZO EN BASE A UN CONCURSO CUYA LICITACIÓN CONSIDERÓ LAS CARACTERÍSTICAS Y REQUISITOS DE LA RED. DE LOS PROVEEDORES QUE PARTICIPARÓN, SE ELIGIERÓN AQUELLOS CUYA EXPERIENCIA EN INSTALACIONES SIMILARES LOS RECOMIENDA. ENTRE ESTOS ESTAN:

TABLA No. 3 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE FIBRA OPTICA MONOMODO INTRODUCIDOS EN EL PROYECTO DE RECONFIGURACION - DE LA PLANTA TELEFONICA EN EL AREA METROPOLITANA.

<u>CARACTERISTICAS S.T.F.O</u> <u>INTERFAS ELECTRICA.</u>	<u>REQUISITOS TELMEX</u>	<u>CARACTERISTICAS</u> <u>DE PROVEEDOR.</u>
RECOMENDACIONES DEL CCITT	G-703, G751, G918	SE CUMPLE CON G703, G918, G751 (MUX DIGITAL)
RAZÓN DE TRANSMISIÓN	139.264(+15PPM) MB/S	139.264(+15PPM) MB/S
CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN	1920 CANALES	1920 CANALES
CODIGO	CMI (CODE MARK INVER SIÓN)	CMI
AMPLITUD DEL PULSO	1 ± 0.1 VOLT.	1 ± 0.1 VOLT.
<u>INTERFAZ OPTICO</u>		
TRANSMISOR:		
TIPO DE FUENTE DE LUZ	DIODO LASER, EMISION COHERENTE	DIODO LASER, EMI SION COHERENTE DE IN.GA, AS, P, - CON ANCHO ESPEC TRAL 5 nm (3dB)
POTENCIA DE SALIDA	- 5 dBm	-4 dBm, EN PIG TAIL,
ANCHO DE BANDA NOMINAL	1.30	1.30
MINIMO DE TIEMPO DE VIDA	5 AÑOS	SE PRECIDE UN - TIEMPO MEDIO DE VIDA,
GARANTIZADO.		MAYOR A 10 AÑOS A 20° C
RECEPTOR:		
TIPO DE DETECTOR	APD	PIN-FET
SENSITIVIDAD	-44 dBm (BER=10 ⁻⁶)	-38 dBm (BER=10 ⁻⁹)
BER (BIT ERROR RATE)	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹

FIBRA OPTICA

TIPO DE FIBRA
PERFIL DE INDICE DE
REFRACCIÓN
LONGITUD DE ONDA
ATENUACIÓN
PERDIDA POR EMPALME
PERDIDA POR CONECTOR
TIEMPO MINIMO DE VIDA

MONOMODO
ESCALONADO

1.30 μ M
0.5 dB/KM
0.3 dB
1 dB
10 AÑOS

MONOMODO
ESCALONADO

1.30 μ M
0.5 dB/KM
0.2dB
1dB

SE PREDICE UN
TIEMPO MEDIO DE
VIDA
MAYOR A 100 AÑOS

GARANTIZADO.

CABLE DE FIBRAS OPTICAS

NÚMERO DE FIBRAS EN EL
CABLE
LONGITUD DE INSTALACIÓN
TIPO DE INSTALACIÓN

12
2 KM
SUBTERRANEA EN
DUCTOS DE CONCRETO

12
2 KM
SUBTERRANEA EN
DUCTOS DE CONCRE
TO.

ESTRUCTURA DEL CABLE
RANGO DE TEMPERATURA DE
OPERACIÓN.

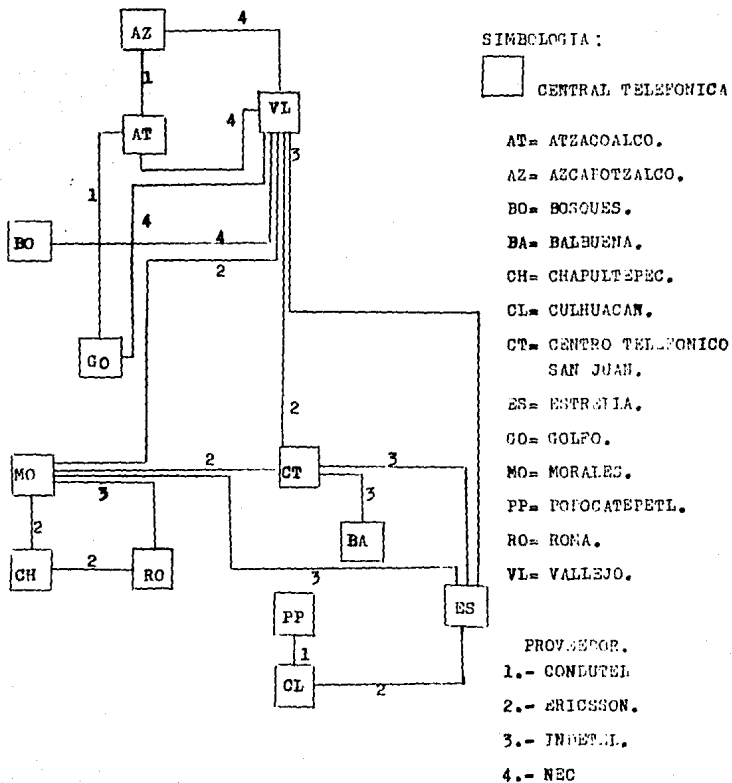
PROTEGIDO CONTRA
ROEDORES.
DE -30°C A 70°C

PROTEGIDO CONTRA
ROEDORES.
DE -30°C A 70°C

- 1.- ERICSSON.
- 2.- CIT-ALCATEL, CONDUMEX.
- 3.- INDETEL.
- 4.- NEC.

EN LA FIGURA 4 SE MUESTRA EL TOTAL DE LOS ENLACES DE FIBRA ÓPTICA (157 KM), ACTUALMENTE Y SE INDICA EL PROVEEDOR DE CADA RUTA - EN PARTICULAR.

FIGURA 4. ENLACES CON FIBRA OPTICA EN EL AREA METROPOLITANA.



3.2 PRONOSTICOS DE CRECIMIENTO Y REQUERIMIENTO A MEDIANO PLAZO DE ENLACES POR FIBRA OPTICA PARA EL AREA METROPOLITANA.

PARA EL MEDIANO PLAZO (PLANES 87-90) Y COMO CONTINUIDAD AL PLAN-
DE RESTABLECIMIENTO, SE TIENEN 2 PROYECTOS CON FIBRAS ÓPTICAS PA
RA LA RED METROPOLITANA.

- 1.- PROYECTO FIBRAS OPTICAS II ENLACES ENTRE LAS CENTRALES LOCA-
LES CON LOS CALD'S.
- 2.- PROYECTO FIBRAS OPTICAS III RED ENTRE LAS CENTRALES TEZOZO--
MOC Y LOS CUATRO CALD'S.

EL CRECIMIENTO A MEDIANO PLAZO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA PARA EL
AREA METROPOLITANA ESTA IMPLÍCITO DENTRO DEL PLAN DE DESCENTRALI
ZACIÓN DE LA PLANTA TELÉFONICA DE L. D. DEL AREA METROPOLITANA.
POR LO QUE ES NECESARIO MOSTRAR ESTA NUEVA RECONFIGURACIÓN.

AL OCURRIR EL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985 Y VER LAS AFEC-
CIONES EN L. D. SE TOMA LA DECISIÓN DE DESCENTRALIZAR LA PLANTA-
TELÉFÓNICA DE L. D. EN EL AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉ-
XICO CONTANDO CON LOS RECURSOS EXISTENTES Y ESTABLECIENDO PROYEC
TOS CONTINGENTES Y PERMANENTES PARA SOLUCIONAR LA PROBLEMÁTICA -
ACTUAL E IR CREANDO LA INFRAESTRUCTURA PARA TECNOLOGÍA DIGITAL -
LA CUAL PERMITA EL ADECUADO MANEJO DE LA DEMANDA DE TRÁFICO L. D.
Y EL OFRECIMIENTO DE NUEVOS SERVICIOS AL USUARIO EN UN TIEMPO --
CERCANO.

PARA LA REALIZACIÓN DE ESTOS PROYECTOS EN LA RED DE TRANSMISIÓN
SE ACEPTO LA CONFIGURACIÓN QUE SE COMPONE DE DOS ESTRUCTURAS:

- 1.- ANILLO DE TRANSMISIÓN INTERNO.

2.- RED ESTRELLA.

LA PRIMERA CONSISTE EN TENER 4 PUNTOS DE TRANSMISIÓN, RECEPCIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA ENLAZADOS ENTRE SÍ CON EL PROPÓSITO DE TRANSITAR LOS CIRCUITOS DE CADA PUNTO. EL ENLACE SERÍA A TRAVÉS DE RADIOS DIGITALES O DE UN SISTEMA POR CANALIZACIÓN APROVECHANDO LA RED YA EXISTENTE, Y EL MEDIO PODRÍA SER RADIOS DIGITALES O FIBRAS ÓPTICAS (F. O.).

LA SEGUNDA ESTRUCTURA CONSISTE EN ENLAZAR EL REPETIDOR MÁS CERCA NO A CADA UNO DE LOS PUNTOS DEL ANILLO DE TRANSMISIÓN INTERNA, - CONFORMADO ASÍ UNA RED ESTRELLA. ESTE ENLACE SE HARÁ A TRAVÉS - DE RADIOS DIGITALES YA QUE LA TRANSMISIÓN DIGITAL T.D.M. (MULTI- PLEX POR DIVISIÓN DE TIEMPO) ES MÁS ECONÓMICA QUE LA ANALÓGICA - QUE UTILIZA F. D. M. (MULTIPLEX POR DIVISIÓN EN FRECUENCIA).

REQUERIMIENTOS.

LOS REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA ESTE TRABAJO RESPECTO A TRANSMISIÓN, TAMBIÉN SON CONSIDERADOS DENTRO DE LOS PROYECTOS PERMANENTES SIENDO ESTOS LOS SIGUIENTES:

- 1.- CONSTRUCCIÓN DE LA SALA DE EQUIPO DE TRANSMISIÓN L. D. EN VALEJO (VL).
- 2.- CONSTRUCCIÓN DE LA SALA DE EQUIPO DE TRANSMISIÓN L. D. EN - MORALES (MO).
- 3.- CONSTRUCCIÓN DE LA SALA DE EQUIPO DE TRANSMISIÓN L. D. EN ESTRELLA (ES).

- 4.- CONSTRUCCIÓN DE LA SALA DE EQUIPO DE TRANSMISIÓN L.D. EN -
SAN JUAN (SJ).
- 5.- RED DE FIBRAS ÓPTICAS II RED ENTRE LOS CUATRO CALD'S DE ME-
TROPOLITANA.

PROYECTOS PERMANENTES COMPLEMENTARIOS.

- 6.- CONSTRUCCIÓN DE LA SALA DE EQUIPO DE TRANSMISIÓN L.D. EN -
TEZOMOC.
- 7.- RED DE FIBRAS ÓPTICAS III, RED ENTRE LA CTL. TEZOMOC Y -
LAS CENTRALES VL, MO, ES Y SJ.
- 8.- RUTAS ALTERNAS I, RUTA DE MICROONDAS HACIA CUERNAVACA, OAXA
CA, VIA ACAPULCO.
- 9.- CENTROS DE TRANSITO INTERNACIONAL EN CIUDAD JUÁREZ, TIJUANA-
Y REYNOSA.
- 10.- NUEVAS RUTAS DE MICROONDAS PARA EL NUEVO CENTRO MUNDIAL DE
TULANCINGO.
- 11.- RUTAS ALTERNAS II, NUEVAS RUTAS DE MICROONDAS.
- 12.- FIBRAS ÓPTICAS IV, RUTAS INTERURBANAS DE MÉXICO A PUEBLA, -
CELAYA Y CUERNAVACA.

D E S A R R O L L O .

EL TRABAJO A REALIZAR SE INDICO EN EL INCISO ANTERIOR (ETAPAS), POR LO QUE A CONTINUACIÓN MOSTRAREMOS UNA TABLA LA CUAL CONTIENE LA DISTRIBUCIÓN DEL EQUIPO DE TRANSMISIÓN POR PROVEEDOR PARA ESTA DESCONCENTRACIÓN.

DE LA TABLA ANTERIOR SE OBSERVA EL TOTAL DE 2.622 (550), SISTEMAS MULTIPLEX DE PCM DE PRIMER A CUARTO ORDEN PARA FIBRAS ÓPTICAS Y RADIOS DIGITALES, ASÍ COMO 10 RADIOS NORMALES Y 10 DE RESERVA.

VENTAJAS DE ESTA NUEVA CONFIGURACIÓN.

C O N F I A B I L I D A D : EL ÁREA METROPOLITANA ESTÁ DIVIDIDA EN 4 GRANDES SECTORES, CON ACCESO A L.D. PERMITIENDO QUE EN CASO DE INTERRUPCIONES POR CAUSAS DE FUERZA MAYOR, EL TRÁFICO DE CUALQUIER CENTRAL DAÑADA, PUEDE SER MANEJADO POR LAS RESTANTES EN SERVICIO, VIENDOSE EL SISTEMA AFECTADO PARCIALMENTE.

M O D E R N I Z A C I Ó N : EL CONTAR CON UNA RED DE CONMUTACIÓN DIGITAL PARA L.D. Y CON MEDIOS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TECNOLOGÍA COMO SON LAS FIBRAS ÓPTICAS Y LOS RADIOS DIGITALES, PERMITIRÁ:

- CALIDAD DE SERVICIO SUPERIOR A LA EXISTENTE ANTES DEL SISMO
- MENOR CONGESTIÓN EN EL ESTABLECIMIENTO DE LLAMADAS.
- MAYOR FACILIDAD DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

C A P A C I D A D : LOS EQUIPOS DE CONMUTACIÓN L.D. DE METRO, TENDRAN CAPACIDAD DE MANEJAR 20 MILLONES DE CONFERENCIAS MENSUALES. SIENDO ESTA NUEVA PLANTA UN 70% MAYOR A LA DISPONIBLE ANTES DEL SISMO.

PARA MANEJAR LOS CIRCUITOS L.D. SE INSTALARÁN 13 SISTEMAS DE MICROONDAS ANALÓGICOS CON UNA CAPACIDAD DE 23,400 CANALES TELEFÓNICOS, QUE AUNADO A LAS INSTALACIONES DEL CENTRO TELEFÓNICO SAN JUAN, REPRESENTA UN AUMENTO DEL 15% SOBRE LO INSTALADO ANTES DEL SISMO.

CON EL FIN DE INTERCONECTAR LOS 4 CENTROS DE L.D. SE INSTALARÁN-
9 SISTEMAS DE MICROONDAS DIGITALES CON UNA CAPACIDAD DE 17.280 -
CANALES DIGITALES.

3.3 PRONOSTICOS DE CRECIMIENTO A LARGO PLAZO DE ENLACES POR FIBRA OPTICA PARA EL AREA METROPOLITANA.

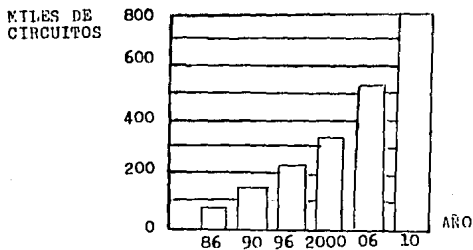
EL USO DE FIBRAS ÓPTICAS EN EL ÁREA METROPOLITANA SE INICIÓ EN -
SEPTIEMBRE DE 1985, INTERCONECTANDO LOS NODOS DE CONMUTACIÓN DE
LARGA DISTANCIA CON ESTA TECNOLOGÍA, COMO COMPLEMENTO A ESTA NUE
VA ESTRUCTURA DE CONMUTACIÓN, SE RECOMIENDA QUE PARA EL PERÍODO-
1990-2000, SE UTILICEN ESTOS MEDIOS EN LA RED DE LARGA DISTANCIA
TOMÁNDOSE COMO PUNTO DE PARTIDA LAS PRINCIPALES RUTAS QUE ATIEN
DEN METROPOLITANA.

PARA EL TRÁFICO SE PRONOSTICA LA SIGUIENTE EVOLUCIÓN EN CIRCUITOS:

<u>CIRCUITOS</u> (MILES)	<u>1985</u>	<u>1990</u>	<u>1995</u>	<u>2000</u>	<u>2005</u>	<u>2010</u>
	94	156	251	357	357	800

HASTA 1990 LOS CIRCUITOS SE INCREMENTAN ANUALMENTE CON UNA TASA DEL 10.6% EN PROMEDIO, LO QUE IMPLICA UN CRECIMIENTO DE 12 MIL - CIRCUITOS ANUALES. PARA EL AÑO 2010 EL VOLUMEN DE CIRCUITOS SERÁ 8 VECES AL ACTUAL.

CRECIMIENTO DE LA RED DE TRANSMISION
DE LARGA DISTANCIA.



CROS. (MILES)	95	156	231	337	537	800
CROS. ANUAL	-	10	10	7.3	8.5	8.3
INCREMENTO-AÑO	-	12	18	21	36	53

EL ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN Y TENDENCIAS FUTURAS DE ESTA TECNOLOGÍA SE PUEDE REALIZAR EN BASE A LOS SIGUIENTES TÓPICOS:

- NUEVAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE LAS FIBRAS ÓPTICAS (CON LAS CUALES HAN OBTENIDO ATENUACIONES HASTA DE 0.01 dB/KM).
- TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN DE LASER SEMICONDUCTOR Y FOTODIODECTOR (SE BUSCA SUPERAR LAS LIMITACIONES FÍSICAS DE ÉSTOS DISPOSITIVOS: TIEMPO DE VIDA, LONGITUD DE ONDA DE OPERACIÓN, VELOCIDAD DE MODULACIÓN, ENTRE LOS MÁS SIGNIFICATIVOS)
- OPTOELECTRÓNICA Y ÓPTICA INTEGRADA (SE BUSCA PROCESAR LA SEÑAL EN FORMA ÓPTICA).

CON LOS AVANCES OBTENIDOS EN ESTOS ESPECTOS TECNOLÓGICOS SE PUEDE AFIRMAR QUE LA TECNOLOGÍA ÓPTICA SEGUirá EVOLUCIONANDO CONSIDERABLEMENTE HASTA LA SIGUIENTE DÉCADA.

IV. ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DE ALTERNATIVAS.

IV.- ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DE ALTERNATIVAS

4.1. COSTOS.

4.1.1 FIBRAS OPTICAS Y CABLES

EN LA ACTUALIDAD SE OBSERVA UNA ACUSADA CONCORDANCIA EN LA TENDENCIA DE EVOLUCIÓN DE LOS COSTOS PARA FIBRAS ÓPTICAS, ESTO SERA POSIBLE A MEDIDA QUE AUMENTE EL VOLUMEN Y EFICACIA DE FABRICACIÓN (PORCENTAJE DE LA PRODUCCIÓN QUE SUPERA EL CONTROL DE CALIDAD), EL COSTO DE LAS FIBRAS IRÁ BAJANDO TAL COMO INDICA LA FIGURA 4.1, SE OBSERVA UN VALOR ASINTÓTICO HACIA 0,1 DÓLARES/METRO A PARTIR DE 1985, SUPONIENDO UNA PRODUCCIÓN DE 10^5 KM/AÑO. PARA FIBRAS MONOMODO CABE PENSAR QUE ESTE OBJETIVO SE ALCANZARÁ MUY PRONTO, DE HECHO LOS COSTOS DE MATERIAS PRIMAS Y PROCESO DE FABRICACIÓN SON MENORES QUE EN FIBRAS MULTIMODO.

ACTUALMENTE LOS FABRICANTES TIENEN OBJETIVOS DE COSTO DE 0,4 DÓLARES/METRO EN FIBRAS MONOMODO, PERO CABE PENSAR QUE LOS 0,1 DÓLARES/METRO NO SE ALCANZARÁN HASTA FINALES DE LOS AÑOS OCHENTA, FUNDAMENTALMENTE POR EXIGENCIAS DE DEMANDA.

EL COSTO DE LOS CABLES COMPRENDE EL DE LOS MATERIALES (FIBRAS, CUBIERTAS, ELEMENTOS DE REFUERZO) Y EL DE LOS DE PROCESO DE CABLEADO Y CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO. EL COSTO DE LAS FIBRAS REPRESENTA ENTRE EL 50 Y EL 80% DEL COSTO DEL CABLE; EN EL CASO PARTICULAR DE UN CABLE TÍPICO PARA ENLACES URBANOS A 140 Mb/s, LAS FIBRAS REPRESENTAN UN 70% DEL COSTO TOTAL PARA UN CABLE DE 8 FIBRAS. EL COSTO DE LAS FIBRAS TIENDE A DECRECER MÁS RÁPIDAMENTE QUE LOS DEL CABLEADO Y CONTROL DE CALIDAD (FIGURA 4.1).

POR LO QUE RESPECTA AL CABLEADO, LA REDUCCIÓN DE COSTOS DEPENDERÁ EN UNA BUENA MEDIDA DE QUE SE REDUZCAN LAS ETAPAS DE FABRICA-

CIÓN (IDEALMENTE SÓLO UNA, PARTIENDO DE LAS FIBRAS CON PROTECCIÓN SECUNDARIA PARA OBTENER EL PRODUCTO FINAL EN UN SOLO PROCESO) UTILIZANDO ESTRUCTURAS MÁS SENCILLAS Y MATERIALES MÁS BARATOS.

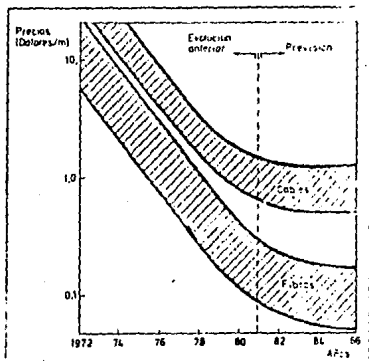


FIGURA 4.1 COSTOS Y SU EVOLUCIÓN PARA FIBRAS ÓPTICAS Y CABLES.

LA TABLA 4.1 REÚNE PRECIOS SOBRE VARIOS TIPOS DE CABLES (FIBRAS - MULTIMODO),

Fabricante	Fibras/cable	Am cable/año	Aplicaciones	Longitud de onda (nm)	Costo dólares/m
A.	16	50-100	Enlaces urbanos	850	210-190
	16	50-100	Enlaces urbanos	1300	290-270
	6	50-100	Enlaces urbanos	850	100-850
	6	50-100	Enlaces urbanos	1300	130-110
B	6	50-100	Enlaces urbanos	850	155-147
	16	50-100	Enlaces urbanos	850	310-318
C	10	-	Enlaces urbanos	850	900
	10	-	Enlaces interurbanos	850	926

4.1 COSTOS DE CABLES ÓPTICOS CON FIBRAS MULTIMODO DE MEDIA-ALTA CALIDAD.

4.1.2.- FOTODIODOS Y FOTODETECTORES.

LAS OPINIONES SOBRE LA EVOLUCIÓN DE COSTOS DE ESTOS DISPOSITIVOS NO SON TAN UNÁNIMES COMO EN EL CASO DE LAS FIBRAS Y CABLES. LAS FIGURAS 4.2 Y 4.3 MUESTRAN DOS ESTIMACIONES SOBRE LA EVOLUCIÓN DE COSTOS HACIA FINALES DE LOS AÑOS OCHENTA. EN LA FIGURA 4.2 SE OBSERVA QUE EL COSTO DE LOS LED Y LÁSERES PARA TRABAJAR EN LONGITUDES DE ONDA DE LA PRIMERA VENTANA (850 NM) DECRECEN A UN RITMO -- CONSTANTE, Y HACIA 1990 SUS COSTOS SERÁN SIMILARES; LOS DISPOSITIVOS EN SEGUNDA VENTANA LLEVAN UN RETRASO DE VARIOS AÑOS EN LA CURVA DE COSTOS, PERO CABE PENSAR QUE SERÁN EN ÚLTIMO EXTREMO SIMILARES A LOS DE PRIMERA VENTANA. LAS ESTIMACIONES DE LA FIGURA 4.3 SON ALGO MÁS OPTIMISTAS Y DESCANSAN EN LA HIPÓTESIS DE UN CONSUMO SUFICIENTEMENTE ALTO DERIVADO DE LA APLICACIÓN EN GRAN ESCALA DE-

LOS SISTEMAS POR FIBRA ÓPTICA EN ÁREA LOCAL,

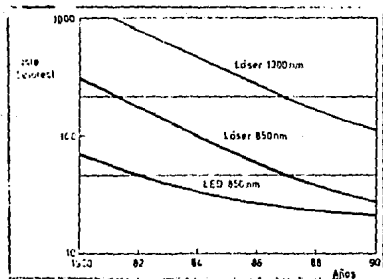


FIGURA 4.2 EVOLUCIÓN DE COSTOS DE LÁSERES Y LED.

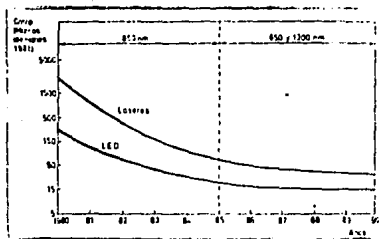


FIGURA 4.3 COSTOS Y EVOLUCIÓN EN LÁSERES Y LED.

LA TABLA 4.2 INDICA EL PRECIO DE VARIOS DISPOSITIVOS EMISORES Y FOTODETECTORES.

Marca	Dispositivo	Longitud de onda (nm)	Aplicación	Costo por unidad (dólares) x 1000	Volumen
Lasertun	Láser multimodo	1300	< 300 Mb/s	6.7	1 - 3
	Láser monomodo	1300	< 300 Mb/s	5.8	4 - 10
				7.9	1 - 3
				7.0	4 - 10
	LED	1300	34 - 140 Mb/s	1.2	1 - 3
	LED	1500	34 - 140 Mb/s	1.02	4 - 10
Cito Electronics	PIN -	1000 - 1600	> 140 Mb/s	1.7	1 - 3
				1.4	4 - 10
				2.6 - 1.2	1 - 3
				2.4 - 1.0	4 - 10
Cito Electronics	Láser	810 - 870	> 140 Mb/s	2.5 - 4.0	—
	Láser	1190 - 1350	> 140 Mb/s	7.0 - 8.5	—
Fujitsu	Ge APD	1250	> 140 Mb/s	0.45 - 0.90	—
	Si APD	850	> 140 Mb/s	0.1 - 0.6	—
Photon Kinetics	Si APD	750	> 560 Mb/s	2.5	—
	PIN	1300	34 Mb/s	0.05	—
Persey	PIN	1300	34 - 140 Mb/s	0.9 - 2.15	—

TABLA 4.2 COSTO DE FOTODIODO Y FOTODETECTORES.

4.1.3 COSTOS DE INSTALACIÓN.

LA REDUCCIÓN DE COSTOS DE INSTALACIÓN ES UNA TENDENCIA OBSERVADA TANTO EN CABLES COMO EN EQUIPOS, PERO SU INFLUENCIA EN LOS COSTOS TOTALES TIENDE A CRECER YA QUE ESTA REDUCCIÓN ES INFERIOR A LA OBSERVADA EN LOS COSTOS DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS.

LA TABLA 4.3 SINTETIZA INFORMACIÓN DE VARIAS COMPAÑÍAS EXPRESANDO LOS COSTOS DE INSTALACIÓN DE PORCENTAJE RESPECTO AL COSTO DE LOS CABLES Y EQUIPOS ELECTRÓNICOS.

Fuente	Sistema (Mbs)	Instalación del cable óptico (%)	Instalación equipos (%)	Instalación del sistema (%)
Finlandia	2-8	--	--	19-22 (1931) 25-35 (1949)
R.F.A.	2 x 140	--	--	25-28 (1945)
España	140	20-30	20	20-25 (1945)
EE.UU.	44	13 (1962) 31 (1965)	6.4 (1962) 6.2 (1965)	8.3 (1962) 9.2 (1965)

TABLA 4.3 ALGUNOS EJEMPLOS DE COSTOS DE INSTALACIONES DE SISTEMAS POR FIBRAS ÓPTICAS EN FINLANDIA, R.F., ALEMANA, ESTADOS UNIDOS Y ESPAÑA.

CONVIENE TENER EN CUENTA QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR UNA DE TERMINADA COMPAÑÍA DE TELECOMUNICACIÓN NO SON ENTERAMENTE VÁLIDOS EN OTRAS COMPAÑÍAS O PAÍSES YA QUE AUNQUE LOS COSTOS INICIALES (CABLES Y EQUIPOS, FUNDAMENTALMENTE) SEAN SIMILARES, LAS GASTOS ANUALES O LOS COSTOS DE INSTALACIÓN PUEDEN DIFERIR NOTABLEMENTE.

4.1.4 COSTOS DE ENLACES URBANOS.

EN UN SISTEMA DE 1920 CANALES TELEFÓNICOS POR CADA PAR DE FIBRAS EL COSTO EN TÉRMINOS DE DÓLARES/CIRCUITO KM., OSCILA DE 12.50 EN 1979 A 6.50 EN 1988. EN LA TABLA 4.4 SE DETALLAN LOS COSTOS ABSOLUTOS Y SU EVOLUCIÓN TEMPORAL, DE LOS EQUIPOS, CABLES E INSTALACIÓN.

SE ANALIZA UNA COMPARACIÓN, EN TÉRMINOS DE COSTOS INICIALES, ENTRE SISTEMA POR FIBRA ÓPTICA A 34 Y 140 MB/S Y SU EQUIVALENTE A BASE DE SISTEMAS MIC-30 POR CABLES DE PARES. LOS COSTOS CORRESPONDEN AL ENTORNO DE LA RED DE TELMEX.

Costo (dólares)	año 1979	año 1982	año 1985	año 1988
Cable (100 cm)	150 000	90 000	45 000	32 000
Instalación del cable	12 000	12 000	10 000	10 000
Equipos de línea	43 000	33 000	11 000	7 000
Equipos múltiples	259 000	209 000	189 000	169 000
Instalación de equipos y pruebas	15 000	15 000	12 000	16 000
Costo total	426 000	363 000	258 000	215 000
Costo por canal x km (dólares)	12.50	16.40	7.70	6.50

T. 4.4 SISTEMA URBANO 10 KM SIN REPETIDORES Y PARA 1920 CANALES TELEFÓNICOS.

COMO PRINCIPAL CONCLUSIÓN SE OBTIENE QUE PARA ENLACES SUPERIO--
RES A 2.2 Y 3.5 KM, LOS SISTEMAS POR FIBRA ÓPTICA A 140 Y 34 --
MB/S SON MÁS ECONÓMICOS QUE SOBRE CABLES DE PARES, RESPECTIVA--
MENTE. LAS FIGURAS 4,4 Y 4,5 DETALLAN ESTOS RESULTADOS.

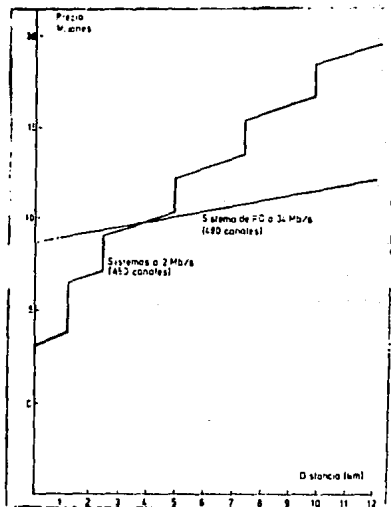


FIGURA 4.4 COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE UN SISTEMA POR FIBRA ÓP--
TICA A 34 MBS Y SU EQUIVALENTE CON SISTEMAS A 2 MBS SOBRE CABLES
DE PARES METÁLICOS.

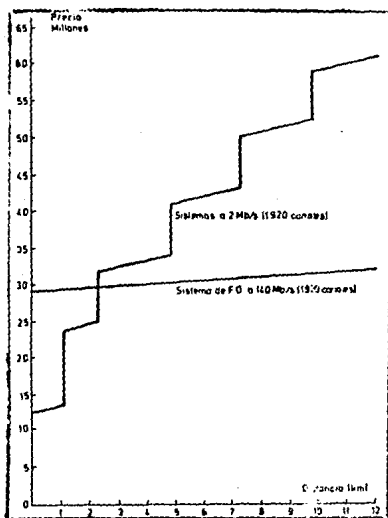


FIGURA 4.5 COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE UN SISTEMA POR FIBRA ÓPTICA A 140 MB/S Y SU EQUIVALENTE CON SISTEMAS A 2 MB/S SOBRE CABLES DE PARES METÁLICOS.

PARA UN SISTEMA DE 2 x 1920 CANALES EN ÁREA URBANA SOBRE VARIOS-MEDIOS DE TRANSMISIÓN; CABLE DE PARES CON SISTEMAS MIC-30 Y EN -SISTEMAS DE BANDA BASE, CABLES COAXIALES Y CABLES DE FIBRA ÓPTICA CON EQUIPOS A 140 Mb/s. SE OBSERVA QUE LA SOLUCIÓN POR FIBRA ES MÁS ECONÓMICA, INCLUSO A PRECIOS DE 1980, QUE POR CABLE COAXIAL. EL UMBRAL DE COMPETITIVIDAD FRENTE A SISTEMAS MIC-30 SOBRE CABLES DE PARES SE PRESENTA A PARTIR DE UNOS 10 KM. LA FIGURA 4.6 DETALLA LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO.

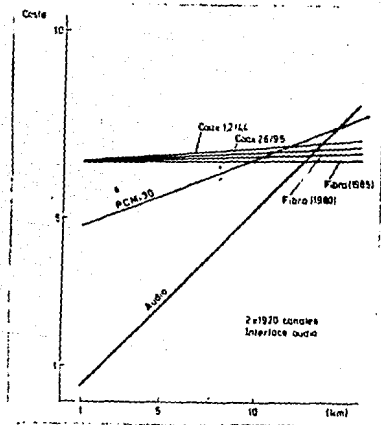


FIGURA 4.6 COMPARACIÓN BASÁNDOSE EN LAS INVERSIONES INICIALES POR CANAL.

4.1.5 COSTOS EN ENLACES INTERURBANOS

PARA UN SISTEMA INTERURBANO DE 500KM Y 1920 CANALES TELEFÓNICOS-POR CADA PAR DE FIBRA.

LA TABLA 4.5 DETALLA LOS COSTOS INICIALES. COMO PRINCIPAL CONCLUSIÓN, SE INDICA UN COSTO POR CIRCUITO Y KILÓMETRO DE 1.45 DÓLARES EN 1982 Y DE 0.57 DÓLARES EN 1988.

TABLA 4.5.- COSTOS DE UN SISTEMA INTERURBANO POR F.O. RUTA DE -- 500 KM: CABLE DE 10 FIBRAS Y 1920 CANALES TELEFÓNICOS POR PAR DE FIBRAS.

	1979	1982	1985	1988
Separación entre repetidores (km)	4	4	10	10
Número repetidores por canal	124	124	49	49
Número total de repetidores	620	620	145	245
Costos (dólares de 1979)				
Cable	7 600	4 600	2 350	1 700
Instalación del cable	600	600	600	600
Equipo de líneas terminal	45	35	15	10
Repetidores	6 750	6 600	1 600	1 400
Equipos múltiples	1 500	1 500	1 300	1 200
Cámaras de repetidores	500	500	200	200
Instalación equipos	2 000	1 800	800	700
Costo total (dólares)	18 995	14 635	6 855	5 810
Costo (dólares) por canal y km	1,88	1,45	0,68	0,57

PARA UN SISTEMA INTERURBANO A 140 Mb/s POR CABLES COAXIALES Y DE FIBRAS ÓPTICAS MULTIMODO O MONOMODO LAS TABLAS 4,6 Y 4,7 REFLEJAN LOS COSTOS INICIALES Y LAS CARGAS ANUALES. COMO PRINCIPALES CONCLUSIONES SE APRECIAN (FIGURA 4.7).

- 1) LA DIFERENCIA DE COSTOS A FAVOR DE LA FIBRA MULTIMODO ES DE 1 MILLÓN DE DÓLARES 50/KM RESPECTO A UN SISTEMA POR CABLE - COAXIAL DN.
- 2) LOS SISTEMAS POR FIBRA MONOMODO PARECEN RESULTAR MÁS CAROS - QUE SOBRE FIBRA MULTIMODO, A NO SER QUE EL COSTO MATERIAL --

DEL CABLE DE FIBRAS MONOMODO NO SUPERE EN MÁS DEL 10-20% EL COSTO DEL CABLE DE FIBRAS MULTIMODO (HIPÓTESIS REALISTA EN 1984).

3) EN CONCLUSIÓN, EL SISTEMA POR FIBRA ÓPTICA RESULTA MÁS ECONOMICO, AÚN EN LA SITUACIÓN DE COSTO DE FIGRA MÁS PESIMISTA LA FIGURA 4.8 DETALLA LA COMPARACIÓN.

Objeto	Sistema coaxial	Sistema por fibra multimodo	Sistema por fibra monomodo
Repetidor terminal (1)	15 000 (3 000)	20 000 (4 000)	25 000 (5 000)
Repetidor auxiliar (1)	10 000 (2 000)	15 000 (3 000)	20 000 (4 000)
Cable, km	15 000 (9 000)	15 000 (15 000)	15 000 (5 500)
Cámaras (2)	5 000 (9 500)	5 000 (7 000)	5 000 (14 300)

(1) Bidireccional
(2) Se incluyen las alfas

TABLA 4.6 COSTOS INICIALES DE UN SISTEMA INTERURBANO A 140 Mb/s (VALORES EN DÓLARES). LA CIFRA ENTRE PARENTESIS CORRESPONDE A - INSTALACIÓN.

Categoría	Equipos e Instalaciones			Cables			Operación y Mantenimiento
	Sistema coaxial	Sistema de FO multiplexado	Sistema de FO multiplexado	Coaxial	Multiplexado	Multiplexado	
Coste del dinero (%)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Impuestos (%)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Amortización (%)	4.9	4.9	4.9	0.23	0.97	0.97	0.23
Mantenimiento (%)	2.0	4.0	5.0	1.7	2.5	1.8	0.0
Total %	24.9	26.9	27.9	19.93	21.47	20.77	14.23

TABLA 4.7 CARGAS ANUALES (SISTEMAS INTERURBANOS A 140 MB/S).

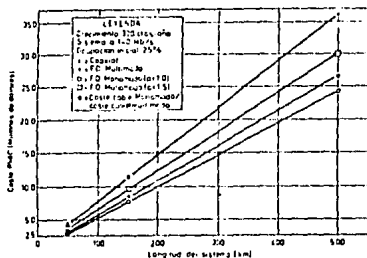


FIGURA 4.7 COMPARACIÓN ENTRE DIVERSAS SOLUCIONES PARA ENLACES INTERURBANOS POR CABLE A 140 MB/S.

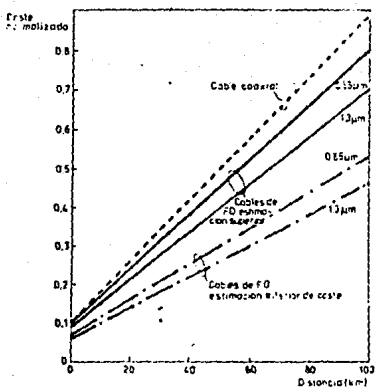


FIGURA 4.8 COMPARACIÓN SOBRE ENLACES INTERURBANOS A 140 MB/S.

4.4 ESTUDIO TÉCNICO ECONOMICO DE UNA RUTA EN PARTICULAR DE LA RED DE TELMEX.

EN ESTE CAPITULO SE ANALIZARA UNA RUTA EN PARTICULAR, ESTA RUTA CORRESPONDE AL PLAN DE CRECIMIENTO Y EXPANSIÓN DE 1988, EN LA CUAL SE INTERCONECTARÓN LAS CENTRALES ESTRELLA (CALD) - CENTRO DE OPERADORAS ROJO GÓMEZ (L.D.), COMO SE MUESTRA EN LA FIG. 1.

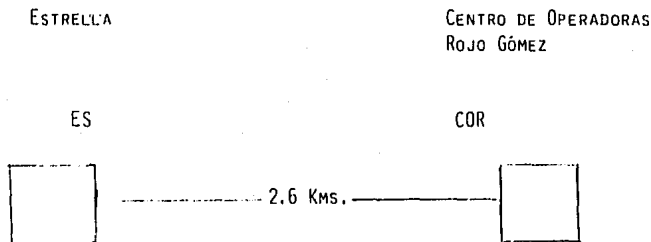


FIGURA 1. ENLACE HECHO POR MEDIO DE F. O. ENTRE LAS CENTRALES ES-COR.

EL EQUIPO UTILIZADO PARA ESTE ENLACE FUE DE LA MARCA ERICSSON. A CONTINUACIÓN SE VERA EL CRITERIO DE UTILIZAR FIBRA ÓPTICA CON RESPECTO A EQUIPO PCM, Y PORQUÉ SE ELIGIÓ ESTA MARCA EN PARTICULAR.

4.4.1. EQUIPO NECESARIO

PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE PROYECTO ES NECESARIO INSTALAR EL SIGUIENTE EQUIPO POR CENTRAL.

- 1) 64 EQUIPOS MULTIPLEX DE PRIMER ORDEN (2.048 M BITS/SEG).
- 2) 16 EQUIPOS MULTIPLEX DE SEGUNDO ORDEN (8.448 M BITS/SEG).
- 3) 4 EQUIPOS MULTIPLEX DE TERCER ORDEN (34.368 M BITS/SEG).
- 4) 1 EQUIPO MULTIPLEX DE CUARTO ORDEN (139.264 M BITS/SEG).
- 5) 1 EMISOR / RECEPTOR ÓPTICO.

CABE HACER MENCIÓN QUE EN ESTA RUTA NO SON NECESARIOS POZOS DE REPETICIÓN.

EN LA TABLA 1 PUEDE OBSERVARSE UNA COMPARACIÓN DE EQUIPO NECESARIO DE F. O. CON RESPECTO A EQUIPO PCM., NECESARIO PARA LA TRANSMISIÓN DE 1920 CANALES TELEFÓNICOS.

A CONTINUACION SE MUESTRA EL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DE ESTOS 1920 CANALES TELEFONICOS:

SE TIENE QUE UN EQUIPO MULTIPLEX DE PRIMER ORDEN TRABAJA A UNA VELOCIDAD DE TRANSMISION DE 2.048 M BITS/SEG. Y TIENE UNA CAPACIDAD DE 30 CANALES TELEFONICOS, Y PARA FORMAR UN EQUIPO DE TRANSMISION OPTICO SON NECESARIOS 64 EQUIPOS MULTIPLEX DE PRIMER ORDEN, POR LO CUAL AL MULTIPLICAR LOS 64 MULTIPLEX POR SUS 30 CANALES TELEFONICOS DA COMO RESULTADO LOS 1920 CANALES TELEFONICOS.

DE LA MISMA MANERA, LA VELOCIDAD DE TRANSMISION, SE OBTIENE MULTIPLICANDO 2.048 MBITS/SEG. POR 64 MAS LOS BITS DE RELLENO QUE SON NECESARIOS PARA CAMBIAR DE CODIGO HDB-3 A CODIGO CMI, DA COMO RESULTADO 139.264 M BITS/SEG.

	F.O.	P.C.M.
EQUIPOS MULTIPLEX 1º ORDEN	64	64
EQUIPOS MULTIPLEX 2º ORDEN	16	--
EQUIPOS MULTIPLEX 3º ORDEN	4	--
EQUIPOS MULTIPLEX 4º ORDEN	1	--
EMISOR/RECEPTOR OPTICO	1	--
REGENERADORES TERMINALES	--	64
POZOS DE REPETICIÓN	--	2
CAJAS DE REGENERADORES	--	8
REGENERADORES DE LINEA	--	128

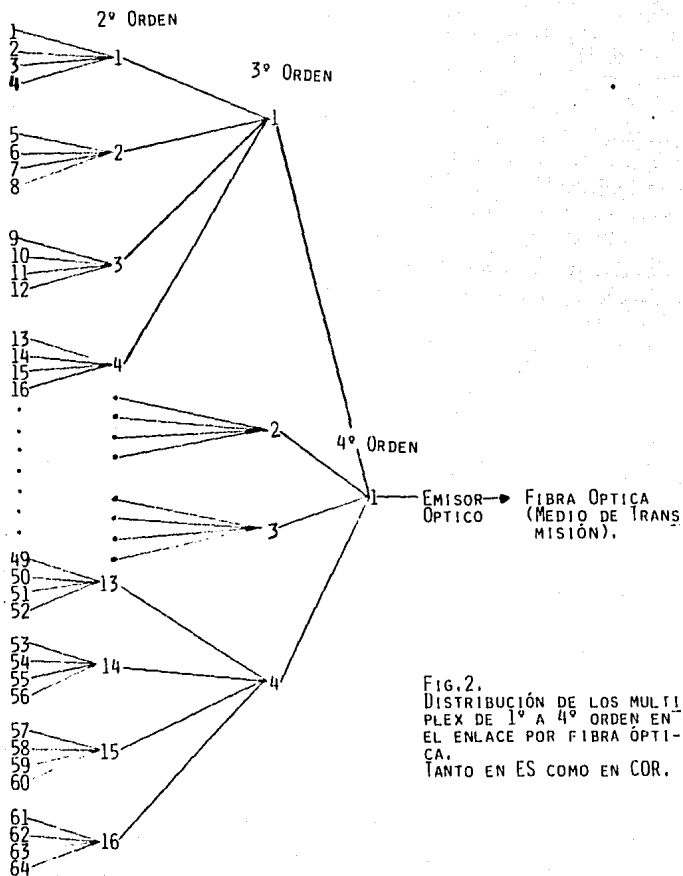
TABLA 1. COMPARACIÓN ENTRE EQUIPO NECESARIO PARA LA TRANSMISIÓN DE 1920 CANALES TELEFÓNICOS.

EN LA FIGURA 2., SE MUESTRA LA DISTRIBUCIÓN DE EL EQUIPO MULTIPLEX DE 1º A 4º ORDEN TANTO EN ES COMO EN COR SIENDO EL MEDIO DE ENLACE FIBRA ÓPTICA.

EN LA FIGURA 3 SE MUESTRA LA FORMA DE ENLAZAR 2 CENTRALES POR MEDIO DE PCM. (EN ESTE CASO ES-COR).

AQUI CABE HACER MENSIÓN DE QUE EL EQUIPO PCM NECESITA UNA REGENERACIÓN DE LA SENTRAL APROXIMADAMENTE CADA KILOMETRO, POR LO QUE EN ESTE CASO SERIA NECESARIO HACER DOS PUNTOS REPETIDORES CON CAPACIDAD PARA 4 CAJAS DE REGENERACIÓN DE 48 SISTEMAS CADA UNO DE ELLOS.

1° ORDEN



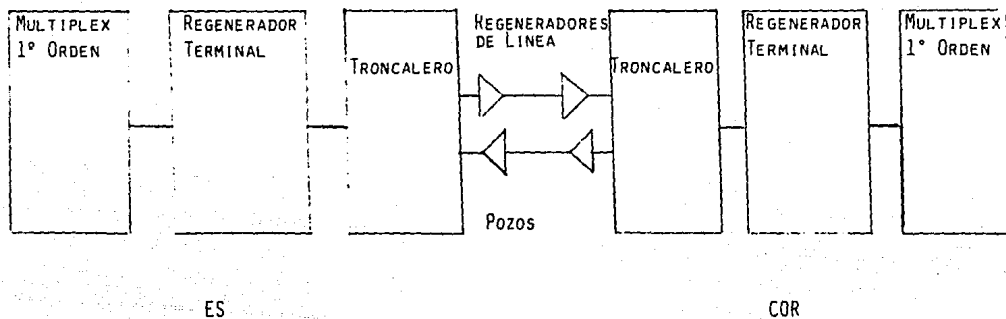


FIGURA 3. DIAGRAMA A BLOQUES DE UN ENLACE UTILIZANDO PCM (POR CADA MULTIPLEX DE 1° ORDEN).

4.2.2 COMPARACIÓN DE COSTOS PARA DIFERENTES FABRICANTES DE EQUIPO DE FIBRA OPTICA.

PARA EL CASO DE FIBRA OPTICA, TELMEX TIENE CONTRATO CON VARIAS -
COMPAÑIAS FABRICANTES DE EQUIPO DE FIBRA OPTICA Y EN LA TABLA 3
PUEDE VERSE LA RELACIÓN DE PRECIOS ENTRE LOS MISMOS.

	(1) TSP	(2) CIT ALCATEL	(3) STC	(4) ERICSSON
MULTIPLEX PCM PARA 2 MBITS/SEG.	720.00	1,746.00	1.829.80	1753
MULTIPLEX PCM PARA 8 MBITS/SEG.	782.00	1,910.00	2.916.20	2010.00
MULTIPLEX PCM PARA 34 MBITS/SEG.	1.499.00	3,890.00	4,462.00	3568.00
MULTIPLEX PCM PARA 140 MBITS/SEG. Y TERMINAL OPTICO	3,133	12,798.00	15.708	10,500
BASTIDOR TERMINAL PARA ALOJAR LOS MULTIPLEX FUENTES DE ALIMENTACIÓN Y ACCESORIOS DE MONTAJE	3,756.00	1,208.00	1.800.40	800.00

TABLA 3.- RELACIÓN DE PRECIOS POR FABRICANTE DE EQUIPO DE FIBRA OPTICA POR MAGAZINE
(VALORES DADOS EN DOLARES).

- (1) TSP.- TELECOMUNICACIONES Y SISTEMAS PROFESIONALES, S. A. DE C.V. (HOLANDA).
- (2) CTT.- ALCATEL - COMPAÑIA E INDUSTRIAS DE TELECOMUNICACIONES - (FRANCIA).
- (3) STC.- STANDARA TELEFONIA Y CABLES PARA TELECOMUNICACIONES - LTA (INGLATERRA).
- (4) ERICSSON.- TELEINDUSTRIA ERICSSON, S. A. (SUECIA).

COMO PUEDE OBSERVARSE LA COMPAÑIA TELEINDUSTRIAS, ERICSSON ES LA QUE OFRECE LA MEJOR ALTERNATIVA EN COSTOS.

4.2.3 COSTOS DE INSTALACIÓN.

EN LA TABLA 4 SE MUESTRA UNA COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE EQUIPO DE FIBRA ÓPTICA Y PCM, PARA DETERMINAR CUAL ES LA OPCIÓN MAS -- ECONÓMICA EN EQUIPO E INSTALACIÓN PARA UNA CAPACIDAD DE 1920 CANALES TELEFÓNICOS.

	FIBRA OPTICA	PCM
CABLE	7,500	15,000
INTALACIÓN DEL CABLE	2,000	9,000
EQUIPOS MULTIPLEX 1º ORDEN	- - -	112,192
EQUIPOS MULTIPLEX 1º A 4º ORDEN FOTODIODOS Y FOTODE- TECTORES	153,044	- - -
EQUIPOS TERMINALES DE LINEA	- - -	14,272
CAMARAS DE REPETIDORES (2 CAMARAS)	- - -	800
CAJAS DE REPETIDORES (4 CAJAS)	- - -	2,000
REGENERADORES DE LINEA (128)	- - -	10,880
INTALACIÓN DE EQUIPOS Y PRUEBAS	7,800	9,500
TOTAL (DOLARES)	170,344	172,844.00

TABLA 4. COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE EQUIPO DE FIBRA OPTICA (MARCA ERICSSON) Y EQUIPO PCM.

EN LA TABLA 4 PODEMOS DARNOS CUENTA QUE EL COSTO DE EQUIPO E INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA ES MENOR RESPECTO AL COSTO DEL EQUIPO - PCM, POR LO QUE CON ESTOS DATOS PODEMOS ASEGURAR DE UNA FORMA -- MAS CONCRETA, QUE LA FIBRA ÓPTICA ES LA MEJOR OPCIÓN Y DESPLAZA-- RA A LOS PARES FÍSICOS EN UN MEDIANO PLAZO POR TODAS LAS VENTA-- JAS QUE OFRECE.

CONDICIONES COMERCIALES

1) PRECIOS

LOS PRECIOS DE ESTA COTIZACIÓN SON CALCULADOS AL 1º DE ENERO Y JUNIO DE CADA AÑO, EN DOLARES AMERICANOS, Y ESTÁN SUJETOS A -- AJUSTES SEGÚN LA FÓRMULA DE ESCALACIÓN QUE SE TIENE A CONTINUA-- CIÓN.

2) AJUSTE DE PRECIOS

EL AJUSTE DE LOS PRECIOS FIJADOS SE HARÁ APLICANDO LA FÓRMULA DE ESCALACIÓN SIGUIENTE:

$$PF = PO \left(0.1 + 0.55 \frac{SD1}{SD0} + 0.35 \frac{SI1}{SI0} \right)$$

DONDE:

PF: EL PRECIO FINAL AJUSTADO CON LA FÓRMULA DE ESCALACIÓN A LA FECHA DE ENTREGA PROGRAMADA.

PO: PRECIO BASE AL 1º DE ENERO Ó JULIO DE CADA AÑO.

SD1: SALARIO MÍNIMO LEGAL CORRESPONDIENTE A LA ZONA METROPOLITANA DE LA CD. DE MÉXICO, PUBLICADO POR LA COMISIÓN NACIONAL DE SALARIOS MÍNIMOS A LA FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO EN -- CUESTIÓN.

SDO: SALARIO MÍNIMO DE LA CD. DE MÉXICO AL 1º DE ENERO Ó JUNIO.

SII: INDICE GENERAL DE PRECIOS AL CONSUMIDOR EN LA CD. DE MÉXICO (1978 = 100), PUBLICADO MENSUALMENTE POR EL BANCO DE MÉXICO UN MES ANTES DE LA ENTREGA DEL PROYECTO EN CUESTIÓN.

SIO: INDICE GENERAL DE PRECIOS AL CONSUMIDOR EN LA CD. DE MÉXICO (1978 = 100) PUBLICADO MENSUALMENTE POR EL BANCO DE MÉXICO-VIGENTE PARA EL MES DE MAYO DE 1988.

3) IMPUESTO AL VALOR AGREGADO (I.V.A.)

EL 15% DEL IMPUESTO AL VALOR AGREGADO (I.V.A), NO ESTÁ INCLUIDO Y SERÁ REPERCUTIDO POR SEPARADO.

4) FORMA DE PAGO

LA FORMA DE PAGO, SERÁ DE CONTADO CONTRA PRESENTACIÓN DE LA FACTURA CORRESPONDIENTE AL PROYECTO RESPECTIVO.

NOTA 1:

ESTA COTIZACIÓN EN SUS PRECIOS Y CONDICIONES COMERCIALES ES VÁLIDA ÚNICAMENTE PARA INSTALACIONES EN EL ÁREA METROPOLITANA Y NO INCLUYEN LA TRANSPORTACIÓN DE EQUIPOS Y/O MATERIALES DE INSTALACIÓN A LAS CENTRALES.

NOTA 2:

SE ACLARA QUE CUANDO POR CAUSAS AJENAS AL FABRICANTE E IMPUTABLES A TELMEX, LOS TRABAJOS NO SE PUDIERAN LLEVAR A CABO, EL TIEMPO DE ESPERA O NECESARIO PARA BUSCAR Y RESOLVER FALLAS -- AJENAS AL MISMO, Y PARA REANUDAR O PRINCIPIAR UN TRABAJO, LE SERÁ CARGADO A TELMEX A RAZÓN DE \$50,000.00 PESOS HORA HOMBRE.

PARA EL ESTUDIO TECNICO DE LAS CUATRO DIFERENTES MARCAS DE EQUIPO DE FIBRA OPTICA QUE EN ESTE CAPITULO ANALIZAMOS (CIT-ALCATEL, -- ERICSSON, PHILLIPS Y S.T.C.) SE TIENE QUE LAS CARACTERISTICAS - TECNICAS SON IGUALES, COMO SON:

- FACILIDAD DE ACOPLAR EQUIPO OPTICO CON LINEA DE FIBRA OPTICA DE DIFERENTES MARCAS.
- PUNTOS DE MEDICION Y PRUEBAS ACCESIBLES.
- EL ESPACIO FISICO QUE OCUPAN EN UNA CENTRAL TIENE LAS MISMAS DIMENSIONES. (ANCHO 60 cms, ALTURA 272 cms, FONDO 24 cms.).
- EL TIEMPO MEDIO DE VIDA DEL EQUIPO DE FIBRA OPTICA ES EL MISMO.
- LAS TARJETAS DE CIRCUITOS ELECTRONICOS PUEDEN SER REEMPLAZADAS CON FACILIDAD.
- COMO PUEDE OBSERVARSE LAS CARACTERISTICAS TECNICAS DEL EQUIPO DE FIBRA OPTICA SON IGUALES ENTRE SI PERO EXISTE UN FACTOR MUY IMPORTANTE QUE DETERMINA LA MARCA DEL EQUIPO QUE SE VA A UTILIZAR, Y ES QUE DE LAS CUATRO COMPAÑIAS FABRICANTES DE ESTE EQUIPO.

SOLO LA COMPAÑIA ERICSSON TIENE FABRICA DE ENSAMBLE DE COMPONENTES ELECTRONICOS EN MEXICO. EL EQUIPO DE LAS OTRAS TRES COMPAÑIAS FABRICANTES (CIT-ALCATEL, PHILLIPS, S.T.C.) SON IMPORTADAS DE SU PAIS DE ORIGEN.

POR LO TANTO DADA LA POLITICA QUE TIENE TELMEX RESPECTO A ADQUISICION DE EQUIPO QUE REUNA LAS CARACTERISTICAS TECNICAS NECESARIAS, QUE GENERE PUESTOS DE EMPLEO PARA LOS MEXICANOS, Y QUE GENERE DIVISAS PARA EL PAIS. ES POR ESTO QUE SE HA HECHO EL ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO CON EL EQUIPO MARCA ERICSSON YA QUE OFRECE LAS MAYORES VENTAJAS EN TODO LOS NIVELES Y PUEDE DECIRSE QUE ES LA MEJOR OPCION.

**V. DISEÑO DE ENLACE DE FIBRA ÓPTICA PARA LA RUTA
MS.-COR.**

- CALIDAD DESEADA EN LA TRANSMISIÓN (SNR O BER).

POR SUPUESTO, EXISTEN OTROS PARÁMETROS QUE DEBEN CONSIDERARSE EN EL DISEÑO FINAL TALES COMO EL COSTO, CONFIABILIDAD, TAMAÑO, PESO, MEDIO AMBIENTE Y ALIMENTACIÓN. SIN EMBARGO, LOS REQUERIMIENTOS QUE SE MENCIONAN INVOLUCRAN LAS LIMITANTES MÁS IMPORTANTES DEL SISTEMA Y DETERMINAN LA FACTIBILIDAD DE REALIZACIÓN DEL ENLACE DE COMUNICACIÓN.

LA UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DIGITAL O UNO ANALÓGICO DEPENDERÁ DE CUAL DE LAS DOS PRESENTE MAYOR VENTAJAS TANTO TÉCNICAS COMO ECONÓMICAS PARA UNA APLICACIÓN ESPECÍFICA, POR EJEMPLO: UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN QUE IMPLIQUE EL MANEJO DE UNA GRAN CANTIDAD DE CANALES DE VOZ CON UN MÍNIMO DE RUIDO E INTERFERENCIA FAVORECE EL USO DE TÉCNICAS DIGITALES DE TRANSMISIÓN TALES COMO EL PCM. SIN EMBARGO, SI LO QUE SE REQUIERE ES UN ENLACE DE VIDEO, UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN ANALÓGICO REPRESENTARÍA MENOS PROBLEMAS DE COMPLEJIDAD Y COSTO QUE UN SISTEMA DIGITAL.

LA CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN SE ESPECIFICA COMO ANCHO DE BANDA EN HERTZ CUANDO SE EMPLEA MODULACIÓN ANALÓGICA Y COMO VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN EN BITS/SEG., EN MODULACIÓN DIGITAL. DE LA MISMA MANERA, LOS TÉRMINOS EN QUE SE EXPRESA LA CALIDAD DE SEADA EN LA TRANSMISIÓN SON FUNCIÓN DEL SISTEMA QUE SE UTILICE. BÁSICAMENTE, EN SISTEMAS ANALÓGICOS SE TIENE LA RELACIÓN SEÑAL-RUIDO, Y EN SISTEMAS DIGITALES LA PROBABILIDAD DE ERROR;

LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO (SNR) ES LA RAZÓN DE LA AMPLITUD DE UNA SEÑAL DESEADA A LA AMPLITUD DE LAS SEÑALES DE RUIDO EN UN PUNTO DETERMINADO, SE EXPRESA EN DECIBELES Y GENERALMENTE SE USA EL VALOR PICO PARA EL RUIDO IMPULSIVO Y EL VALOR RMS PARA RUIDO-ELEATORIO.

LA PROBABILIDAD DE ERROR O TASA DE BITS ERRÓNEOS (BER), ESTÁ DA-

DA POR LA RAZON DE BITS IDENTIFICADOS INCORRECTAMENTE, AL NÚMERO TOTAL DE BITS TRANSMITIDOS. EN APLICACIONES DE FIBRA ÓPTICA, UN VALOR TÍPICO DE BER ES 10^{-9} .

LOS FACTORES DE DISTANCIA Y CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN SON ESENCIALES EN EL DISEÑO PORQUE DETERMINAN, PRÁCTICAMENTE, EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRAS ÓPTICAS QUE VAN A UTILIZARSE Y SI ES NECESARIO, ADEMÁS, EL USO DE REPETIDORES ÓPTICOS. ESTOS DOS FACTORES TIENEN QUE VER DIRECTAMENTE CON LAS DOS LIMITANTES DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR FIBRAS ÓPTICAS: LA ATENUACIÓN Y LA DISPERSIÓN.

EN LAS FIBRAS ÓPTICAS PUEDEN CONSIDERARSE LOS SIGUIENTES RANGOS DE DISTANCIAS:

- CORTA DISTANCIA ($l < 1$ Km.)
- MEDIA DISTANCIA (1 Km $< l < 30$ Km.)
- LARGA DISTANCIA ($l > 30$ Km.)

ATENDIENDO A CADA UNA DE ELLAS, PUEDE PROponERSE LA CALIDAD DE LA FIBRA, EL TIPO DE EMISOR Y FOTODETECTOR, ASÍ COMO LA SEPARACIÓN Y NÚMERO DE REPETIDORES QUE RESULTEN MÁS ADECUADOS.

CÁLCULOS PRINCIPALES.

LOS CÁLCULOS PRINCIPALES EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA ESTÁN RELACIONADOS A LAS DOS LIMITANTES MENCIONADAS, DE TAL FORMA QUE LOS VALORES PERMISIBLES DE ATENUACIÓN Y DISPERSIÓN PUEDAN CONOCERSE EN BASE A LOS REQUERIMIENTOS Y RESULTADOS DE DISEÑO PROPUESTOS.

ESENCIALMENTE, EL CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN SE REALIZA MEDIANTE LA SUMA DE LOS COMPONENTES SIGUIENTES:

- LA ATENUACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA A LA LONGITUD DE ONDA DE TRANSMISIÓN UTILIZADA.
- LAS PÉRDIDAS POR ACOPLAMIENTO, DE LA FUENTE DE EMISIÓN A LA FIBRA ÓPTICA Y DE LA FIBRA ÓPTICA AL FOTODETECTOR.
- LAS PÉRDIDAS EN LOS EMPALMES NECESARIOS PARA UNIR DOS SECCIONES DE FIBRA ÓPTICA.

EN BASE A LO ANTERIOR LA SEPARACIÓN MÁXIMA ENTRE EQUIPOS TERMINALES O ENTRE REPETIDORES L , CONSIDERANDO ÚNICAMENTE LA LIMITANTE DE ATENUACIÓN, PUEDE EXPRESARSE POR:

$$\alpha L + KAJ = 10 \log \left(\frac{P_T}{P_R} \right) \quad (5.1)$$

DONDE:

α ES LA ATENUACIÓN EN LA FIBRA (DB/KM),

AJ ES LA PÉRDIDA POR EMPALME PROMEDIO (DB),

P_T ES LA POTENCIA ACOPLADA A LA FIBRA ÓPTICA, (WATTS)

P_R ES LA POTENCIA MÍNIMA REQUERIDA EN EL RECEPTOR, (WATTS)

LA DISPERSIÓN, A SU VEZ, DEPENDE DE:

- LA LONGITUD DE ONDA DE TRANSMISIÓN.

- EL TIPO DE GRADUACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN, YA SEA PARABÓLICO O ESCALONADO.
- LA APERTURA NUMÉRICA.
- EL ANCHO ESPECTRAL DE LA FUENTE DE EMISIÓN.

LA DISPERSIÓN LLEGA A SER SIGNIFICATIVA CUANDO LA DISTORSIÓN POR RETARDO DEL PULSO TRANSMITIDO, LLEGA A SER LO SUFICIENTEMENTE GRANDE COMO EL INTERVALO ENTRE BITS. EVENTUALMENTE, DESPUÉS DE UN CIERTO LÍMITE, CUALQUIER INCREMENTO EN LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN CAUSA UNA DISMINUCIÓN EN EL ESPACIAMIENTO ENTRE REPETIDORES. ESTE LÍMITE DE DISPERSIÓN PUEDE SER ESTIMADO POR LA ECUACIÓN:

$$\sigma_{TOT} L = 0,25 T = \frac{1}{4f_0} \quad (5.2)$$

DONDE:

σ_{TOT} ES EL VALOR CUADRÁTICO MEDIO DE LA DISTORSIÓN POR RETARDO -- POR UNIDAD DE LONGITUD.

EN LA FÓRMULA ANTERIOR, SE HA SUPUESTO QUE LA DISPERSIÓN, AUMENTA LINEALMENTE CON LA LONGITUD DE LA FIBRA L. SIN EMBARGO, EL FENÓMENO DE ACOPLAMIENTO ENTRE MODOS, REDUCE EN ALGUNA EXTENSIÓN EL PROBLEMA DE DISPERSIÓN POR LO QUE LOS RESULTADOS PRÁCTICOS -- SON MEJORES QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS TEÓRICAMENTE.

DEBE CONSIDERARSE, ADEMÁS, LOS COMPONENTES DE ESTE ENSANCHAMIENTO, COMO SON EL ENSANCHAMIENTO DEBIDO A LA DISPERSIÓN MODAL Y EL ENSANCHAMIENTO CROMÁTICO OCASIONADO POR LA DISPERSIÓN DEL MATERIAL:

$$\sigma^2_{TOT} = \sigma^2_{MOD} = \sigma^2_{CROM} \quad (5.3)$$

A PARTIR DE LAS ECUACIONES (5.1) Y (5.2) PUEDE ESTIMARSE LA FRECUENCIA LÍMITE DE MODULACIÓN (FLIM), MÁS ALLA DE LA CUAL, EL ENLACE DE LA FIBRA ESTÁ LIMITADO POR DISPERSIÓN.

$$f_0 > f_{LIM} = \frac{\alpha}{4\sigma_{TOT}} \left(\frac{1}{10 \log \frac{P_T}{P_R} - K_A} \right) \quad (5.4)$$

RESULTADOS DE DISEÑO.

LOS RESULTADOS DE DISEÑO SON CONDICIONADOS POR LOS REQUERIMIENTOS DE TELMEX Y LOS CÁLCULOS PRINCIPALES. ÉSTOS RESULTADOS DE SALIDA DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN:

- SUBSISTEMA TRANSMISOR.
- CABLE ÓPTICO.
- SUBSISTEMA RECEPTOR.

PARA EL SUBSISTEMA TRANSMISOR DEBEN CONSIDERARSE:

- LA LONGITUD DE TRANSMISIÓN.
- LA POTENCIA DE LA FUENTE.
- EL ANCHO ESPECTRAL DE LA FUENTE, LO QUE DETERMINARÁ SI SE UTILIZA UN DIODO EMISOR DE LUZ (LED) O UN DIODO LASER DE INYECCIÓN (ILD).

PARA LA FIBRA ÓPTICA:

- LA ATENUACIÓN ESPECTRAL.
- EL PERFIL DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN (GRADUAL O ESCALONADO).

Y FINALMENTE PARA EL SUBSISTEMA RECEPTOR:

- LA SENSITIVIDAD.

EL TÉRMINO SENSITIVIDAD SE REFIERE A LA POTENCIA ÓPTICA MÍNIMA A LA ENTRADA DEL RECEPTOR REQUERIDA PARA LOGRAR LA RELACIÓN SEÑAL-A RUIDO O LA PROBABILIDAD DE ERROR DESEADA. DE ESTE FACTOR, DEPENDERÁ EL TIPO DE FOTODETECTOR QUE SERÁ UTILIZADO; YA SEA FOTODIODO PIN O FOTODIODO AVALANCHA APD.

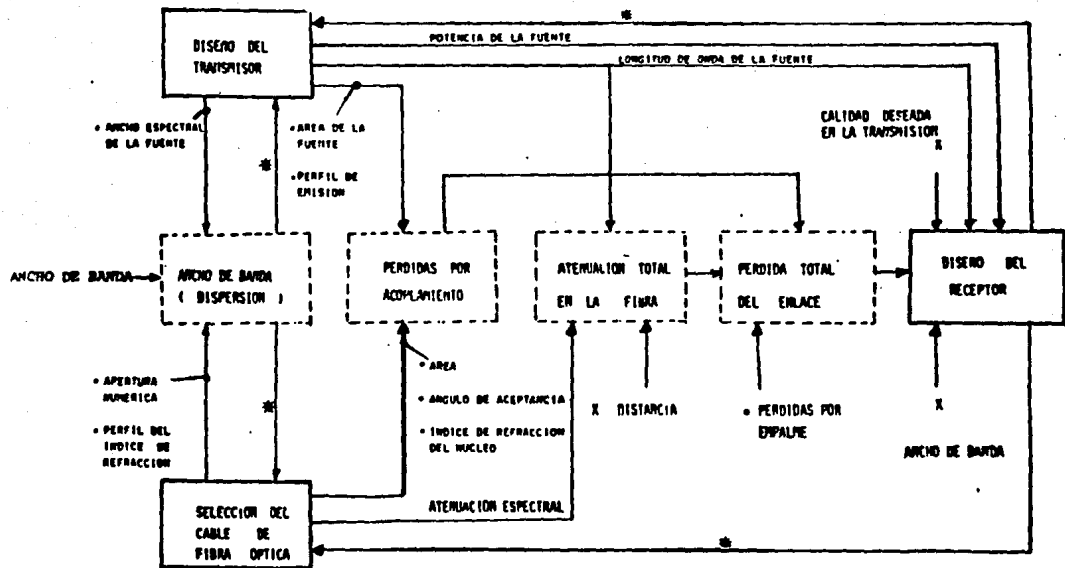
INTERRELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS PRINCIPALES.

EN LA FIGURA (5.1), SE MUESTRA LA INTERRELACIÓN EXISTENTE ENTRE-LOS PARÁMETROS ANTERIORMENTE DESCRITOS CON EL FIN DE MOSTRAR LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PROCESO DE DISEÑO DE UN ENLACE-ÓPTICO DE COMUNICACIÓN.

POR EJEMPLO, SI TOMAMOS COMO BASE EL DISEÑO EN EL RECEPTOR VEMOS QUE ÉSTE SE VE INFLUIDO POR:

- LA POTENCIA ÓPTICA DISPONIBLE.
- LA LONGITUD DE ONDA.
- EL ANCHO DE BANDA DE LA INFORMACIÓN.

LUEGO, LA POTENCIA ÓPTICA RECIBIDA SE DETERMINA POR:



X REQUEMIENTOS DE DISEÑO. [] CÁLCULO PRINCIPAL DE DISEÑO

* DECISIÓN DE DISEÑO QUE MODIFICA AL ELEMENTO INDICADO

FIGURA (5.1).- ELEMENTOS PRINCIPALES EN EL PROCESO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA OPTICA.

- LA POTENCIA ÓPTICA DE LA FUENTE.

- LAS PÉRDIDAS TOTALES DEL ENLACE.

• LAS PÉRDIDAS TOTALES DEL ENLACE SE DIVIDEN EN:

- PÉRDIDAS POR ACOPLAMIENTO.

- PÉRDIDAS EN LA TRANSMISIÓN.

POR OTRO LADO, LAS PÉRDIDAS POR ACOPLAMIENTO ESTÁN DADAS POR:

- CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE

- ÁREA DE RADIACIÓN EFECTIVA.

- PERFIL DE EMISIÓN.

-CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA

- APERTURA NUMÉRICA.

- ÁREA DE RADIACIÓN EFECTIVA.

- ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL NÚCLEO.

Y LAS PÉRDIDAS EN LA TRANSMISIÓN ESTÁN DETERMINADAS POR:

- CARACTERÍSTICAS DE ATENUACIÓN ESPECTRAL DE LAS FIBRAS.

- LONGITUD DE ONDA.

- PÉRDIDAS POR EMPALME

- DISTANCIA ENTRE LA FUENTE Y EL DETECTOR.

DE LO ANTERIOR SE DESPRENDE QUE, EL PROCESO DE DISEÑO DE UN ENLA

CE DE COMUNICACIÓN POR FIBRAS ÓPTICAS ES UN PROBLEMA QUE INVOLUCRA MUCHAS VARIABLES Y QUE PUEDE LLEVAR VARIOS ENSAYOS ANTES DE COMPLETARSE, YA QUE LA SELECCIÓN DE LOS OTROS DOS. GENERALMENTE ES NECESARIO SUPONER LAS CARACTERÍSTICAS DE CIERTOS ELEMENTOS -- DEL SISTEMA Y ENTONCES PROCEDER DE MANERA SISTEMÁTICA A INTERRELACIONAR Y REDEFINIR LOS ELEMENTOS RESTANTES.

EN LOS PUNTOS SIGUIENTES SE PROPORCIONAN LOS DIAGRAMAS DE FLUJO QUE DESCRIBEN UN MÉTODO DE DISEÑO PARA LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA ASÍ COMO UN BREVE ANÁLISIS EN CADA CASO.

5.2 PROCESO DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DEL TRANSMISOR ÓPTICO.

EN LA FIGURA 5.2 SE MUESTRA UN DIAGRAMA DE FLUJO QUE MUESTRA EL PROCESO DE DISEÑO EN EL SUBSISTEMA TRANSMISOR. EL DISEÑO COMIENZA CON LOS REQUISITOS PROPUESTOS POR TELMEX. CUALQUIER LIMITANTE DE CONFIABILIDAD, DE POTENCIA O DE MEDIO AMBIENTE QUE PUDIERA AFECTAR LA SELECCIÓN DEL COMPONENTE Y DE ESTA MANERA LA CALIDAD EN LA TRANSMISIÓN, DEBE TOMARSE EN CUENTA Y PERMITIR QUE INFLUYA EN LA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA Y DECISIONES DEL TIPO DE COMPONENTES.

LA LONGITUD DE ONDA DE TRANSMISIÓN Y LOS REQUISITOS DE ANCHURA ESPECTRAL SON FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA ELEGIDA. SE HA SUPUESTO QUE ESTOS PARÁMETROS HAN SIDO YA INVESTIGADOS Y ESPECIFICADOS COMO UN RESULTADO DEL ESFUERZO DEL DISEÑO DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN.

LA POTENCIA ÓPTICA DE SALIDA ACOPLADA SE CALCULA A PARTIR DEL NIVEL DE SEÑAL MÍNIMA REQUERIDA EN EL EXTREMO TERMINAL DEL SISTEMA Y LA PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA, INCLUYENDO LAS PÉRDIDAS POR ACOPLAMIENTO EN LA SALIDA Y EMPALMES. ESTA FIGURA DE POTENCIA ACOPLADA SE OBTIENE DESPUÉS DE LAS PÉRDIDAS POR ACOPLAMIENTO EN LA ENTRADA Y DE ESTA MANERA AFECTA LA SELECCIÓN DE

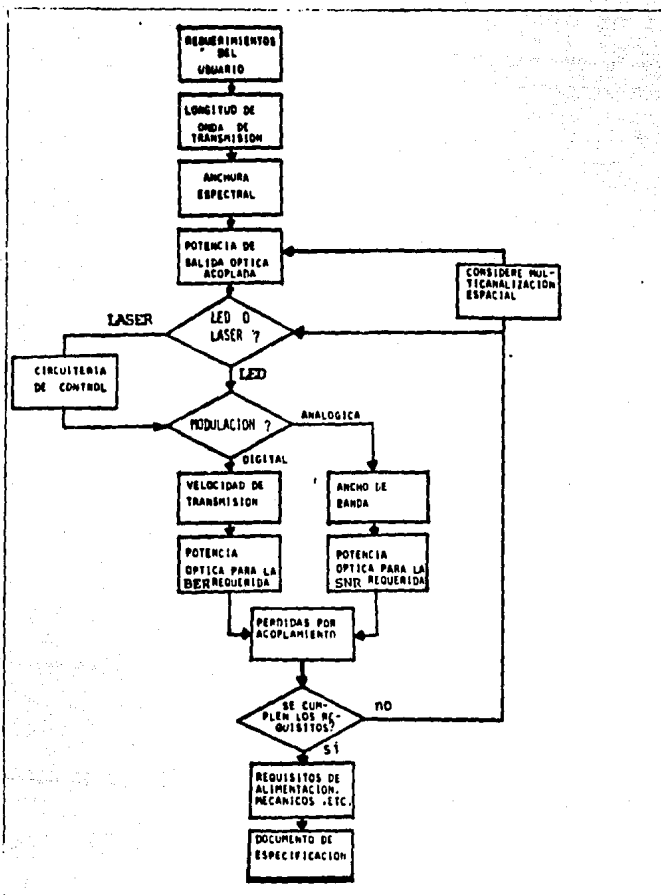


FIGURA (5.2).- DIAGRAMA DE FLUJO QUE MUESTRA EL PROCESO DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DEL TRANSMISOR ÓPTICO.

LA FUENTE DE ACUERDO CON SUS CARACTERÍSTICAS DE EMISIÓN.

DE MANERA GENERAL, PODEMOS DECIR QUE UN DIODO LED SE UTILIZA -- CUANDO SE REQUIEREN PRODUCTOS ANCHOS DE BANDA DISTANCIA BAJOS Y UN DIODO LASER CUANDO SE NECESITAN VALORES ALTOS DE ESTA ESPECIFICACIÓN. COMO PUEDE NOTARSE, EL PRODUCTO ANCHO DE BANDA - DISTANCIA (O VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN - DISTANCIA), RELACIONA LA CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA CON LA DISTANCIA Y -- TIENE SU ORIGEN EN LA LIMITANTE DE DISPERSIÓN.

POR EJEMPLO, PARA UN SISTEMA DIGITAL Y BASÁNDOSE EN LA TECNOLOGÍA ACTUAL DE LONGITUD DE ONDA DE TRANSMISIÓN DE $0.85 \mu\text{m}$, UN VALOR TÍPICO DE PRODUCTO VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN - DISTANCIA PARA UN LED ES DE 140 MbITS / Km , MIENTRAS QUE PARA UN DIODO LASER, - ESTE PRODUCTO ES DE 2500 MbITS / Km, DEBIDO PRINCIPALMENTE A SU REDUCIDO ANCHO ESPECTRAL.

LAS CARACTERÍSTICAS DE ACOPLAMIENTO PARA UN DIODO LED Y UN DIODO LASER SON TAMBIÉN MUY DISTINTAS: PARA UN LED, LAS PÉRDIDAS POR ACOPLAMIENTO FUENTE-FIBRA SON DEL ORDEN DE 16 dB, EN CAMBIO PARA DIODO LASER SOLAMENTE 3 dB. SIN EMBARGO, EL LASER, AL SER UN -- DISPOSITIVO CUYO FUNCIONAMIENTO ESTÁ DETERMINADO POR UN UMBRAL - QUE DEPENDE DE LA TEMPERATURA, REQUIERE DE CIRCUITOS DE CONTROL QUE LO HACEN MÁS COSTOSO EN COMPARACIÓN CON EL LED.

EN EL CASO DE MODULACIÓN ANALÓGICA, LA SALIDA DE POTENCIA ÓPTICA SE ESPECIFICA PARA LOGRAR UNA DETERMINADA CALIDAD DE TRANSMISIÓN EN TÉRMINOS DE LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO EN EL ANCHO DE BANDA -- QUE VA A UTILIZARSE. PARA SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL, ADE-- MÁS DE LA POTENCIA ÓPTICA, DEBEN ESPECIFICARSE LOS TIEMPOS DE -- ELEVACIÓN Y DESCENSO DE GENERACIÓN DEL PULSO ÓPTICO EN EL DIODO - EMISOR, PARA CONOCER SI ES COMPATIBLE EL DISPOSITIVO CON LOS REQUISITOS DE DISEÑO. DE NO SER ASÍ PUEDE RECONSIDERARSE EL FORMA TO DE LA SEÑAL DIGITAL (MANCHESTER, RZ, NRZ), Y CAMBIAR LA SELEC

CIÓN DE LA FUENTE O CONSIDERAR MULTICANALIZACIÓN EN EL ESPACIO, ES DECIR, UN MAYOR NÚMERO DE FIBRAS ÓPTICAS PARA TRANSMITIR LA CANTIDAD DE INFORMACIÓN REQUERIDA, PARA REDUCIR LA VELOCIDAD DEL CANAL.

FINALMENTE, UNA VEZ QUE LA FUENTE ES COMPATIBLE CON LOS REQUISITOS DE TELMEX, EL DISEÑO SE COMPLETA ESPECIFICANDO LAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL, ALIMENTACIÓN Y LIMITANTES MECÁNICAS.

5.3 PROCESO DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA.

EN LA FIGURA (5.3), SE MUESTRA UN DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA SELECCIÓN DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA. COMO PUEDE OBSERVARSE, EL PROCESO COMIENZA CON UN COMPLETO ENTENDIMIENTO DE LOS REQUISITOS BÁSICOS DE TELMEX, INCLUYENDO LA DISTANCIA ENTRE LA FUENTE Y EL DETECTOR Y EL ANCHO DE BANDA DE LA INFORMACIÓN. BASADO EN LO ANTERIOR, EL DISEÑADOR SUPONE LA CONFIGURACIÓN DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA, QUE INCLUYE:

- NÚMERO DE FIBRAS.
- APERTURA NUMÉRICA.
- PERFIL DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN.
- LONGITUD MÁXIMA DISPONIBLE.
- ATENUACIÓN EN LA LONGITUD DE ONDA DE INTERÉS.

EL SIGUIENTE PASO ES ENTONCES, CALCULAR LA PÉRDIDA TOTAL DEL ENLACE, INCLUYENDO TANTO PÉRDIDAS DE ATENUACIÓN EN LA FIBRA COMO -

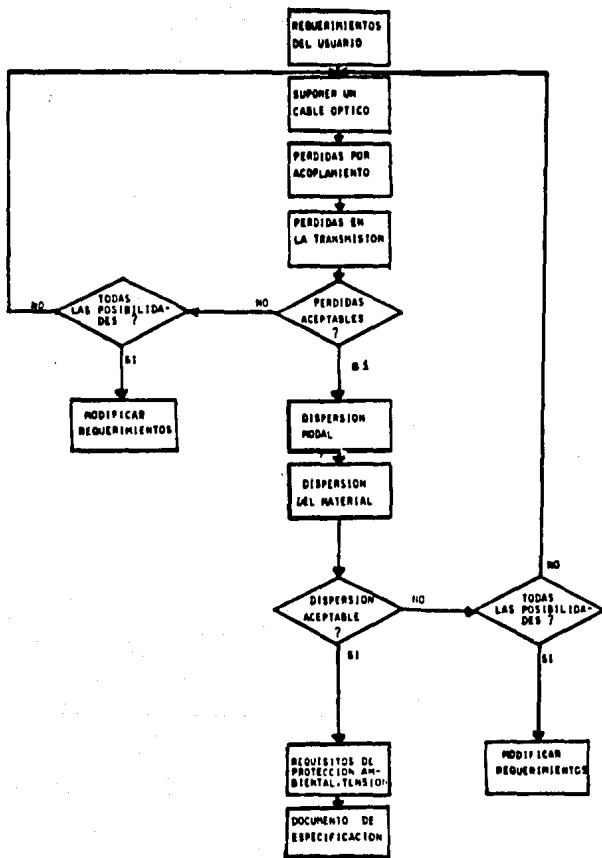


FIGURA (5.3).- DIAGRAMA DE FLUJO QUE MUESTRA EL PROCESO DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA.

PÉRDIDAS POR ACOPLAMIENTO.

LAS PÉRDIDAS POR ACOPLAMIENTO ESTÁN DETERMINADAS POR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE (ÁREA Y PERFIL DE EMISIÓN) ASÍ COMO, LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA (APERTURA NUMÉRICA, ÁREA E ÍNDICE DE REFRACCIÓN) Y POR REFLEXIONES FRESNEL.

LAS PÉRDIDAS POR ACOPLAMIENTO DE SALIDA DEPENDEN DE: EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE LA FIBRA, EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL MEDIO ENTRE LA FIBRA Y EL DETECTOR, DEL CAMPO DE VISIÓN QUE OCUPA EL DETECTOR CON RESPECTO A LA FIBRA ÓPTICA Y DE LAS REFLEXIONES FRESNEL.

LAS PÉRDIDAS DE TRANSMISIÓN PUEDEN CALCULARSE EN BASE A LA DISTANCIA CONOCIDA Y A LA ATENUACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA ÓPTICA DE INTERÉS. SIN EMBARGO, EN SUMA, DEBIDO A QUE LAS FIBRAS DISPONIBLES SE SUMISTRAN GENERALMENTE EN LONGITUDES ESTÁNDAR MENORES A LA DISTANCIA REQUERIDA, ES NECESARIO EMPALMAR VARIOS SEGMENTOS. POR LO TANTO, LA ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE TRANSMISIÓN DEBEN INCLUIR TAMBIÉN, LAS PÉRDIDAS EN LOS EMPALMES.

DE LA MANERA DESCRITA EN LAS DISCUSIONES PROCEDENTES, EL DISEÑADOR CONTINUA ENSAYANDO, EN LOS CÁLCULOS DE LA PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN Y EN LA SELECCIÓN DE LA FIBRA HASTA QUE SE PUEDA ENCONTRAR UN CABLE CON UNA PÉRDIDA ACEPTABLE.

SUPONIENDO QUE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA SATISFACE YA LOS REQUISITOS DE ATENUACIÓN, SE PROCEDE A DETERMINAR SI LAS CARACTERÍSTICAS DE DISPERSIÓN MODAL Y DEL MATERIAL SON ADECUADAS PARA EL ANCHO DE BANDA REQUERIDO DE LA INFORMACIÓN. LA DISPERSIÓN DEL MATERIAL SE DETERMINA POR EL ANCHO ESPECTRAL DE LA FUENTE, ASÍ COMO, POR LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE NÚCLEO DE LA FIBRA. LA DISPERSIÓN MODAL SE DETERMINA, BÁSICAMENTE POR LA APERTURA NUMÉRICA DE LA FIBRA DE VIDRIO Y EL PERFIL DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN.

SIN EMBARGO, LA EXPERIENCIA HA DEMOSTRADO QUE EL ANCHO DE BANDA REAL DE LAS FIBRAS ÓPTICAS ES MEJOR QUE EL PREDICHO POR LA TEORÍA. DE AQUÍ, QUE PARA UN DISEÑO REAL, DEBE CONSULTARSE AL FABRICANTE PARA OBTENER DATOS MÁS PRECISOS.

DESPUÉS DE LAS PROPIEDADES DE LA ATENUACIÓN Y DISPERSIÓN SON SATISFACTORIAS, DEBE CONSIDERARSE CUIDADOSAMENTE EL MEDIO AMBIENTE Y LOS ESFUERZOS MECÁNICOS DE TENSIÓN BAJO LOS CUALES OPERARÁ LA FIBRA ÓPTICA, PARA QUE DE ESTA MANERA SE ESPECIFIQUE EL DISEÑO DEL CABLE QUE OFREZCA PROTECCIÓN Y REFORZAMIENTO ADECUADOS, YA QUE LOS ESFUERZOS DE TENSIÓN Y EN PARTICULAR AQUELLOS QUE CAUSAN DISTORSIONES EN EL EJE DE LA FIBRA (CURVATURAS Y MICROCURVATURAS) PUEDEN TENER UN EFECTO SIGNIFICATIVO SOBRE LAS PROPIEDADES DE ATENACIÓN EN LA FIBRA.

POR ÚLTIMO Y TOMANDO EN CUENTA LAS CONSIDERACIONES ANTERIORES SE ESCRIBE EL DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN PARA EL CABLE ÓPTICO.

5.4 PROCESO DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DEL RECEPTOR ÓPTICO.

EN LA FIGURA (5.4), SE MUESTRA UN DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROCESO DE DISEÑO EN EL SUBSISTEMA RECEPTOR. PRIMERAMENTE, EL USUARIO DEFINE EL TIPO DE INFORMACIÓN QUE VA A MANEJARSE, YA SEA ANALÓGICA O DIGITAL. EN EL CASO ANALÓGICO, TELMEX DEBE ESPECIFICAR EL ANCHO DE BANDA DE LA INFORMACIÓN Y LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO QUE VA A REQUERIRSE. EN EL CASO DIGITAL, TELMEX ESPECIFICA LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN Y LA TASA DE ERROR ESPERADA EN EL SISTEMA. DEBEN CONSIDERARSE TAMBIÉN, LAS CONDICIONES AMBIENTALES QUE PUEDEN AFECTAR LA ELECCIÓN DEL COMPONENTE Y DE ESTA MANERA, LA CALIDAD EN LA TRANSMISIÓN DEL SISTEMA.

SI SE REQUIERE UN SISTEMA DIGITAL, DEBE CONSIDERARSE EL FORMATO

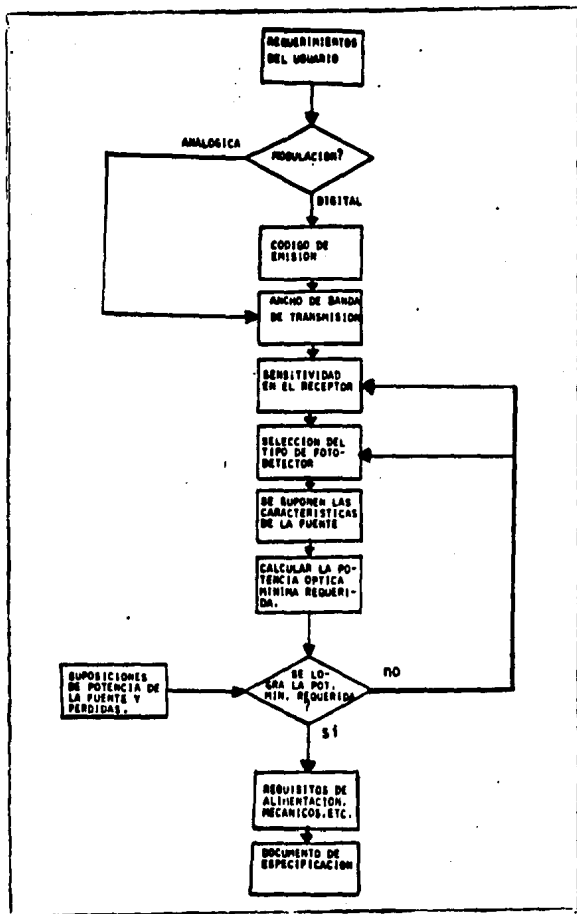


FIGURA (5.4).- DIAGRAMA DE FLUJO QUE MUESTRA EL PROCESO DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DEL RECEPTOR ÓPTICO.

DE LA SEÑAL Y EL CÓDIGO DE EMISIÓN PARA CALCULAR EL ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL Y EL CÓDIGO DE EMISIÓN PARA CALCULAR EL ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL EN EL RECEPTOR. EL FORMATO DE LA SEÑAL SE REFIERE A LOS DIFERENTES ESQUEMAS DE CODIFICACIÓN TALES COMO EL -- MANCHESTER, NRZ Y RZ.

LA SENSITIVIDAD DEL RECEPTOR ES UNO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO -- MÁS IMPORTANTES EN EL RECEPTOR ÓPTICO Y COMO SE MENCIONÓ, SE REFIERE A LA POTENCIA ÓPTICA MÍNIMA REQUERIDA A LA ENTRADA DEL RECEPTOR PARA LOGRAR UNA DETERMINADA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO EN SISTEMAS ANALÓGICOS Y UNA DETERMINADA PROBABILIDAD DE ERROR EN SISTEMAS DIGITALES.

POR EJEMPLO, LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO EN UN RECEPTOR ÓPTICO ANALÓGICO ESTÁ EN FUNCIÓN DE LA INTENSIDAD DE LA SEÑAL ELÉCTRICA A LA SALIDA DEL RECEPTOR Y DE LA INTENSIDAD DE LAS SEÑALES DE RUIDO LAS CUALES SE PUEDEN DIVIDIR, BÁSICAMENTE, EN DOS COMPONENTES:

- RUIDO TÉRMICO.
- RUIDO CUÁNTICO.

ADEMÁS, LA INTENSIDAD DE LA SEÑAL ELÉCTRICA DE SALIDA DEPENDE DE LA POTENCIA DE LA SEÑAL ÓPTICA INCIDENTE. DE TAL MANERA QUE, SI CONOCEMOS LAS FUENTES DE RUIDO PODEMOS ENTONCES DETERMINAR LA -- SENSITIVIDAD DEL RECEPTOR.

ES CONVENIENTE RECORDAR ALGUNAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS -- RECEPTORES ÓPTICOS. PRIMERO, EXISTEN DOS TIPOS DE FOTODETECTORES:

- FOTODIODO PIN (SEMICONDUCTOR P, INTRÍNSECO Y TIPO N).
- FOTODIODO DE AVALANCHA APD (AVALANCHA PHOTO-DIODE).

EL FOTODIODO PIN POSEE GANANCIA UNITARIA, ES DECIR, POR CADA FOTÓN SE GENERA UN ELECTRÓN, EN CAMBIO, EL FOTODIODO DE AVALANCHA - PUEDE GENERAR HASTA 100 ELECTRONES POR CADA FOTÓN INCIDENTE, SIN EMBARGO, ESTO ÚLTIMO REPRESENTA PROBLEMAS DE RUIDO POR VARIACIONES ESTADÍSTICAS SOBRE EL NIVEL MEDIO DE SU GANANCIA $\langle M \rangle$, LA CUAL ES UNA VARIABLE ALEATORIA.

ESENCIALMENTE, LA SELECCIÓN DEL TIPO DE FOTODIODO ES UN PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN. POR OTRO LADO, EN EL RECEPTOR ÓPTICO EXISTE LA ALTERNATIVA DE EMPLEAR AMPLIFICADORES FET O BIPOLARES QUE REPRESENTAN NUEVAMENTE UN COMPROMISO DE USO, DEPENDIENDO DE LAS FUENTES DE RUIDO QUE APARECEN EN ESTOS DISPOSITIVOS PARA DIFERENTES RANGO DE FRECUENCIA.

EN RECEPTORES ÓPTICOS DIGITALES LA SENSIBILIDAD ESTÁ TAMBIÉN EN FUNCIÓN DE LAS FUENTES DE RUIDO CUÁNTICO Y TÉRMICO DEL RECEPTOR, PERO ADEMÁS DE LO QUE SE CONOCE COMO INTERFERENCIA ENTRE SÍMBOLOS. ESTE EFECTO CONSISTE EN EL TRANSLAPAMIENTO ENTRE PULSOS VE CINOS DE LA SEÑAL ÓPTICA DIGITAL A LO LARGO DE SU RECORRIDO EN LA FIBRA ÓPTICA.

ESTE FENÓMENO DE INTERFERENCIA ENTRE SÍMBOLOS ES FUNCIÓN DE LA SEÑAL ÓPTICA INCIDENTE Y DE LA RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL RECEPTOR. ESTO ÚLTIMO SUGIERE QUE PUEDE SER CONTROLADO PARCIALMENTE POR EL DISEÑO ADECUADO DE CIRCUITOS DE FILTRO.

CUANDO AUMENTA LA DISTANCIA DE TRANSMISIÓN EN EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN ÓPTICO SE REQUIERE EL USO DE REPETIDORES PARA REGENERAR LA SEÑAL A INTERVALOS DETERMINADOS. ESTE PROCESO DE REGENERACIÓN SE LLEVA A CABO EN TRES PASOS, EN EL CASO DE UN REPETIDOR ÓPTICO DIGITAL:

- AMPLIFICACIÓN E IGUALACIÓN DE LA FORMA DE ONDA DEL PULSO.

- RECUPERACIÓN DE LA SEÑAL DE SINCRONISMO DEL TREN DE PULSOS.
- DETECCIÓN SÍNCRONA Y RETRANSMISIÓN DE LOS PLANOS.

PARA UN REPETIDOR ÓPTICO ANALÓGICO BASTARÍAN ÚNICAMENTE EL PRIMERO PASO Y LA RETRANSMISIÓN DE LOS PULSOS.

ES MUY IMPORTANTE HACER NOTAR QUE LA SEPARACIÓN MÁXIMA ENTRE REPETIDORES DEPENDE DE LA SENSITIVIDAD DEL RECEPTOR ÓPTICO QUE CONTIENEN, DE MANERA QUE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA UN REPETIDOR ÓPTICO ES LA MISMA QUE LA DE UN RECEPTOR ÓPTICO Y LA DE UN TRANSMISOR ÓPTICO CONJUNTAMENTE.

CUANDO SE HA LOGRADO LA SEÑAL MÍNIMA REQUERIDA SE TOMA EN CUENTA, TAMBIÉN LAS CONDICIONES AMBIENTALES (TEMPERATURA, VIBRACIÓN, CHOQUE, RADIACIÓN Y HUMEDAD), CONSUMO DE POTENCIA Y ACOPLAMIENTO MECÁNICO, PARA ESCRIBIR EL DOCUMENTO DE ESPECIFICACIONES DEL RECEPTOR.

CALCULOS

A CONTINUACIÓN SE PRESENTAN ALGUNOS EJEMPLOS REPRESENTATIVOS DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA.

- 1.- TENEMOS QUE LAS PÉRDIDAS DE TRANSMISIÓN PERMISIBLES EN UN ENLACE ÓPTICO SON 50 dB, LA ATENUACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA ES DE 5 dB/KM, EL FABRICANTE PROPORCIONA SECCIONES DE 1KM Y -- LAS PÉRDIDAS PROMEDIO EN CADA EMPALME ES 0,5 dB, ¿CUÁL ES LA DISTANCIA MÁXIMA ENTRE REPETIDORES, CUANDO NO ES SIGNIFICATIVA LA LIMITANTE POR DISPERSIÓN?

SOLUCIÓN:

$$\alpha L + KAJ = 10 \text{ LOG } \left(\frac{P_T}{P_R} \right)$$

$$\alpha = 5 \text{ dB/KM}$$

$$L = ?$$

$$K = ?$$

$$AJ = 0.5 \text{ dB}$$

$$K = \text{NÚMERO DE EMPALMES} = \frac{L}{L_0}$$

$$\text{LOG } \left(\frac{P_T}{P_R} \right) = 50 \text{ dB.}$$

$$\alpha L + \frac{L}{L_0} AJ = 10 \text{ LOG } \left(\frac{P_T}{P_R} \right)$$

$$L \alpha + \left(\frac{1}{L_0} \right) AJ = 10 \text{ LOG } \left(\frac{P_T}{P_R} \right)$$

$$L = \frac{10 \text{ LOG } \left(\frac{P_T}{P_R} \right)}{\alpha + \frac{1}{L_0} AJ}$$

SUSTITUYENDO VALORES:

$$L = \frac{10 \times 50}{5 + \frac{1}{1} \times 0.5}$$

$$L = 9.09 \text{ KM.}$$

- 2.- UTILIZANDO UN DIODO LASER COMO FUENTE DE EMISIÓN (DISPERSIÓN CROMÁTICA O DEL MATERIAL DESPRECIABLE), UNA FIBRA DE ÍNDICE GRADUAL CON UNA DISPERSIÓN TOTAL DE $\sigma_{TOT} = 2 \text{ NS/KM}$, $\alpha = 11 \text{ DB/KM}$ Y UN RECEPTOR PARA EL CUAL $10 \log \frac{P_T}{P_R} = 50 \text{ DB}$.
¿ CUÁL ES EL LÍMITE DE DISPERSIÓN?. ¿ PARA UNA FUENTE LED CON $\sigma_{TOT} = 4 \text{ NS/KM}$ Y $\alpha = 5 \text{ DB/ KM}$ CUÁL ES EL LÍMITE DE DISPERSIÓN?.

SOLUCIÓN:

CASO 1. LASER.

DATOS:

$$\sigma_{TOT} = 2 \text{ NS/KM.}$$

$$\alpha = 11 \text{ DB/ KM.}$$

$$10 \log \frac{P_T}{P_R} = 50 \text{ DB.}$$

FLIM = ?

SUSTITUYENDO VALORES EN LA EXPRESIÓN (5.4) SE TIENE:

$$FLIM = \frac{\alpha}{4 \sigma_{TOT}} \cdot \frac{1}{10 \log \frac{P_T}{P_R}}$$

$$FLIM = \frac{11 \times 1}{4 \times 2 \times 10^{-9} \times 50}$$

$$FLIM = 27.5 \text{ MBD}$$

CASO 2. LASER

DATOS:

$$\sigma_{TOT} = 4 \text{ ns/Km.}$$

$$\alpha = 5 \text{ dB/Km.}$$

UTILIZANDO NUEVAMENTE (5.4):

$$FLIM = \frac{5 \times 1}{4 \times 4 \times 10^{-9} \times 50}$$

$$FLIM = 6.25 \text{ MBD.}$$

- 3.- CONSIDERESE LOS SIGUIENTES DATOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ÓPTICO, DETERMINE LA DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA ÓPTICA - (O "PRESUPUESTO") EN CADA UNA DE LOS COMPONENTES DEL ENLACE.

DATOS:

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN : 2.048 MBIT/SEG.

CÓDIGO DE LÍNEA: 3B 4B.

GUÍA DE ONDA: ÍNDICE GRADUAL, $\alpha = 5.0 \text{ dB/Km.}$

APERTURA NUMÉRICA: 0.18

LONGITUD DE FABRICACIÓN: $l_0 = 1.0 \text{ Km.}$

FUENTE: LED, $\lambda = .9 \mu\text{m}$, $P_1 = 3.91 \text{ dBm}$, $\sigma_{TOT} = 4 \text{ ns/Km.}$

SENSITIVIDAD DEL RECEPTOR: -71.42 dBm.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

SOLUCIÓN:

PARA DETERMINAR SI EL ENLACE ESTÁ LIMITADO POR ATENUACIÓN O POR DISPERSIÓN SE UTILIZA LA EXPRESIÓN (5.4).

$$FLIM = \frac{\infty \cdot 1}{4 \sigma_{TOT} \cdot 10 \log \frac{P_T}{P_R}}$$

SUSTITUYENDO VALORES:

$$FLIM = \frac{5.0}{4 \times 4 \times 10^{-9} \text{ ns/KM} \times 3.91 - (-71.42)} \cdot 1$$

$$FLIM = 4.14 \text{ MBd}$$

$$FO = 2.048 \times \frac{4}{3} = 2.731 \text{ MBd.}$$

• ESTE VALOR SE DEBE A CÓDIGO DE LÍNEA UTILIZADO, EL CUAL CAMBIA 3 BITS A 4 BITS.

COMO $FO < FLIM$, ENTONCES EL SISTEMA ESTÁ LIMITADO POR ATENUACIÓN.

LA DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA SE MUESTRA EN LA TABLA 5.1 Y SE HAN SUPUESTO ADEMÁS LOS SIGUIENTES DATOS:

PÉRDIDA DE ACOPLAMIENTO FUENTE-FIBRA = 18.13 dB.

PÉRDIDA DE EMPALME = 0.3 dB.

PÉRDIDA DE ACOPLAMIENTO FIBRA-DETECTOR = 0.5 dB.

MARGEN DE TOLERANCIA = 5 dB.

DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA DEL ENLACE DEL EJEMPLO 3.

TRANSMISOR:

DIODO EMISOR DE LUZ ($\lambda = 0.9 \mu\text{m}$) $P_1 = 3.91 \text{ dBm}$.

PÉRDIDA POR ACOPLAMIENTO HACIA LA FIBRA. $K_1 = 18.13 \text{ dB}$.

NIVEL DE ENTRADA A LA GUÍA DE ONDA

$$P'_1 = P_1 - K_1 = -14.22 \text{ dB.}$$

RECEPTOR:

SENSITIVIDAD DEL FOTODIODO DE AVALANCHE $P_2 = -71.42 \text{ dBm}$.

PÉRDIDA DE ACOPLAMIENTO DE LA GUÍA ONDA $K_2 = 0.5 \text{ dB}$.

NIVEL DE SALIDA DE LA GUÍA DE ONDA

$$P'_2 = P_2 + K_2 = -70.92 \text{ dBm.}$$

PÉRDIDA EN LA TRANSMISIÓN: $P'_1 - P'_2 = 56.70 \text{ dBm}$.

PÉRDIDAS EN LA GUÍA DE ONDA

$$\alpha = 5.0 \text{ dB/Km, } 9.8 \text{ Km} \quad L = 49.0 \text{ dB.}$$

PÉRDIDAS EN LOS EMPALMES.

AJ = 0.3 dB (9 EMPALMES)

AJK = 2.7 dB.

MARGEN DE TOLERANCIA

KR = 5.0 dB.

$$\alpha L + AJK + KR = 56.7 \text{ dB.}$$

DISTANCIA ENTRE REPETIDORES

L = 9.8 Km.

C O N C L U S I O N E S .

- C O N C L U S I O N E S -

LA TECNOLOGIA EN LAS TELECOMUNICACIONES HAN EVOLUCIONADO VELOZMENTE Y EN UN FUTURO PROPORCIONARAN UNA ENORME GAMA DE SERVICIOS, -- LOS CUALES DARAN SOLUCION A LAS NECESIDADES DE LA INDUSTRIA, EL COMERCIO Y A LOS ABOBADOS RESIDENCIALES EN GENERAL.

DENTRO DE LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES EXISTENTES, LA TELEFONIA TIENE UNA IMPORTANCIA RELEVANTE YA QUE ESTA ES LA MAS EMPLEADA POR SU RAPIDEZ Y BAJO COSTO.

EL SERVICIO TELEFONICO ACTUALMENTE EN NUESTRO PAIS, NO CUBRE LAS NECESIDADES REQUERIDAS PARA APOYAR AL DESARROJO, POR LO QUE SU MODERNIZACION ES INDISPENSABLE A FIN DE RESOLVER LA PROBLEMATICA EXISTENTE.

CONCIENTES DE ESTE PROBLEMA TELEFONOS DE MEXICO PLANEA ESTRATEGICAMENTE LA INTRODUCCION PROGRESIVA DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISION POR FIBRA OPTICA A SU RED DE ACUERDO A UN PLAN DE MODERNIZACION HACIA UNA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (R D S I).

EN LOS PAISES INDUSTRIALMENTE AVANZADOS (ESTADOS UNIDOS, INGLATERRA, ALEMANIA, JAPON Y FRANCIA) SE TIENE YA EN FUNCIONAMIENTO LA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (R D S I).

EN MEXICO SE TIENE PLANEADO LOGRAR PARA EL AÑO 2000 UNA DIGITALIZACION DE LA PLANTA TELEFONICA EN UN 70% MEDIANTE DOS ETAPAS.

1a. ETAPA.

LA DIGITALIZACION DEL EQUIPO DE CONMUTACION Y USO DE FIBRAS OPTICAS EN LA RED EXTERIOR.

2a. ETAPA.

SUSTITUCION PAULATINA DE LAS CENTRALES ANALOGICAS POR DIGITALES Y LA RED EXTERIOR.

EL OBJETIVO DE TENER UNA R D S I, ES PROPORCIONAR LOS SIGUIENTES SERVICIOS:

- TELEFONOS PUBLICOS CON LADA.
- TRANSMISION DE VIDEO (IMAGENES EN PANTALLA).
- FASCIMILES.
- TRANSMISION DE TELETEXTOS.
- TRANSMISION DE DATOS, ETCETERA.

SE HA PROPUESTO QUE LA INTRODUCCION DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISION POR FIBRA OPTICA EN LA RED DE TELMEX SE DARA EN TRES ETAPAS:

1a. ETAPA

SU APLICACION SERA EN LOS ENLACES PCM DE LA RED TRONCAL.

2a. ETAPA

SU APLICACION SERA EN LOS ENLACES DE ALTO TRAFICO DE LA RED DE -- LARGA DISTANCIA.

3a. ETAPA

A LARGO PLAZO Y CON EL OBJETO DE OFRECER SERVICIOS DE BANDA ANCHAS SU APLICACION SERA EN LAS LINEAS DE ABONADOS.

LA FIBRA OPTICA PRESENTA LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS.

- BAJA ATENUACION (PERMITE MAYOR ESPACIAMIENTO ENTRE REPETIDORES)
- GRAN ANCHO DE BANDA (PERMITE TRANSPORTAR SERVICIOS DE ALTA - VELOCIDAD).
- ES INMUNE A LA INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA, RADIO-FRECUENCIA Y PULSOS ELECTROMAGNETICOS.

- NO PUEDE SER CORTO CIRCUITADA.
- SOPORTA TEMPERATURAS RELATIVAMENTE ALTAS (1000° C)
- ES INMUNE A LA CORROSION.
- PEQUEÑO TAMAÑO, POCO PESO, POCO ESPACIO DE ALMACENAJE, SOPORTA GRANDES TENSIONES Y TIENE MUCHA FLEXIBILIDAD.
- POTENCIAL RESISTENCIA A LA RADIACION NUCLEAR.

EL ANTEPROYECTO AQUI PRESENTADO ES DE APLICACION REAL, YA QUE SE BASA EN INFORMACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA PLANTA TELEFONICA EN EL AREA METROPOLITANA, OPRECIENDO VENTAJAS LA IMPLANTACION DE FIBRAS OPTICAS CON RESPECTO A PARES FISICOS.

POR ULTIMO SE TIENE QUE ESTE TRABAJO PUEDE SERVIR COMO CONSULTA - TANTO POR ESTUDIANTES INTERESADOS EN LA TEORIA DE LAS FIBRAS OPTICAS, ASI COMO APOYO EN LA INVESTIGACION Y DISEÑO DE SISTEMAS DE - COMUNICACIONES DIGITALES.

BIBLIOGRAFIA.

- B I B L I O G R A F I A -

- MANUALES TECNICOS DE EQUIPO MULTIPLEX DE PRIMERO A CUARTO ORDEN Y EQUIPO OPTICO MARCA ERICSSON.
- TELECOMUNICACIONES VIA FIBRA OPTICA
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
- COTIZACION DE EQUIPO DE FIBRA OPTICA DE LAS COMPAÑIAS
T S P
ERICSSON
S T C
CIT - ALCATEL
- " COMUNICACIONES OPTICAS " SIEMENS.
- "FIBER OPTIC DESIGN AND APPLICATIONS " BAKER RESTON
- " OPTICAL FIBER COMMUNICATIONS " KEISER MC. GRAW - HILL.
- "CURSO DE FIBRAS OPTICAS" CECAP-TELMEX.
- REVISTA "VOCES DE TELEFONOS DE MEXICO"
NUMEROS 314 Y 318
- " CONQUISTAS DE LA HUMANIDAD "
BIBLIOTECA TEMATICA UTEHA
VOLUMEN II.
- VOLUMEN II : " CAMPOS Y ONDAS "
MARCELO ALONSO Y EDWARD J. PINN
FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO
- DOCUMENTO DE LA " 1a. REUNION CONJUNTA DE COMUNICACION SOBRE LA PROYECCION DE TELMEX ".
- "SISTEMAS DE COMUNICACION "
BRUCE A. CARLSON MC GRAW HILL.