

Fibras Ópticas



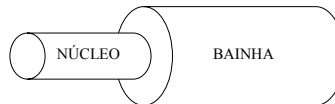
Utilização de Fibras Ópticas

Basicamente trata-se de transmitir informação ao longo de uma guia de onda em “vidro” através de um feixe luminoso.

O que é uma Fibra Óptica?

Trata-se de uma guia de onda em “vidro”, constituída por duas camadas sobrepostas:

- Núcleo (Camada interna)
- Bainha (Camada externa)



Fibras Ópticas



Os materiais constituintes apresentam índices de refração distintos:

Núcleo: n_1
Bainha: n_2

Normalmente

$$n_2 < n_1$$

Em que

$$n_i = \frac{c}{v_{p_i}} = \frac{\eta_i}{\eta_0}, \quad \eta_0 = 120\pi \Omega$$

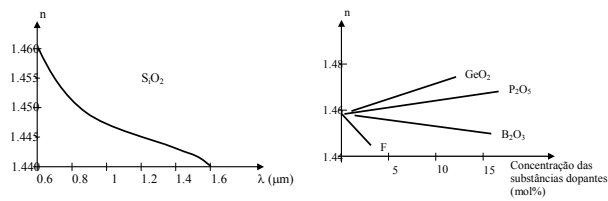
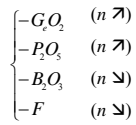
Os materiais constituintes da Bainha e do Núcleo são materiais dielétricos, de modo a aproveitar a baixa atenuação no seu seio.

Fibras Ópticas



Obtenção de um determinado Índice de Refracção

As fibras mais usuais são fabricadas utilizando SiO_2 e a variação (ou obtenção) de determinado índice é feito através da adição de substâncias dopantes:



Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE)

3

Fibras Ópticas



ALGUNS MEIOS	n
Ar	1.0
Água	1.33
Alcool Etílico	1.36
Quartzo	1.46
Vidro	1.5 a 1.9
Diamante	2.42

Tipos de Fibras

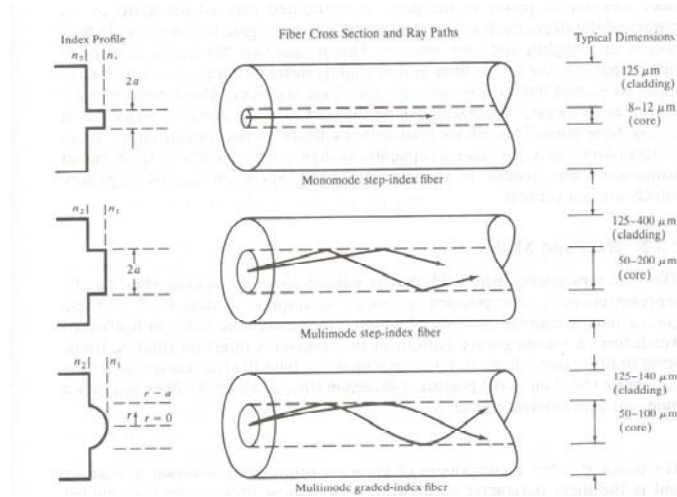
Multimodo com:
Degrau de Índice
Gradiente de Índice

Monomodo com:
Degrau de Índice

Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE)

4

Fibras Ópticas



Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE)

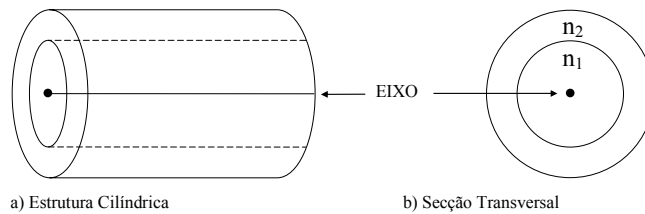
5

Fibras Ópticas



Propagação numa Fibra Óptica – Princípios

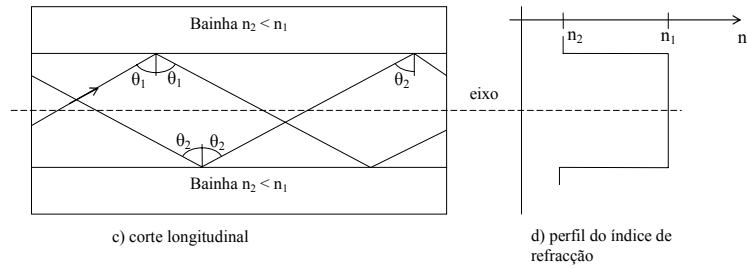
A propagação é feita no interior do núcleo, através de múltiplas reflexões na fronteira de separação entre o Núcleo e a Bainha:



Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE)

6

Fibras Ópticas



Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE)

7

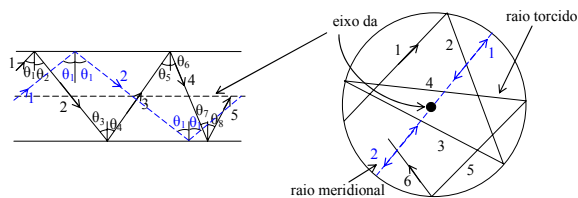
Fibras Ópticas



Tipos de Raios Luminosos

- Raios Meridionais (contidos no plano que contém o eixo da fibra)
- Raios Torcidos (todos os outros)

Vista Longitudinal / Vista de Frente
(só o Núcleo)



Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE)

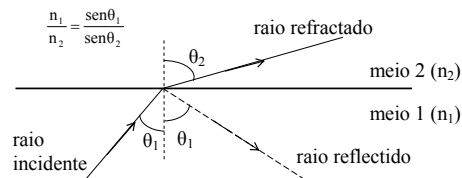
8

Fibras Ópticas



Princípios de Propagação numa Fibra Óptica – Perspectiva Geométrica

Lei de Snell



Ângulo Crítico

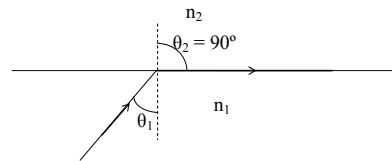
$$\theta_c = \theta_1 : \theta_2 = \pi/2$$

Fibras Ópticas



Este valor acontece para

$$\theta_c = \arcsen\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$



Há reflexão total se, $\theta_1 > \theta_c$.

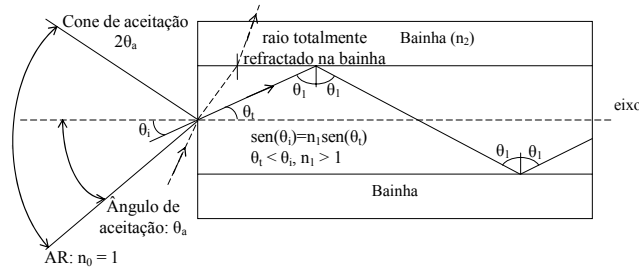
Há reflexão parcial se $\theta_1 < \theta_c$.

Fibras Ópticas



Abertura Numérica (AN)

θ_a define o ângulo de incidência limite para a penetração/radiação na/da fibra de raios luminosos.



Fibras Ópticas



Ângulo de aceitação:

$$\theta_a = \arcsen \left[\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} \right]_{(n_0=1)} = \arcsen \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

n_0 : Meio onde a fibra se encontra (normalmente é o ar).

Abertura Numérica

$$AN = n_0 \sen \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Fibras Ópticas



Diferença Relativa de Índices de Refracção(Δ):

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

$$\Delta \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (\text{se } \Delta \ll 1)$$

$$AN \approx n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (\text{se } \Delta \ll 1)$$

NA é extremamente útil, uma vez que serve para quantificar a maior ou menor capacidade de captar e transmitir luz.

Fibras Ópticas



Frequência Normalizada (V)

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad a = \text{raio do núcleo da fibra}$$

$$V \approx \frac{2\pi a}{\lambda} n_1 \sqrt{2\Delta}$$

A Frequência Normalizada serve para determinar os diferentes modos de propagação na fibra.

Fibras Ópticas



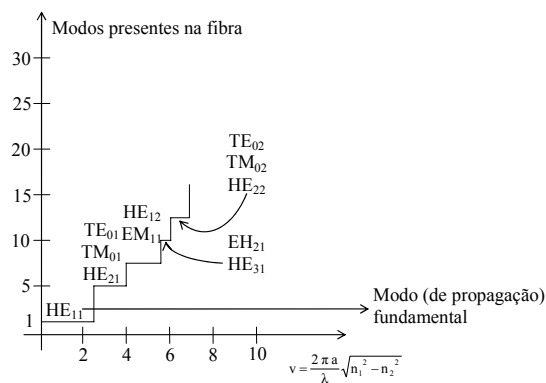
Tipos de Modos de Propagação do ponto de vista da Teoria da Propagação Electromagnética

MODOS	ABREVIATURA	CARACTERÍSTICAS
Transversal Electromagnético	TEM	\vec{E} e $\vec{H} \perp$ à direcção de propagação
Transversal Eléctrico	TE	$\vec{E} \perp$ à direcção de propagação
Transversal Magnético	TM	$\vec{H} \perp$ à direcção de propagação
Híbridos	HE ou EH	\vec{E} e \vec{H} com componentes axiais (∇ à direcção de propagação)

Fibras Ópticas



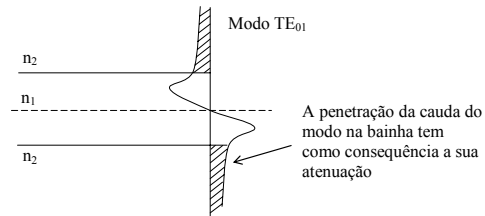
Modos presentes numa fibra Multimodo com Degrau de Índice



Fibras Ópticas



Modos TE



Fibras Ópticas



Degradação do sinal em Fibras Ópticas

1. Atenuação

O mecanismo de degradação mais importante a ter em conta numa ligação óptica, principalmente se as distâncias envolvidas forem significativas.

$$\alpha = \frac{10}{C} \log \left(\frac{P_{IN}}{P_{OUT}} \right) \text{ dB / Km}$$

[C]: Km

[P_{IN}] = [P_{OUT}]: W

α é o factor de atenuação

Fibras Ópticas



Exemplo:

Numa fibra óptica, $\alpha = 0.1 \text{ dB/Km}$. Qual a atenuação num comprimento de 30 Km ?

$$L = C \times \alpha = 30 \times 0.1 = 3 \text{ dB}$$

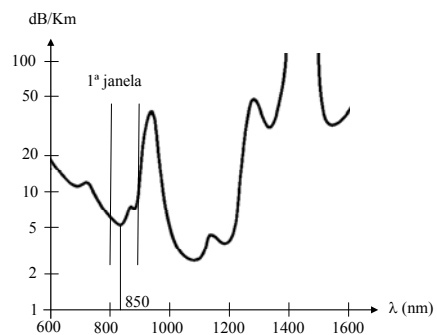
ou seja,

$$P_{OUT} = \frac{1}{2} P_{IN}$$

Fibras Ópticas



Curva Típica da Atenuação numa Fibra Óptica de 1ª geração com Conteúdo Elevado de OH



Fibras Ópticas



Perdas por Absorção

- Absorção devido a defeitos atômicos na composição do vidro (SiO_2): falta de moléculas, alta densidade assimétrica e defeitos em oxigênio.
- Absorção extrínseca do material: presença de impurezas no vidro (OH).
- Absorção intrínseca do material: determinada pela maior ou menor transparência do material constituinte – idealmente deveria ter-se SiO_2 em estado puro.

Perdas por Dispersão

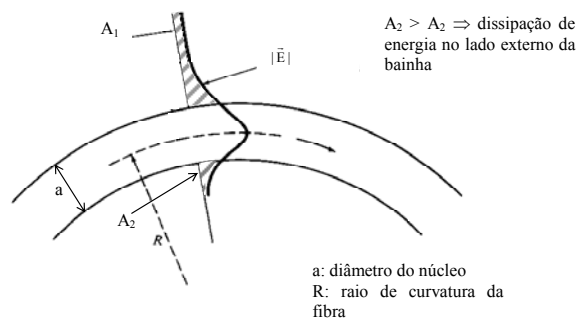
O aparecimento de variações microscópicas na concentração do material, favorece o surgimento de inhomogeneidades estruturais, provocando a dispersão localizada da luz nesses pontos.

Fibras Ópticas



Perdas nas Curvaturas da Fibra

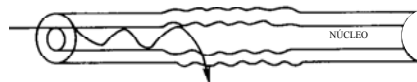
- Macro-Bending Losses (devido à curvatura macroscópica)



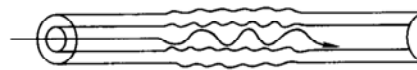
Fibras Ópticas



- Micro-Bending Losses (devido às curvaturas microscópicas quando se entrelaçam as fibras ópticas em cabos)



Atenuação de modos de ordem elevada



Acoplamento de energia de modos de ordem elevada

Fibras Ópticas



Perdas Core-Cladding

O núcleo e a bainha são fabricados com materiais distintos, logo os diferentes modos sofrem diferentes atenuações nos seus seios.

$$\alpha = \alpha_1 \frac{P_{CORE}}{P_{tot}} + \alpha_2 \frac{P_{CLAD}}{P_{tot}}$$

Simplificando,

$$\alpha(r) = \alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1) \frac{n^2(o) - n^2(r)}{n^2(o) - n_2^2}$$

Perda total para um determinado modo:

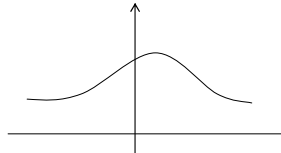
$$\alpha = \frac{\int_0^{+\infty} \alpha(r) \cdot p(r) \cdot r \, dr}{\int_0^{+\infty} p(r) \cdot r \, dr}$$

Fibras Ópticas



$p(r)$ é a Função Densidade de Probabilidade da distribuição de energia a partir do eixo da fibra.

Exemplo:



Fibras Ópticas



Distorção do Sinal

- Dispersão Intermodal

Presente em fibras multimodo.

Acoplamento de determinados modos noutros modos de propagação.

Provoca o alargamento dos impulsos ópticos, causando o aparecimento de interferência intersimbólica.

Muito severo se os lasers funcionarem num comprimento de onda que não é fixo, mas sim numa faixa, havendo vários modos em diferentes comprimentos de onda.

Fibras Ópticas



- Dispersão Intramodal

Presente em fibras monomodo.
Inerente ao único modo de propagação (carácter intra).

1. Dispersão Material

Devido a variações do índice de refração do núcleo com o comprimento de onda $n_I = n_I(\lambda)$, também designada por dispersão cromática (uma vez que $\lambda_{\text{VERDE}} \neq \lambda_{\text{AZUL}} \neq \lambda_{\text{VERMELHO}}$, por exemplo), ou seja, a velocidade de propagação depende de λ : $v_p = v_p(\lambda)$.

Muito severo em lasers pouco precisos que “saltitem” o comprimento de onda num intervalo definido não nulo.

Fibras Ópticas



2. Dispersão na Guia de Onda

Uma Fibra Óptica monomodo confina, tipicamente, 80% da luz no núcleo, contudo os restantes 20% na bainha são susceptíveis de se propagarem mais rápido, uma vez que $n_2 < n_1$, logo $v_2 > v_1$, havendo componentes que são recebidas mais rapidamente do que outras \Rightarrow Alargamento dos Impulsos Ópticos.

Fibras Ópticas



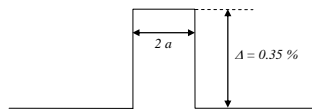
Maneiras de evitar a Dispersão Intra-Modal em Fibras Ópticas

Fabricar Fibras Ópticas com perfis otimizados refractivos no núcleo

Fibra otimizada para os 1330 nm

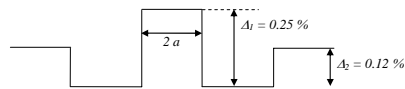
a) matched-cladding

$$a = 4.5 \mu m$$



b) depressed-cladding

$$a = 4.2 \mu m$$



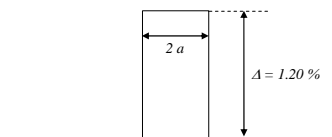
Fibras Ópticas



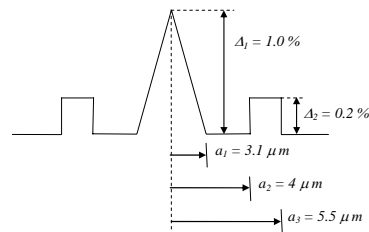
Fibra otimizada para os 1550 nm

a) step-index

$$a = 2.2 \mu m$$



b) triangular with angular ring



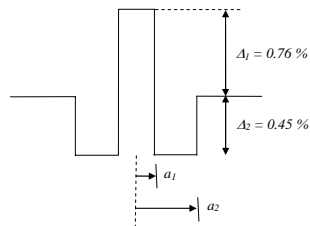
Fibras Ópticas



Fibra otimizada para os 1330 nm e para os 1550 nm

a) double-clad or W profile

$$a_1 = 3 \mu m$$
$$a_2 = 4.7 \mu m$$

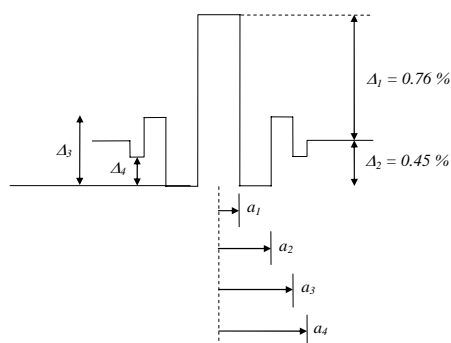


Fibras Ópticas



b) quadruple-clad profile

$$a_1 = 3.4 \mu m$$



Fibras Ópticas

