



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Metrologia da detonação com o recurso a fibras ópticas

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Autor

Alexandre Neves Anastácio

Orientador

Professor Doutor José Andrade de Campos

Júri

Presidente	Professor Doutor José Carlos Miranda Góis Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Ricardo António Lopes Mendes Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor José Leandro Simões de Andrade Campos Professor Associado da Universidade de Coimbra

Coimbra, Setembro, 2014

Eu aprendi que todos querem viver no topo da montanha, mas toda felicidade e crescimento ocorre quando você está escalando-a.

William Shakespeare, 1591

Aos meus pais.

Agradecimentos

O documento que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração de algumas pessoas, às quais tenho de prestar o meu reconhecimento, especialmente ao Professor Doutor José Andrade Campos por toda a ajuda, disponibilidade e empenho demonstrado ao longo deste trabalho.

Aos meus pais por todo o apoio e motivação que me deram ao longo de todo o meu percurso académico.

Aos meus colegas de laboratório, por toda a ajuda demonstrada durante a realização da tese.

Aos meus colegas de curso, por a entre ajuda demonstrada durante todo o meu percurso académico.

Resumo

O trabalho apresentado consiste numa recuperação e desenvolvimento de um sistema simples para detetar sinais ópticos emitidos durante uma detonação com recurso a uma única fibra óptica embutida num cordão detonante e a sensores optoeletrónicos, conectados a um analisador de sinal digital, para a medição de tempos entre sinais ópticos.

É apresentado um pequeno estudo da radiação térmica porque este é importante para se compreender a luz emitida pela frente de detonação, assumindo que ocorre um salto de temperatura durante a compressão de choque, onde podem ser aplicadas as propriedades de um corpo negro e suas grandezas espectrais e totais bem como as leis importantes deduzidas pela lei Max Plank.

Selecionadas as fibras ópticas multimodo de PMMA (Polimetil-Metacrilato) e sílica em função da sua atenuação para diferentes comprimentos de onda e selecionados os receptores e transmissores dependendo da sua sensibilidade máxima de 650 nm e 820 nm, bem como todos os outros componentes necessários para a realização de ensaios para a validação do método, conectores e ligadores SMA (SubMiniature Version A).

A validação experimental foi efetuada através da calibração dos receptores e da realização de ensaios com cordão detonante de PETN (Tetra Nitrato de Pentaeritritol) utilizando diferentes formas de embutir a fibra no cordão e de proteger estas das emissões indesejadas da radiação.

Os resultados comprovaram a validade do método de medida da velocidade de detonação utilizando uma única fibra óptica, bem como a sua precisão.

Palavras-chave: Detonação, Fibra óptica, Transmissores, Radiação, Receptores, Velocidade de Detonação, Pressão de Detonação, Corpo Negro, Tempo de Subida, Tempo de Queda, Fontes de Alimentação, Circuitos Elétricos.

Abstract

The work presented here consists of a recovery and development of a simple system for detecting optical signals emitted during a detonation using a single optical fiber built-in detonating cord and optoelectronics sensors connected to a digital signal analyzer, for measuring times between optical signals.

A small study of thermal radiation appears because it is important to understand the light emitted by the detonation front, assuming a jump in temperature during compression shock, where the properties of a black body and its spectral magnitudes may be applied occurs and total as well as the important laws deduced by Max Planck law.

Selected optical fiber multimode PMMA (polymethylmethacrylate) and silica due to its attenuation for different wavelengths and selected receivers and transmitters depending on their maximum sensitivity of 650 nm and 820 nm, as well as all other necessary components for conducting trials to validate the method, connectors and connectors SMA (Subminiature Version A).

The experimental validation was performed by calibration of the receivers and testing with detonating cord of PETN (Pentaerythritol Tetra Nitrate) using different ways of embedding the fiber in cord and protects these unwanted emissions of radiation.

The results proved the validity of the method of measurement of the detonation velocity using a single optical fiber, as well as its accuracy.

Keywords: Detonation, Fiber Optic, Transmitters, Radiation, Receivers, Detonation Velocity, Detonation Pressure, Black Body, Rise Time, Fall Time, Power Supplies, Electrical Circuits.

Índice

Índice de Figuras	v
Simbologia.....	ix
Siglas	x
1. Introdução.....	1
2. Radiação térmica e Transmissão	5
2.1. Princípios da emissão e receção.....	6
2.1.1. Sensores	14
2.1.2. Fibras ópticas.....	20
2.1.3. Conectores de Ligação.....	26
2.2. Princípios de emissão e receção e equipamento selecionado	28
2.3. Circuito e sinal elétrico dos sensores selecionados	32
3. Execução experimental.....	38
3.1. Equipamento de calibração	38
3.1.1. Emissão (montagem e medida)	39
3.1.2. Receção (montagem e medida).....	39
3.1.3. Equipamento Periférico	40
3.1.4. Teste e resultados de calibração	41
3.2. Medidas experimentais de detonação	43
3.2.1. Montagem.....	43
3.2.2. Resultados e discussão	49
4. Síntese de resultados e conclusões	54
Referências bibliográficas	56
Anexo A.....	58
Anexo B.....	63
Anexo C.....	79
Anexo D.....	106
Anexo E.....	115
Anexo F	117
Anexo G.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1- Esquema de montagem inicialmente proposto para medir a velocidade de detonação.....	3
Figura 1.2-Metodo de calibração o sinal, inicialmente proposto.	3
Figura 2.1-Espectro da radiação eletromagnética(5).....	7
Figura 2.2-“ (a) Particularidades das Fibra Multimodo Simples, (b) Fibra Parabolicamente Graduada, (c) Fibra Monomodo ”(2).	9
Figura 2.3- Atenuação da fibra óptica de sílica em função do comprimento de onda (linha sólida) e limites teóricos (linhas tracejadas).....	10
Figura 2.4-Atenuação da fibra ótica de PMMA em função do comprimento de onda.....	11
Figura 2.5-“Ilustração da abertura numérica (NA) de uma fibra. Por exemplo, o ângulo de aceitação de luz no ar é $\theta_{ar} = 11.5$ para uma abertura numérica $NA = 0,2$ ”(2). ...	12
Figura 2.6--”Ilustração esquemática de acoplamento com uma lente de imagiologia da região de emissão de luz de um díodo emissor de luz no núcleo da fibra ótica. O LED tem uma região de emissão de circular com diâmetro O (Objeto)”(2).....	16
Figura 2.7- Transmissores encontrados no website da Rs-components.	17
Figura 2.8-Receptores encontrados no <i>website</i> da Rs-components.....	18
Figura 2.9-Resposta espectral normalizada a 820 nm de comprimento de onda.	19
Figura 2.10- Resposta espectral normalizada a 650 nm de comprimento de onda.	19
Figura 2.11- Sensores selecionados no <i>website</i> da Digi key.....	20
Figura 2.12-Exemplo dos gráficos dos sensores selecionados no <i>website</i> Diki-key, a) Corresponde a um sensor com sensibilidade de pico de 650 nm, b) Corresponde a um sensores com sensibilidade de pico de 850 nm.	20
Figura 2.13-Gráfico da atenuação da fibra em função do comprimento de onda para fibras de POF.....	21
Figura 2.14-- A imagem mostra um quadro onde está enunciado as características da fibra óptica Toray. A Lista das fibras Toray completa está em catálogo no <i>website</i> da Toray. (9).....	22
Figura 2.15-- Fibra óptica obtida no <i>website</i> da Farnell.....	22
Figura 2.16-Fibra ópticas obtidas no <i>website</i> da Rs-componentes.....	23
Figura 2.17-- Representação de alguns resultados de fibras ópticas no <i>website</i> da Digi-key.	23
Figura 2.18-Resultado da pesquisa de cabos de fibra óptica com terminais SMA no <i>website</i> da RS-components.....	24

Figura 2.19-Cabo de fibra óptica com conetores SMA escolhido no <i>website</i> da RS componentes.....	24
Figura 2.20-Resultado das fibras encontradas no <i>website</i> Farnell.....	25
Figura 2.21-Fibra selecionada no <i>website</i> da Farnell.....	25
Figura 2.22-Mostra as fibras disponíveis com conetores SMA embutidos no <i>website</i> da Thorlabs.....	25
Figura 2.23-Conectores SMA para acoplamento fibra óptica do <i>website</i> da Digi-key.....	26
Figura 2.24-Conectores SMA para acoplamento fibra óptica do <i>website</i> da Rs-components.....	27
Figura 2.25-Conectores SMA para acoplamento fibra óptica do <i>website</i> da Farnell.....	27
Figura 2.26- Conectores SMA encontrado o <i>website</i> da Thorlabs. (19).....	27
2.27- Conectores SMA encontrado o <i>website</i> da Thorlabs. (19).....	28
Figura 2.28-Tabela de ligadores disponíveis no <i>website</i> da Thorlabs.....	28
Figura 2.29-Receptor de fibra óptica analógico com sensibilidade de pico de 820 nm selecionado.....	29
Figura 2.30-Receptor de fibra óptica digital com sensibilidade de pico de 820 nm.....	29
Figura 2.31-Transmissor com comprimento de onda de 820 nm selecionado no <i>website</i> da Rs-components.....	30
Figura 2.32-Receptor de fibra óptica digital com sensibilidade de pico de 650 nm selecionado no <i>website</i> da Rs-components.....	30
Figura 2.33-Transmissor com comprimento de onda de 650 nm selecionado no <i>website</i> da Rs-components.....	31
Figura 2.34-Fibra ótica de PMMA selecionada do <i>website</i> da Rs-components.....	31
Figura 2.35- Conector SMA da thorlabs selecionado para acoplamento da fibra óptica Toray (19).....	32
Figura 2.36-Ligadores selecionados no site da Thorlabs para acasalamento de dois conetores SMA.....	32
Figura 2.37-Circuito elétrico e montagem do receptor analógico HFBR-2406Z selecionado de sensibilidade máxima de 820 nm de comprimento de onda.....	33
Figura 2.38- Circuito elétrico e montagem do receptor digital HFBR-2402 Z selecionado de sensibilidade de 820 nm de comprimento de onda.....	33
Figura 2.39-Circuito elétrico e montagem do receptor digital HFBR 2505.....	34
Figura 2.40 - Sinal observado a partir de um osciloscópio de um receptor digital HFBR2505 quando conectado por uma fibra óptica com um transmissor de 820 nm de sensibilidade máxima.....	34
Figura 2.41-Circuito elétrico e montagem do gerador de sinal de onda variável entre 0 e 5 Volts.....	35
Figura 2.42-Sinal elétrico produzido pelo SWG depois de montado.....	35

Figura 2.43-Circuito elétrico e montagem do transmissor selecionado de 820 nm de comprimento de onda.	36
Figura 2.44-Sinal obtido na caracterização do receptor HFBR-2406Z.....	36
Figura 2.45-Circuito elétrico do transmissor e do receptor digital selecionado de 650 nm de comprimento de onda.	37
Figura 3.1-Esquema de montagem dos dispositivos para calibração, e comparação nos dois casos, com memo-estável.	38
Figura 3.2- Conversor optoeletrónico, onde se pode observar os circuitos de montagem dos receptores utilizados.	40
Figura 3.3- Gravação do tempo de sinal gerado no conversor optoeletrónico.	41
Figura 3.4-Imagens da secção da fibra óptica retiradas para a ampliação de 350x depois dos diferentes processos de fabrico dos conetores.	42
Figura 3.5 - Gráfico de aferição da potência emitida pela fibra Toray consoante o aumento do seu comprimento.	43
Figura 3.6- Disposição das fibras no cordão detonante no ensaio de comparação das qua fibras de PMMA à esquerda e a fibra óptica de sílica à direita.	44
Figura 3.7- Esquema de montagem da fibra no cordão detonante como uma única fibra. .	45
Figura 3.8- Montagem do ensaio para medir a radiação emitida durante uma detonação com recurso a duas fibras ópticas, embutidas 2 vezes cada no cordão detonante. 45	
Figura 3.9-Montagem das fibras utilizada durante os ensaios, onde se pode ver a fibra de transporte conectada com um ligador SMA-SMA a uma fibra óptica Toray que fica dentro da camara de ensaios. A fibra de transporte liga ao conversor optoelectrónico.	46
Figura 3.10- Imagem da fibra da Toray embutida no cordão detonante e inclinada no sentido da frente de detonação para reduzir as emissões de radiação pelos produtos da detonação.	47
Figura 3.11-Esquema de montagem do cordão detonante, fibra óptica e placas de PVC. ...	47
Figura 3.12- Reprodução do esquema da montagem onde é utilizado as placas de PVC para um ensaio de medição de pressão.....	48
Figura 3.13-Disposição das fibras ópticas e das folhas de kapton para a medição da pressão de detonação com recurso a esferas ocas de sílica.	49
Figura 3.14- Comparação do sinal obtido por duas fibras ópticas de PMMA e sílica inseridas perpendicularmente ao cordão detonante.....	50
Figura 3.15-Registo do sinal obtido no ensaio da detonação de um cordão de PETN onde foi utilizado como montagem duas fibras ópticas, uma de plástico e outra de sílica, embutida 2 vezes cada uma dele.....	50
Figura 3.16- Registo do sinal obtido pela inserção 1 fibra óptica 4 vezes (com espaçamentos iguais 20 mm entre inserções) num cordão detonante de PETN , diferenciando-se o registo amarelo do azul pela escala de 100mV e 500mV por divisão respetivamente.	51

Figura 3.17-Registo do sinal obtido no ensaio onde foi embutido uma fibra óptica (Toray) 4 vezes num cordão detonante de PETN com um espaçamento de 20 mm entre embutimentos, utilizando as placas de PVC e as fibras inclinadas no sentido da detonação.....	52
Figura 3.18-Tempo de subida do receptor verificado no ensaio de detonação utilizando a montagem selecionada.	52
Figura 0.1-Representação ilustrativa da propagação da região chocada de um gás por um pistão, antes do choque e após um t_1 (22).....	58
Figura 0.2-“Variação das propriedades físicas de um meio reativo com passagem de uma onda de detonação, segundo a teoria de ZND”(21).....	60
Figura 0.3- “Curvas de hugoniot, de Crussard e Recta de Rayleigh”(21).....	61
Figura 0.1-Representação do angulo sólido onde a radiação é emitida por ∂A (3).....	63
Figura 0.2- Hemisfério com raio unitário representando o poder emissivo espectral e a área elementar sobre a superfície hemisférica utilizado para calcular o ângulo sólido por elemento ∂A	65
Figura 0.3-Poder emissivo espectral hemisférico de um corpo negro para diferentes temperaturas (3).....	68
Figura 0.4-Distribuição de energia no espectro de um corpo negro(5).....	69
Figura 0.5-(a)Energia emitida em comprimento de onda em bandas; (b)(3)	71
Figura 0.6-Notação do fator de forma geométrico para duas superfícies negras(4).....	73
Figura 0.7-Relação entre o angulo sólido para as duas superfícies consideradas (5).....	74
Figura 0.8- Superfícies fechadas com N faces	76
Figura 0.9- Fatores de forma Tridimensionais (23).....	77

Simbologia

$w_{\lambda b}$ - Poder emissivo monocromático de um corpo negro, para a temperatura T;

λ - Comprimento de onda [μm];

T- Temperatura absoluta do corpo [K];

C_1 - constante $3,22 \times 10^8 \text{ kcal } \mu\text{m}^4 / \text{h m}^2$;

C_2 - constante $1,4388 \times 10^4 \mu\text{m K}$;

r - Raio da superfície esférica [mm];

β - Ângulo com o eixo de coordenadas “ZZ”;

θ - Ângulo com o eixo de coordenadas “XX”;

A_s - Porção da área da superfície esférica;

$I_{\lambda b}$ - Intensidade espectral de um corpo negro;

I_b - Intensidade total de um corpo negro;

F_{ij} - Factor de forma da radiação;

p - Pressão [N/m^2];

U_s - Velocidade de compressão [m/s];

U_p - Velocidade das partículas [m/s];

ρ - Densidade;

C_c - Corrente no coletor [A];

C_b - Corrente na base [A];

\hat{A} - Ganho do transístor;

Siglas

ASTM – American Society for Testing and Materials

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

ICT – Institute for Chemical Technology

PMMA- Polimetil-Metacrilato

PETN- Tetra Nitrato de Pentaeritritol

SMA- SubMiniature Version A

SWG – Generator Wave Signal

LEDAP – Laboratório de Energética e Detónica

ZND – Zeldovicht-Neuman-Doring

CJ – Chapman e Jouguet

BNC – conector Bayonet Neil Concelman

CD – Compact Disc

SERCOS- Serial Real-Time Communication System

TTL – Transistor-Transistor Logic

PVC- Policloreto de Polivinila

PROFIBUS- Process Field Bus

LED- Light Emitting Diode

1. INTRODUÇÃO

Procurou-se realizar um trabalho que consiste na recuperação e desenvolvimento de um sistema simples para detetar sinais ópticos emitidos durante uma detonação com recurso a uma única fibra óptica embutida num cordão detonante e a sensores optoeletrónicos, conectados a um analisador de sinal digital, para a medição de tempos entre sinais ópticos.

É apresentado um pequeno estudo da radiação térmica porque este é importante para se compreender a luz emitida pela frente de detonação, assumindo que ocorre um salto de temperatura durante a compressão de choque, onde podem ser aplicadas as propriedades de um corpo negro e suas grandezas espectrais e totais bem como as leis importantes deduzidas pela lei Max Plank.

Selecionadas as fibras ópticas multimodo de PMMA (Polimetil-Metacrilato) e sílica em função da sua atenuação para diferentes comprimentos de onda e selecionados os receptores e transmissores dependendo da sua sensibilidade máxima de 650 nm e 820 nm, bem como todos os outros componentes necessários para a realização de ensaios para a validação do método, conectores e ligadores SMA.

Com este desenvolvimento aplicado à metrologia da detonação, procedeu-se no ANEXO A, à resenha bibliográfica da detonação onde se comprova a reprodutibilidade do método de medida da velocidade de detonação e choque induzido.

No decorrer deste trabalho o fenómeno a ter em conta, e o mais relevante, é o da radiação. A radiação que é emitida pela detonação, quando os produtos desta aquecem, é transportada pela fibra e detetada pelos receptores, assim é importante abordar os conceitos básicos desta.

Como é conhecido todas as substâncias emitem continuamente radiação eletromagnética devido à sua agitação molecular ou atómica, dependendo da radiação emitida da energia interna do material em causa.

Conhecidos os conceitos básicos da radiação, foram abordadas as fibras ópticas que conduzem esta mesma radiação.

As fibras ópticas são caracterizadas por terem o núcleo em sílica (vidro) ou PMMA (plástico) e por possuírem um diâmetro de reduzidas dimensões que podem variar

entre os 8 μm e os 250 μm (1). Existem no entanto duas formas da transmissão da radiação no núcleo o que leva à classificação destas em multimodo e monomodo (2). As fibras ópticas monomodo transmitem radiação numa faixa de comprimento de onda fixa, variando de λ a $\pm d\lambda$ com um o diâmetro do núcleo reduzido. As fibras do tipo multimodo no entanto transmitem vários comprimentos de onda dado que os seus diâmetros são de muito maiores dimensões do que de as monomodo.

O trabalho aqui descrito, como foi referido, tem como objetivo medir a velocidade de detonação a partir de uma única fibra óptica e de um recetor, recorrendo a um osciloscópio. A detonação é um fenómeno rápido onde os produtos reagem através da compressão, provocada pela onda choque, provocando uma libertação de luz quando os produtos reagem, o processo de reação na detonação é acompanhado pela emissão de luz aquando da passagem da onda de detonação.

A radiação emitida na frente de detonação é transportada por uma fibra para ser processada, mas esta condução de luz é um pouco especial, porque as fibras tem perdas de radiação devido à sua atenuação. As fibras como já referido podem ser de sílica e PMMA, estas têm diferentes janelas de transmissão de radiação, sendo neste caso utilizadas as janelas de comprimentos de onda de 820 μm e 650 μm respetivamente e podem ser de dois tipos diferentes, de monomodo e multimodo, mas neste trabalho serão apenas utilizadas as fibras do tipo multimodo devido às dimensões do seu núcleo.

Os receptores detetam a radiação transmitida pela fibra óptica, transformando um sinal óptico num sinal elétrico, podendo ser divididos em fotodíodos e fototransistores, estes têm um funcionamento semelhante porque emitem ambos uma tensão quando colocados sobre faixas de radiação específicas, dado que ambos ostentam células fotovoltaicas, no entanto, o parâmetro diferenciador destes é o tipo de montagem.

Conhecidos os componentes básicos que transportam, recebem e processam a radiação foi proposto serem utilizados os referidos componentes para a montagem de um sistema de medição da velocidade de detonação. Inicialmente foi proposta a utilização de uma fibra óptica com a configuração apresentada na Figura 1.1 onde uma fibra seria embutida várias vezes num cordão detonante e detetada por um receptor.

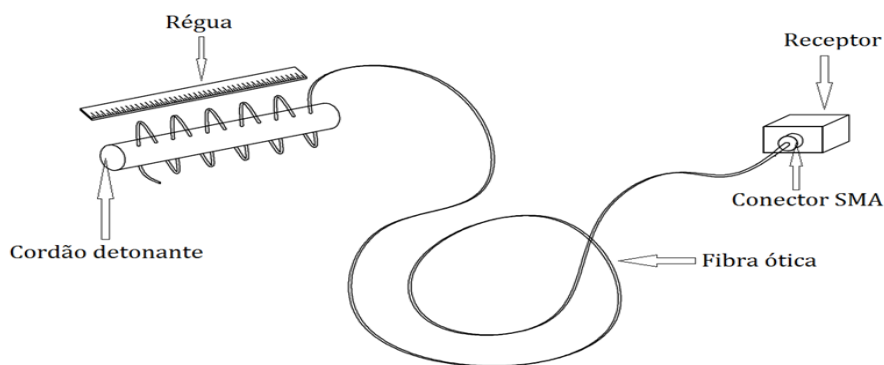


Figura 1.1- Esquema de montagem inicialmente proposto para medir a velocidade de detonação.

O sistema proposto para calibrar o sinal está representado na Figura 1.2, e como se pode observar este é composto por um osciloscópio, um adaptador optoeletrónico, conectado por um cabo BNC, por sua vez a este está conectada uma ponta da fibra óptica, sendo que a outra extremidade está conectada a um emissor de impulsos luminosos, transmitindo o sinal óptico. (sistema muito semelhante ao já existente em laboratório).

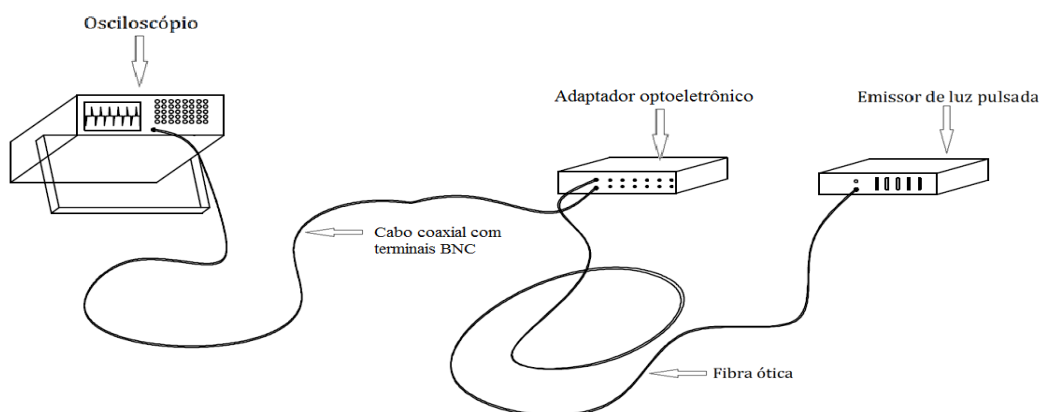


Figura 1.2-Metodo de calibração o sinal, inicialmente proposto.

A radiação é a característica de maior relevo em todos os equipamentos necessários para este trabalho (excepto para o óscoscópio), a detonação pode mesmo ser considerado como um corpo negro, assim no Capítulo 2 é apresentada uma análise teórica sobre a radiação, especialmente a do corpo negro, é referida toda a pesquisa realizada do material necessário para a montagem dos ensaios e calibração dos componentes, como transmissores, recetores, fibras ópticas, conetores e ligadores aplicando os conceitos anteriores. De seguida é feita a seleção dos componentes pesquisados e explicado o porquê da sua seleção. Por último são apresentados os circuitos elétricos dos transmissores, receptores e dos seus componentes complementares.

No capítulo 3 são referidos os parâmetros qualitativos de todos os componentes e aparelhos utilizados para a calibração dos receptores, sendo também apresentados os resultados obtidos nestas calibrações. No final deste capítulo são apresentadas as montagens efetuadas para alcançar o método ideal de medida de velocidade de detonação utilizado, bem como os resultados obtidos que o comprovam.

A discussão dos resultados obtidos nos ensaios, que demonstram a viabilidade do método, é referida no Capítulo 4, bem como a indicação de trabalhos futuros que possam aplicar o método de medida estudado para determinar outros parâmetros da detonação.

2. RADIAÇÃO TÉRMICA E TRANSMISSÃO

Como já referido, durante a detonação há emissão de radiação, nos mais variados comprimentos de onda, através do aquecimento dos gases provenientes da detonação, as fibras ópticas (PMMA ou sílica) transmitem eficazmente em apenas alguns comprimentos de onda (650 nm e 820 nm), dado que fora dessas janelas as fibras atenuam a radiação. É assim possível simplificar a emissão de radiação proveniente de uma detonação, assumindo que esta se comporta como um corpo negro assim como a fibra óptica, tornando relevante assim o estudo deste.

O corpo negro é definido como aquele que absorve ou emite toda a radiação incidente, quer a que passa para este ou a que absorve internamente. É também visto como sendo o corpo ideal ou perfeito, pois absorve toda a radiação incidente, quer ao passar da superfície para o corpo ou na transmissão interna no seu interior, sem energia refletida ou transmitida respetivamente, sendo isto verdade para todo o espectro de radiação eletromagnética e para todos os ângulos de incidência (3). Ele também emite mais radiação do que qualquer outro corpo.

É muito difícil de se encontrar um corpo negro, dado que a sua superfície tem de absorver toda a região do espectro eletromagnético e não apenas uma parte desse espectro. É possível sim encontrar aparentes corpos negros para partes do espectro eletromagnético, mas que na verdade não o são. Um corpo negro possui as seguintes propriedades (3):

- É um emissor perfeito;
- A sua radiação é isentrópica quando colocado no interior de um involucro preto;
- É um emissor perfeito em cada direção;
- É um emissor perfeito em cada comprimento de onda;
- A sua radiação total é só função da temperatura.

Estas propriedades podem ser demonstradas pelas leis da termodinâmica, principalmente pela segunda, que afirma que dois sistemas fechados em contacto térmico tendem a atingir o equilíbrio térmico e que um sistema com temperatura mais baixa não pode transmitir energia ao outro com uma temperatura mais elevada.

Antes de começar a apresentação das fórmulas que descrevem a transmissão de radiação eletromagnética para um corpo negro será importante ter a noção de vários conceitos que estão enunciados no ANEXO B.

2.1. Princípios da emissão e receção

No decorrer deste trabalho o fenómeno a ter em conta, e o mais relevante, é o da radiação. A radiação que é emitida pela detonação, quando os produtos desta aquecem, é transportada pela fibra e detetada pelos receptores, assim é importante abordar os conceitos básicos desta.

Como é conhecido todas as substâncias emitem continuamente radiação eletromagnética devido à sua agitação molecular ou atómica, dependendo da radiação emitida da energia interna do material em causa. A natureza está dependente da energia radiante proveniente do sol, esta é necessária para a realização da fotossíntese das plantas, para aquecer a terra e uma pequena parte do seu comprimento de onda é essencial para que os nossos olhos possam ver. No corpo humano, os olhos podem ser considerados como um bom detetor de radiação visível, pois conseguem formar imagens no intervalo compreendido entre de 0,4 a 0,7 μm de comprimento de onda, no entanto estes não detetam radiação infravermelha direta. A pele por sua vez consegue detetar essa radiação sob a forma de calor, mas para que isso aconteça essa radiação tem de ser bastante intensa, sendo por isso considerada um mau detetor da radiação infravermelha(3).

Como se sabe a transferência da energia radiativa é dependente da diferença de temperatura entre duas superfícies ou meios, elevada à quarta potência. Esta transferência é também importante porque não necessita de nenhum meio para se propagar entre dois locais em estudo. Assim será necessário considerar a radiação relevante para substâncias onde as temperaturas sejam elevadas, ou seja, onde os fenómenos de convecção e condução podem ser desprezáveis, como acontece no vácuo.

Existem muitas complexidades matemáticas intrínsecas a problemas que consideram a radiação conjunta com condução e convecção, estas resultam na resolução de equações diferenciais integrais complicadas, devido à necessidade de resolução de integrais com diferentes potências(3).

A teoria de propagação de energia radiante pode ser considerada por duas formas diferentes, a primeira considera a teoria das ondas eletromagnéticas clássica e a segunda considera a teoria da mecânica quântica. Como se sabe a teoria das ondas eletromagnéticas é normalmente a mais utilizada, pois para a maioria dos casos obtêm-se as mesmas equações conseguidas a partir da aplicação da teoria quântica.

O comprimento de onda da radiação eletromagnética classifica o tipo de radiação, desde os raios X e γ de curtos comprimentos de onda até grandes comprimentos de onda, como as ondas de rádio como está representado na Figura 2.1, onde mostra o espectro da radiação eletromagnética. Nela é possível ver que a radiação térmica relevante para o estudo do corpo negro está compreendido entre os pequenos comprimentos de onda da radiação ultravioleta ($\lambda=0.1 \mu\text{m}$) e os grandes comprimentos de onda da radiação infravermelha ($\lambda=1000\mu\text{m}$), não esquecendo que entre estas duas regiões existe radiação visível no comprimento de onda de $0.7 \mu\text{m}$ e $0.4 \mu\text{m}$ (4). Como é possível denotar a unidade de comprimento de onda utilizada quando se fala de radiação térmica é o micrómetro (μm), o que corresponde a 10^{-6} metros.

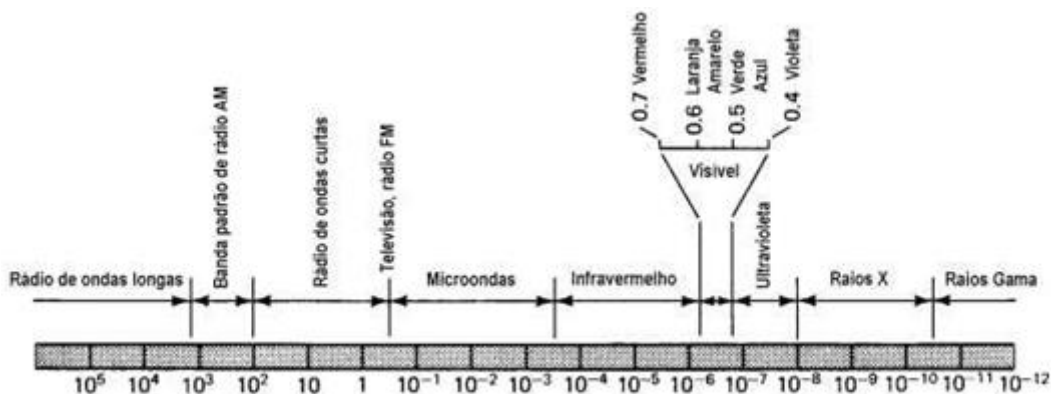


Figura 2.1-Espectro da radiação eletromagnética(5).

Muitas das propriedades e equações do corpo negro que serão apresentadas de seguida foram deduzidas e comprovadas por argumentos termodinâmicos. Porém houve a necessidade de encontrar uma fórmula para obter a magnitude da intensidade emitida em cada um dos comprimentos de onda(3). Assim a lei de Plank pode ser enunciada como(4):

$$w_{\lambda b}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (2.1)$$

Onde:

$w_{\lambda b}$ - Poder emissivo monocromático de um corpo negro, para uma temperatura T;

λ - Comprimento de onda, em μm ;

T - Temperatura absoluta do corpo K;

C_1 - Constante $3,22 \times 10^8 \text{ kcal } \mu\text{m}^4 / \text{h m}^2$;

C_2 - Constante $1,4388 \times 10^4 \mu\text{m K}$;

Esta é a equação fundamental para se compreender os fenómenos da radiação, dado que todas as outras leis se podem deduzir a partir desta equação, como a lei de Stefan-Boltzmann e a lei de Wien.

Conhecidos os conceitos básicos da radiação, abordam-se de seguida as fibras ópticas que conduzem esta mesma radiação.

Estas são construídas por um núcleo central e revestidas por um material com um índice de refração menor do que o núcleo, usualmente o índice de refração no núcleo é superior 1 % do que o índice de refração do revestimento. A luz propaga-se em forma de ziguezague dentro do núcleo da fibra através de reflexões totais que podem ser explicadas pela lei de Snell-Descartes (2). As fibras ópticas são caracterizadas por terem o núcleo em sílica (vidro) ou PMMA (plástico), por possuírem um diâmetro de reduzidas dimensões que podem variar entre os 8 μm e os 250 μm (1). Existem no entanto duas formas da transmissão da radiação no núcleo o que leva à classificação destas em multimodo e monomodo (2). As fibras ópticas monomodo transmitem radiação numa faixa de comprimento de onda fixa, variando de λ a $\pm d\lambda$ com um o diâmetro do núcleo reduzido. As fibras do tipo multimodo no entanto transmitem vários comprimentos de onda dado que os seus diâmetros são de muito maiores dimensões do que de as monomodo.

Na Figura 2.2 estão representados 3 tipos de fibra, onde são comparadas as suas características, o caso (a) corresponde a uma fibra multimodo com índice normal, onde os diâmetros podem ir de 62,4 μm a 1200 μm provocando uma dispersão modal nesta elevada, podendo levar a uma interferência de impulso.(2) . A fibra multimodo parabólica com índice graduado tem uma baixa dispersão modal, fazendo com que haja uma diminuição da interferência de dois sinais, dado que o alargamento do impulso é menor. (2) As fibras multimodo têm a vantagem de terem núcleos grandes em comparação com as monomodo, o que faz com que estas possam ter pouca precisão no acoplamento entre a

fonte de luz e a fibra, facilitando o acoplamento, porém apresentam dispersão modal que vem do facto do núcleo ter uma muito maior gama de comprimento de onda de funcionamento, levando a um alargamento do pulso. (2)

Por último, a fibra monomodo no caso (c) da Figura 2.2 não apresenta dispersão modal, pois esta só transmite radiação num único comprimento de onda, dado ao seu núcleo de reduzidas dimensões. Esta característica no entanto levanta dois problemas, a dificuldade de fabrico e a dificuldade de acoplamento dos sensores, no entanto resolvidas estas questões, tornam-se indicadas para longas distâncias. (2)

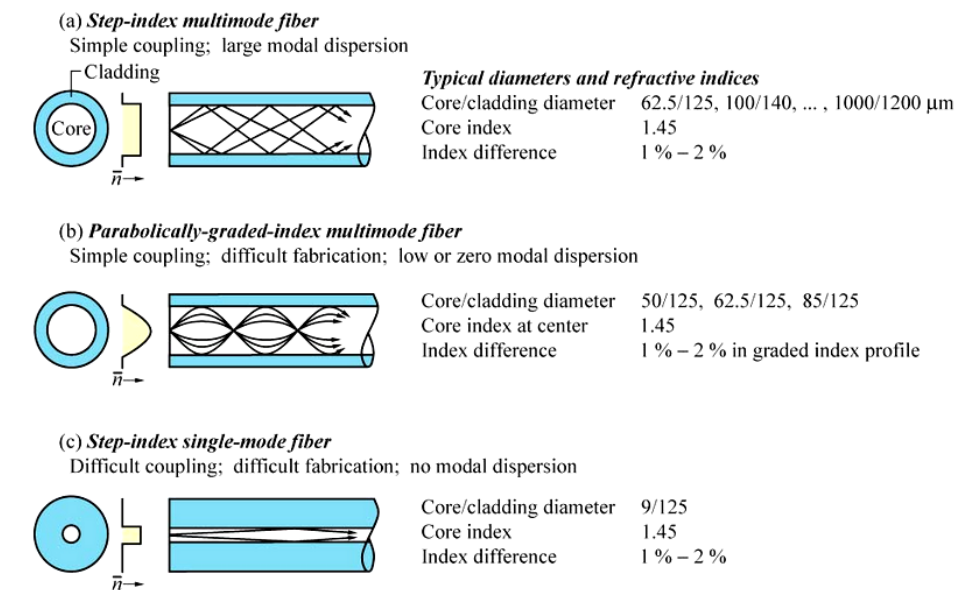


Figura 2.2-“ (a) Particularidades das Fibras Multimodo Simples, (b) Fibras Parabolicamente Graduadas, (c) Fibras Monomodo ”(2).

Nos ensaios que serão apresentados mais adiante importa obter a máxima radiação proveniente do fenómeno explosivo, para que o sensor detete a máxima radiação possível, ou seja, nos mais diversos comprimentos de onda, levando assim a afirmar que a fibra a utilizar deverá ser do tipo multimodo.

As fibras de sílica (SiO_2) apresentam grande durabilidade, e menores atenuações do que as fibras plásticas como se pode observar na Figura 2.3. No gráfico desta mesma figura é possível ver que as fibras ópticas de sílica possuem três janelas de comunicação para comprimentos de onda de 0.82, 1.3 e 1.55 μm apresentando perdas de 1.8, 0.5 e 0.2 DB/km respetivamente. No entanto a janela de comunicação utilizada para comunicação com LEDs e laser é a de 820 nm e é usada no fenómeno em estudo porque

como esta é muito utilizada em redes de telecomunicações, existem disponíveis inúmeros sensores no mercado (2).

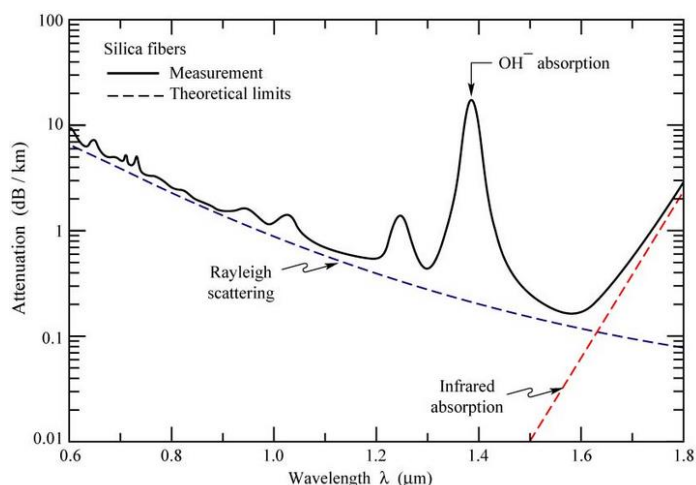


Figura 2.3- Atenuação da fibra óptica de sílica em função do comprimento de onda (linha sólida) e limites teóricos (linhas tracejadas).

Na Figura 2.4 é mostrada a atenuação das fibras ópticas de PMMA, onde existe apenas uma janela de comunicação preferida para comprimentos de onda de 650 nm, com uma perda de 0,2 dB/m, no entanto este valor de atenuação pode sofrer alterações consoante o diâmetro e comprimento da fibra (1). As fibras ópticas de PMMA são utilizadas maioritariamente para curtas distâncias, pois possuem perdas 1000 vezes superiores comparativamente com as fibras de sílica. Uma vantagem é a de trabalharem numa região do espectro visível, além de serem plásticas. Desta forma, consoante o tipo de fibra escolhida, PMMA ou sílica o sensor deverá ser sensível dentro na região onde a atenuação é mínima. Levando assim a concluir que os sensores a serem seleccionados deverão ter uma sensibilidade máxima para comprimentos de onda de 650 nm e 820 nm devido à atenuação das fibras (2).

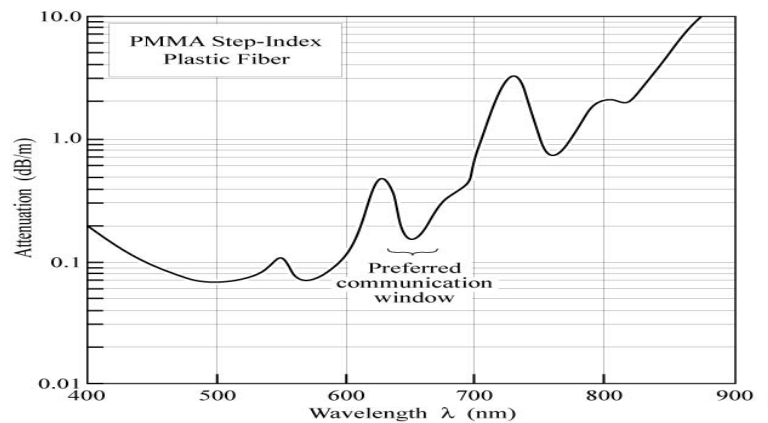


Figura 2.4-Atenuação da fibra óptica de PMMA em função do comprimento de onda.

A atenuação mínima da fibra óptica de PMMA é semelhante à de sílica, mas em diferentes comprimentos de onda de 650 nm e 820 nm respetivamente, podendo ser considerado que a atenuação é desprezável na faixa onde os sensores irão atuar. Outro requisito importante para as fibras ópticas é o ângulo máximo de aceitação da radiação que entra na fibra. Na Figura 2.5 é demonstrado que o ângulo de aceitação da luz apresenta uma forma simples de cálculo quando é conhecido o índice de refração dos dois meios, neste caso é necessário saber o índice de refração da fibra e do ar (2).

Portanto quando um fluxo luminoso atinge a superfície da fibra é desviado por causa da refração, o ângulo θ_c é dado pela relação entre os ângulos dos dois meios e é expressa da seguinte forma:

$$n_{air} \sin \theta_{air} = n_1 \sin \theta_c \quad (2.2)$$

Como o raio de luz tem que estar contido no interior da fibra, estes têm que ser refletido pelas paredes e para que isso possa acontecer é necessário que o ângulo de incidência respeite a seguinte inequação(2).

$$\sin \theta_c \geq \frac{n_2}{n_1} \quad (2.3)$$

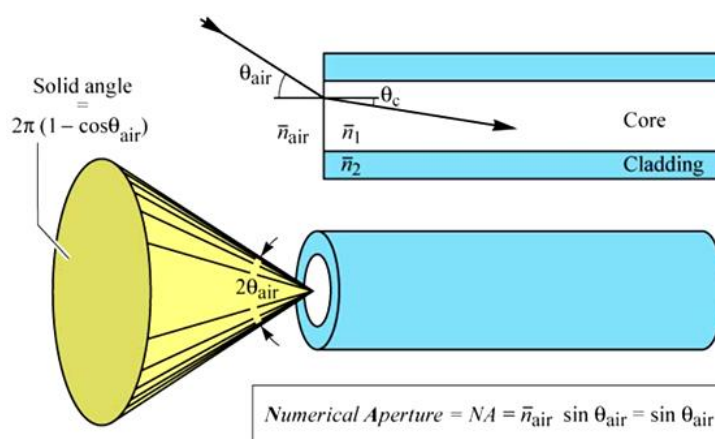


Figura 2.5-“Ilustração da abertura numérica (NA) de uma fibra. Por exemplo, o ângulo de aceitação de luz no ar é $\theta_{ar} = 11.5$ para uma abertura numérica $NA = 0,2$ ”(2).

Os receptores são utilizados para detetar a radiação proveniente da fibra óptica, estes são divididos em duas grandes famílias, os fotodíodos e os fototransístores, estes são baseados na tecnologia da optoelectrónica, esta junta a óptica com a eletrónica utilizando semicondutores baseados na reação de junção PN (A junção PN consiste numa interface entre duas diferentes camadas de um material semiconductor dopado, positiva e negativamente). (6)

O fotodíodo é um dispositivo que converte a luz recebida em uma determinada quantidade de corrente elétrica podendo assim funcionar de duas formas distintas: como uma célula fotovoltaica, gerando tensão quando recebe luz ou então como célula fotocondutiva gerando corrente quando recebe luz. (6)

O fotodíodo quando submetido à luz possui as mesmas características elétricas de um díodo, isso é, a sua resistência de condução direta é baixa fazendo com que este deixe passar a corrente elétrica, enquanto que a sua resistência inversa é elevada não permitindo assim a passagem da corrente, no entanto quando se ilumina este díodo com uma frequência adequada a corrente inversa do díodo aumenta linearmente com a intensidade de iluminação. Assim um fotodíodo consiste basicamente num dispositivo semiconductor de junção PN cuja região de operação é limitada pela região de polarização directa e caracteriza-se por ser sensível à luz, de maneira que quando se ilumina a região PN os eletrões ganham energia para a atravessar. (6)

Existem 3 tipos fundamentais de fotodíodos que operam em polarização reversa: PN fotodíodo, PIN fotodíodo e avalanche fotodíodo.

Estes são utilizados em inúmeras aplicações, não só em sensores para fibra óptica, mas também para a leitura dos CD's recuperando a informação gravada nestes.(6)

O fototransístor é uma combinação entre dois díodos de junção assim como o transístor convencional, porém associado ao efeito do transístor aparece o efeito fotoelétrico, estes são constituídos por uma base, um emissor e um coletor.

Ao contrário dos fotodíodos, os fototransístores detetam a incidência de luz e fornecem um ganho e isto tudo dentro de um único componente. Ou seja, quando existe a presença de luz é provocado assim como nos fotodíodos o aparecimento de lacunas na vizinhança da junção base-coletor, fazendo com que os eletrões migrem do emissor para a base, quando isto acontece é criado um aumento de corrente na base e conseqüentemente implicará uma corrente no coletor amplificada, uma vez que a corrente do coletor é \hat{A} (ganho do fototransístor) vezes maior que a corrente de base ($C_c = \hat{A} \times C_b$), sendo este valor de corrente proporcional à intensidade da luz incidente.(6)

Podemos então afirmar que os fototransístores funcionam de uma forma idêntica aos fotodíodos, apenas diferem na sensibilidade à luz, em que esta é muito maior nos fototransístores devido à amplificação da corrente.(6)

Estes fototransístores são utilizados em diversas aplicações, proporcionando altos níveis de ganho, sendo mais encontrado em aplicações on-off, onde a não linearidade do transístor não é um problema. (6)

A vantagem dos fototransístores é que estes têm um nível muito mais baixo de ruído quando comparado com um outro dispositivo que também ofereça ganho de corrente, no entanto não tem uma alta frequência de resposta e é dependente da variação de temperatura.(6)

Para determinar a velocidade de detonação utilizando fibra óptica em laboratório foi necessária a aquisição de equipamento específico como fibras ópticas, sensores (receptores e transmissores) e conectores. Perante isto, foi efetuada uma pesquisa em diversos *websites* de fornecedores online: RS Components, Digi-Key, Farnell, Edmundoptics.

2.1.1. Sensores

Os transmissores e os receptores são os sensores utilizados neste trabalho, estes tem a função de emitir e detetar, respetivamente, a radiação transmitida pela fibra.

O receptor utilizado poderá ser um fotodíodo que transmitirá um sinal elétrico dependendo da radiação emitida pela fibra ótica, estes terão de ser sensíveis aos comprimentos de onda emitidos pela radiação do fenómeno explosivo, porém o problema dos sensores existentes na aplicação em estudo é o facto de terem sido construídos para a transmissão de dados nas redes de telecomunicações o que limita a sua escolha devido à sua sensibilidade máxima, existindo assim pouca variedade de sensores que possam ser escolhidos para esta aplicação. Assim foram seleccionados os sensores com sensibilidades máximas para comprimentos de onda de 650 e 820 nm tendo em conta as janelas de transmissão da fibra ótica. Outra característica essencial é o tempo de resposta destes, isto é, o tempo de subida, sendo esta característica relevante para a precisão das medições nos ensaios realizados, assim foi imposto que o tempo não poderá ser superior a 50 ns, garantindo assim uma boa precisão na medição efetuada.

O transmissor é idêntico a um laser que emite uma radiação com um comprimento de onda fixo, este terá de ser seleccionado em concordância com o comprimento de onda do receptor.

Os sensores digitais podem ser utilizados em várias aplicações como:

- SERCOs, um acrónimo para *Serial Realtime System Communication*, é uma interface digital padrão para a comunicação em aplicações industriais. A norma define duas taxas de dados: 2 MBd e 4 MBd e foi criada para permitir a transferência de dados entre os controles numéricos e unidades de fibra ótica, com isolamento de tensão e imunidade a ruídos.
- PROFIBUS, um acrónimo de Process Field Bus, é um padrão de campo aberto definido para taxas de dados que variam de 9,6 kBd a 12 MBd em passos seleccionáveis para fios e fibras óticas. O conector ST é a porta ótica de série da versão de fibra ótica PROFIBUS.
- INTERBUS-S, é utilizado na indústria de automação de fábrica.

2.1.1.1. Emissão

O receptor recebe a radiação emitida pela frente de detonação pois esta é transmitida através da fibra até ele, assim para calcular a radiação recebida na fibra é necessário saber os fatores de forma entre a fibra e a frente de detonação. As fórmulas dos fatores de forma tridimensionais estão expostas na Figura 0.9 do Anexo B, em que os dois círculos representados com duas faces paralelas correspondem respetivamente à frente de detonação e à secção de fibra.

No caso em estudo é considerado que a área receptora da fibra (núcleo) é igual a um círculo de diâmetro de 250 μm e que a área emissora do fenómeno é igual a um círculo com 1 cm^2 (5.46 mm de raio), sendo que estas duas superfícies estão distanciadas entre si 2 milímetros.

Admitindo que o cordão detonante detona a uma temperatura de 1500 K e que possui uma emissividade de 0.3, é possível de calcular a potência radiativa que a fibra recebe, dado que temos todos os parâmetros para o cálculo do fator de forma entre a frente detonante e a fibra óptica, aplicando as fórmulas da Figura 0.9 do Anexo B, obtém-se:

$$R_i = \frac{0.005641}{0.002} = 2.821 \quad (2.4)$$

$$R_j = \frac{250 \times 10^{-6} / 2}{0.002} = 0.0625 \quad (2.5)$$

$$S = 1 + \frac{1 + (0.0625)^2}{2.821^2} = 0.126 \quad (2.6)$$

$$F_{i,j} = \frac{1}{2} \times \left[1.126 - \sqrt{0.126^2 - 4 \left(\frac{0.0625}{2.821} \right)^2} \right] = 0.000436 \quad (2.7)$$

Sabendo o fator de forma e admitindo que a superfície emissora é um corpo negro e que a emissividade é de 0.3, calcula-se a potência máxima que incide na fibra:

$$\begin{aligned} W &= \varepsilon F_{i,j} A_i \sigma (T_i - T_j)^4 \\ &= 0.3 \times 0.000436 \times 5.670400040 \times 10^{-8} \times (\pi \times 0.005641^2) \times (1500 - 300)^4 \\ &= 0.001537 \text{ W} = 1.54 \text{ mW} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Com este resultado conclui-se que a potência radiativa recebida pela fibra não deveria ser suficiente para acionar o sensor, dado que este necessita de uma potência superior a 100 mW. Para solucionar o problema previamente referido, surgiu a hipótese de se aplicar um concentrador de radiação na fibra óptica. Esse concentrador não é mais do que uma lente, que terá as mesmas dimensões consideradas para área emissora do fenómeno, que é aproximadamente de 1 cm². A lente terá teoricamente uma fórmula circular, podendo assim serem aplicadas as mesmas fórmulas utilizadas.

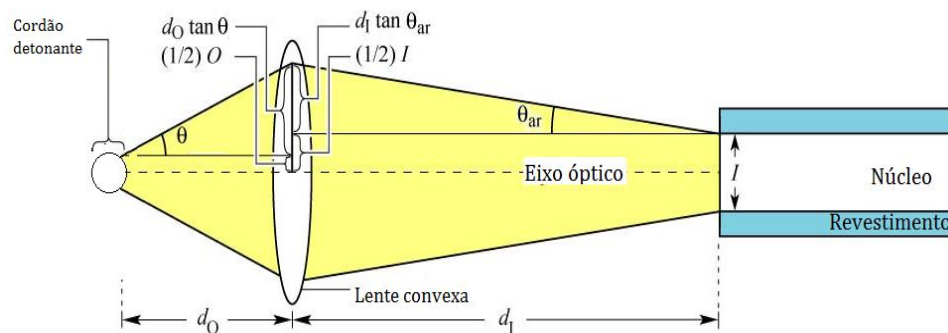


Figura 2.6--"Ilustração esquemática de acoplamento com uma lente de imagiologia da região de emissão de luz de um díodo emissor de luz no núcleo da fibra óptica. O LED tem uma região de emissão de circular com diâmetro O (Objeto)"(2).

A Figura 2.6 representa a emissão da radiação por um cordão detonante para uma lente convexa, esta concentra a radiação emitida pelo cordão para o núcleo da fibra óptica, aumentando assim a quantidade de radiação captada pela fibra. Com base na distância focal d_1 e d_2 é possível regular o foco para obter a máxima potência radiativa incidente na fibra (2). Portanto, efetuando os cálculos para esta nova situação descrita, admitindo que a lente tem uma área de superfície emissora de 1 cm², e que a distância entre a lente e a frente de detonação é de 2 mm, calcula-se assim o fator de forma.

$$F_{i,j} = \frac{1}{2} \times \left[2.125 - \sqrt{2.125^2 - 4 \left(\frac{2.821}{2.821} \right)^2} \right] = 0.703 \quad (2.9)$$

Sabendo o valor do fator de forma entre a lente e a área emissora (frente de detonação) e que esta tem uma emissividade de 0.3, foi calculada a potência máxima incidente na fibra óptica pela seguinte fórmula:

$$\begin{aligned}
 W &= \varepsilon F_{i,j} A_i \sigma (T_i - T_j)^4 \\
 &= 0.3 \times 0.703 \times 5.670400040 \times 10^{-8} \times (\pi \times 0.005641^2) \times (1500 - 300)^4 \\
 &= 2.48 \text{ W}
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

Como seria de esperar com a colocação da lente há um aumento considerável de potência radiativa, fazendo com que o sensor detete esta sem qualquer tipo de problemas.

De seguida é apresentada a pesquisa realizada dos transmissores, sendo importante de referir que esta foi efetuada depois de selecionados os receptores com as duas diferentes sensibilidades de pico. A pesquisa para encontrar os respetivos transmissores foi restringida ao *website* da *RS-components*, devido à facilidade e rapidez de entrega do material selecionado. Portanto, foram procurados neste *website* “transmissores de fibra óptica”. (7) Inicialmente foram encontrados 32 produtos sem qualquer restrição como é possível observar na Figura 2.7.



Figura 2.7- Transmissores encontrados no website da RS-components.

Os transmissores selecionados estão representados na secção 2.2 deste capítulo, que como já referido anteriormente, foi selecionado em primeiro lugar os receptores e só depois os transmissores correspondentes.

O *datasheet* indica que para a montagem da maioria dos transmissores é necessário um componente que permite gerar impulsos de luz, por exemplo no caso das aplicações destes transmissores em redes de telecomunicações existe um elemento que converte o sinal digital num sinal óptico, de luz e não luz. Os transmissores utilizados neste trabalho servem para avaliar o tempo de resposta dos receptores e verificar se a fibra óptica transmite corretamente o sinal óptico depois de ser embutida no cordão detonante durante

os ensaios. Para gerar os tais impulsos de luz deveria ser utilizado um componente TTL, este gera um sinal pulsado entre 0 e 5 Volts com uma frequência definida, fazendo com que os transmissores emitam impulsos luminosos, ou seja, “pisquem”. Mas devido ao seu elevado custo de aquisição foi encontrada uma outra solução, que foi a implementação de um gerador de onda que funciona com recurso a um circuito integrado LMC 555 (*Timer*) depois de montado gera uma onda pulsada entre 0 e 5 Volts com uma frequência de 3,59 MHz.

2.1.1.2. Recepção

Depois de serem conhecidas as principais características da radiação captada pelos receptores procedeu-se à seleção dos que melhor se adequavam à montagem em estudo. A pesquisa de receptores foi realizada em diversos *websites*, sendo eles a RS Components, Digi-Key.

Inicialmente no *website* da Rs-components, (7) foram pesquisados receptores de fibra óptica que cumprissem os requisitos pretendidos, para isso foi utilizado como restrição a sua sensibilidade de pico/máxima. Que como foi visto anteriormente apenas poderiam tomar os valores de comprimento de onda de 650 nm ou de 850 nm e a sua conexão teria de ser do tipo SMA. Prontamente foram encontrados os 4 sensores com as características pretendidas, o HFBR 2406AMZ, HFBR 2406Z, HFBR 2505AFZ e o HFBR 2506AFZ, representados Figura 2.8.

Receptores de Fibra Optica		A ver 1 - 4 de 4 produtos			
4 Produtos encontrados		Ver como:			
Atualizar resultados		Ordenar por: Relevância			
<p>Filtros aplicados</p> <p>Remover todos</p> <p>Velocidad Máxima de Datos</p> <p>10MBd <input type="checkbox"/> Remover</p> <p>13.2Mbit/s <input type="checkbox"/> Remover</p> <p>15MBd/s <input type="checkbox"/> Remover</p> <p>160MBd <input type="checkbox"/> Remover</p> <p>16MBd <input type="checkbox"/> Remover</p> <p>Longitud de Onda de la Sensibilidad de Pico</p> <p>600nm <input type="checkbox"/> Remover</p> <p>650nm <input type="checkbox"/> Remover</p> <p>660nm <input type="checkbox"/> Remover</p> <p>820nm <input type="checkbox"/> Remover</p> <p>850nm <input type="checkbox"/> Remover</p> <p>Tipo de Conector</p> <p>SMA <input type="checkbox"/> Remover</p> <p><input type="checkbox"/> Actualizar resultados automáticamente</p>		<p>Visualización rápida</p> <p>Código RS: 238-723</p> <p>Fabricante: Avago Technologies</p> <p>Referencia do fabricante: HFBR-2506AMZ</p> <p>Velocidad Máxima de Datos: 16MBd</p> <p>Forma del Conector: Redondo</p> <p>Longitud de Onda de la Sensibilidad de Pico: 650nm</p>	<p>Visualización rápida</p> <p>Código RS: 238-688</p> <p>Fabricante: Avago Technologies</p> <p>Referencia do fabricante: HFBR-2406Z</p> <p>Velocidad Máxima de Datos: 160MBd</p> <p>Forma del Conector: Redondo</p> <p>Longitud de Onda de la Sensibilidad de Pico: 820nm</p>	<p>NOVO</p> <p>Visualización rápida</p> <p>Código RS: 801-5257</p> <p>Fabricante: Avago Technologies</p> <p>Referencia do fabricante: HFBR-2505AFZ</p> <p>Velocidad Máxima de Datos: 10MBd</p> <p>Forma del Conector: -</p> <p>Longitud de Onda de la Sensibilidad de Pico: 650nm</p>	<p>NOVO</p> <p>Visualización rápida</p> <p>Código RS: 801-5251</p> <p>Fabricante: Avago Technologies</p> <p>Referencia do fabricante: HFBR-2506AFZ</p> <p>Velocidad Máxima de Datos: 16MBd</p> <p>Forma del Conector: -</p> <p>Longitud de Onda de la Sensibilidad de Pico: 650nm</p>

Figura 2.8-Receptores encontrados no *website* da Rs-components.

Depois de serem analisadas as características de cada receptor constatou-se que todos tinham um gráfico de resposta normalizada para 650 nm ou 820 nm em função do

comprimento de onda da radiação (Figura 2.9 e Figura 2.10), e estes encontra-se no *datasheet* de cada receptor.

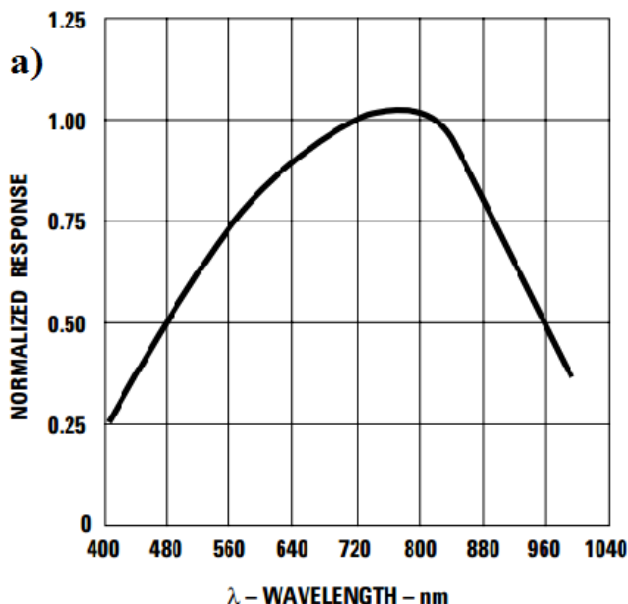


Figura 2.9-Resposta espectral normalizada a 820 nm de comprimento de onda.

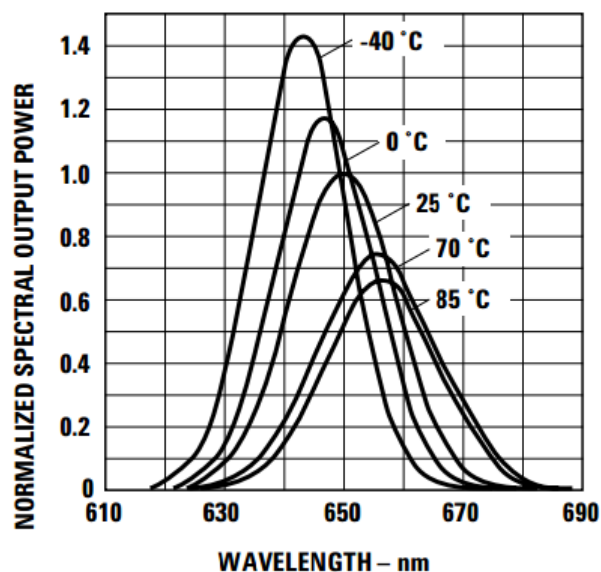


Figura 2.10- Resposta espectral normalizada a 650 nm de comprimento de onda.

Foram também pesquisados receptores no *website* da Digi-key (8) e para reduzir o número de receptores encontrados foi restringida a pesquisa através da taxa de dados mínima admitida a 10 MBd. Foram então encontrados 32 receptores que preenchem os requisitos. No entanto neste *website* não foi possível restringir o tipo de conector, foram então selecionados individualmente cada receptor, os mesmos estão discriminados na

Figura 2.11. A partir desta pesquisa verificou-se que os receptores aqui disponíveis eram iguais aos encontrados na RS-componentes

Shared Attributes: <input type="button" value="Hide"/>		<input type="button" value="Remove"/>	<input type="button" value="Remove"/>	<input type="button" value="Remove"/>	<input type="button" value="Remove"/>	<input type="button" value="Remove"/>
Image						
Digi-Key Part Number	515-2283-ND	515-2175-ND	515-2413-ND	HFBR-2505AFZ-ND	HFBR-2505AFZ-ND	HFBR-2505AFZ-ND
Manufacturer Part Number	SP000083852	HFBR-2505AMZ	HFBR-2406Z	HFBR-2505AFZ	HFBR-2505AFZ	HFBR-2505AFZ
Manufacturer	Avago Technologies US Inc.	Avago Technologies US Inc.	Avago Technologies US Inc.	Avago Technologies US Inc.	Avago Technologies US Inc.	Avago Technologies US Inc.
Description	PHOTODIODE DETECTOR RECEIVER	RCVR OPTICAL 16MBD SERCOS SMA	RCVR MOD FIBER OPT 125MHZ SMA	RCVR OPTICAL 16MBD SERCOS SMA	RCVR OPTICAL 16MBD SERCOS SMA	RCVR MOD FIBER OPTIC SERCOS SMA
Quantity Available	192 - Immediate	34 - Immediate	52 - Immediate	0	0	0
Unit Price EUR	10.45000	19.07000	19.88000	13.52850	13.52850	13.70520
Minimum Quantity	1	1	1	100 Non-Stock	100 Non-Stock	100 Non-Stock
Series	-	-	-	-	-	-
Data Rate	100MBd	16MBd	175MBd	16MBd	16MBd	10MBd
Voltage - Supply	-	4.75 V ~ 5.25 V	4.75 V ~ 5.25 V	4.75 V ~ 5.25 V	4.75 V ~ 5.25 V	4.75 V ~ 5.25 V
Power - Minimum Receivable	-	-	-	-	-	-
Current - Supply	-	27mA	-	19mA	19mA	19mA

Figura 2.11- Sensores seleccionados no *website* da Digi key

Da mesma forma os gráficos da sensibilidade de resposta normalizada em função do comprimento de onda dos receptores estão apresentados seguidamente na Figura 2.12, correspondendo o gráfico a) ao HFBR-2506 AFZ e o gráfico b) ao HFBR-2406Z. É importante referir que o receptor com de sensibilidade normalizada de 820 nm é o HFBR-2406Z e para os de sensibilidade normalizada de 650 nm correspondem os receptores HFBR-2506AFZ, SFH250V e o HFBR-2505AFZ.

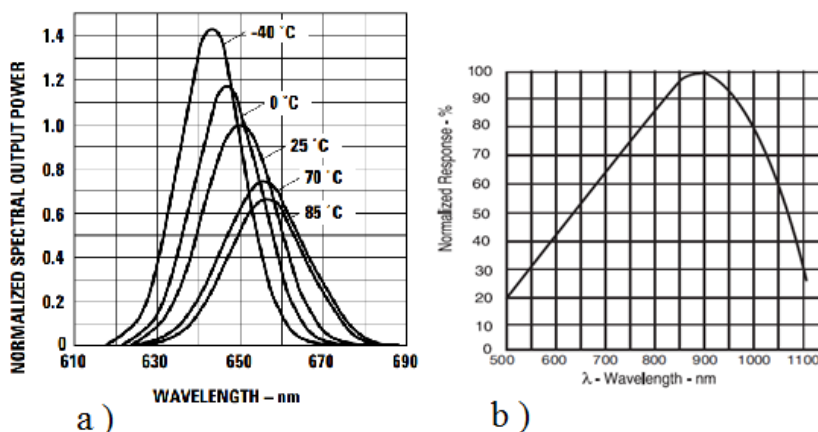


Figura 2.12-Exemplo dos gráficos dos sensores seleccionados no *website* Diki-key, a) Corresponde a um sensor com sensibilidade de pico de 650 nm, b) Corresponde a um sensores com sensibilidade de pico de 850 nm.

2.1.2. Fibras ópticas

No laboratório existe a fibra óptica Toray que possui um revestimento exterior muito fino (10 µm), tendo um diâmetro total de 250 µm tornando-a muito flexível. Esta

fibra tem um gráfico de atenuação que pode ser observado na Figura 2.13, no entanto, esta é apenas uma parte do gráfico da Figura 2.4, uma vez que o material do núcleo é sempre igual, isto é, de PMMA. Ao ser analisado este gráfico da Figura 2.13 pode ser observado que este é dado para uma determinada gama de valores de comprimento de onda, isto justifica-se pelo facto de neste intervalo serem garantidos os respetivos valores de atenuação, também pode ser verificado que acima dos 710 nm os valores de atenuação já não são muito razoáveis, assim não é recomendada a utilização desta fibra para grandes distâncias utilizando receptores/transmissores de 820 nm.

Antecipando as conclusões é fácil de concluir que esta fibra apresenta perdas de radiação consideráveis, pois possui um revestimento quase inexistente, o que leva a perdas de radiação através da sua parede exterior, que somada à atenuação considerável para comprimentos de onda superiores a 710 nm, obtém-se uma perda significativa da intensidade de radiação.

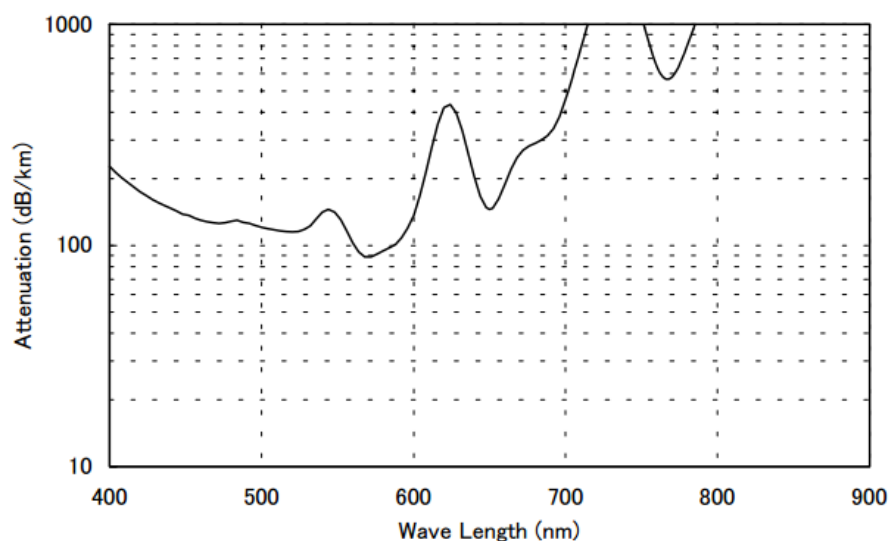


Figura 2.13-Gráfico da atenuação da fibra em função do comprimento de onda para fibras de POF.

Embora esta fibra óptica encontre-se disponível no laboratório, pode ser encomendada no *website* da Toray (9) verificando-se que existem outras fibras semelhantes diferindo apenas no seu diâmetro, variando entre os 250 μm e os 3000 μm .

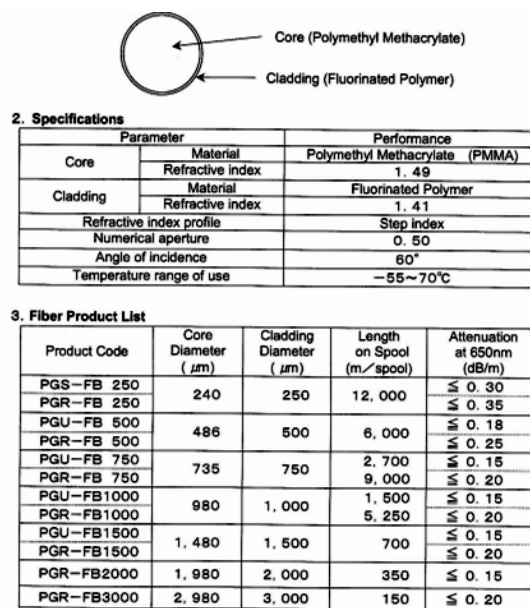


Figura 2.14-- A imagem mostra um quadro onde está enunciado as características da fibra óptica Toray. A Lista das fibras Toray completa está em catálogo no *website* da Toray. (9)

A fibra que se encontra disponível no laboratório possui o código PGS-FB 250 e é de 1200 metros, assim esta fibra poderá ser utilizada nos ensaios, uma vez que necessária a sua encomenda esta encontra-se disponível no mercado.

No website da Farnell foram pesquisadas fibras que possuíssem os seguintes requisitos: serem do tipo multimodo e possuírem um núcleo em PMMA. Neste mesmo website (10), foi obtida apenas uma única fibra com as características referenciadas anteriormente mostrada na Figura 2.15.

Order Code	Manufacturer Part No	Manufacturer / Description	Availability	Price	Qty	Extended Attributes							
						Reel Length (Imperial)	Reel Length (Metric)	Fibre Diameter	No. of Fibres	Jacket Colour	Jacket Material	External Diameter	Conductor Material
3824536	CN06050	MH CONNECTORS CABLE, OPTICAL, 50M, DRUM More Details	15 in stock cut-off times	Price For: 1 Each 1+ £61.31 10+ £58.76 20+ £53.97 50+ £51.38	1 BUY	164ft	50m	1.04mm	1	Black	PE (Polyethylene)	2.2mm	PMMA (Polymethyl Methacrylate)
						Check more stock...							

Figura 2.15-- Fibra óptica obtida no *website* da Farnell.

De seguida, foi efetuada uma pesquisa semelhante à anterior, mas agora no *website* da RS-Componentes (11), onde as especificações requeridas foram as mesmas. As fibras encontradas neste website foram 3 como se pode ver na Figura 2.16:

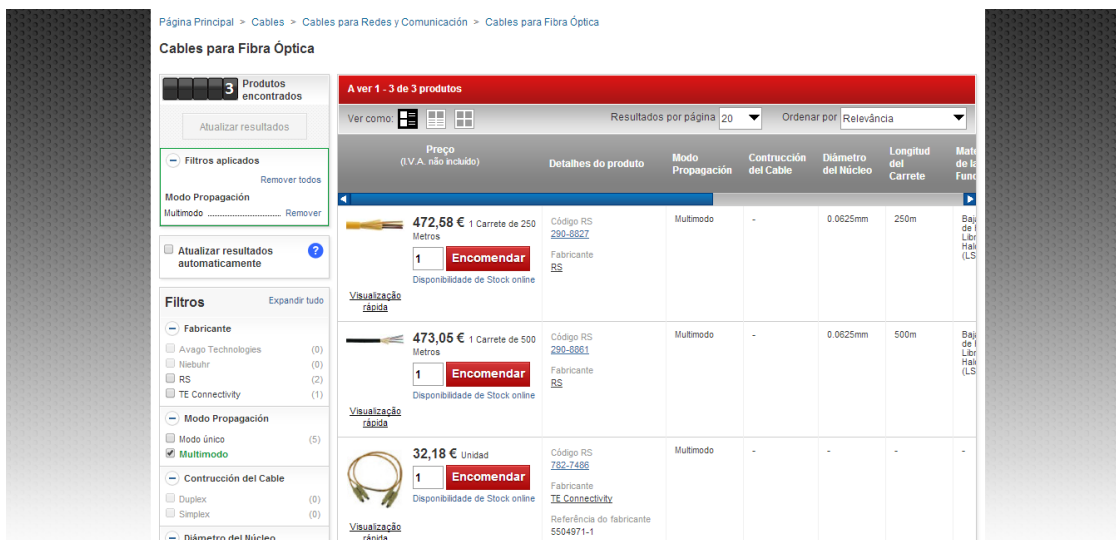


Figura 2.16-Fibra ópticas obtidas no *website* da Rs-componentes.

Posteriormente no *website* da Digi-key (12) foram pesquisadas as fibras ópticas que preenchessem os requisitos já acima referidos. Foram assim encontradas cerca de 1000 fibras diferentes, na Figura 2.17 estão apresentadas algumas dessas fibras encontradas.

Compare Parts	Image	Digi-Key Part Number	Manufacturer Part Number	Manufacturer	Description	Quantity Available	Unit Price GBP	Minimum Quantity	Series	1st Connector	2nd Connector	Cable Diameter	Cable Type	Features	Fiber Type	Length - Overall
		AE12458-ND	DK-2833-01	Assmann WSW Composites	CABLE FIBER OPTIC DUAL LC LC 3M	87 - Immediate	13.82000	1	Duplex®	LC Duplex	LC Duplex	0.12" (3.0mm)	Buffered Fiber	-	82.5125	3.28 (1.0m)
		AE12441-ND	DK-2833-03	Assmann WSW Composites	CABLE FIBER OPTIC DUAL LC LC 3M	78 - Immediate	13.96000	1	Duplex®	LC Duplex	LC Duplex	0.12" (3.0mm)	Buffered Fiber	-	82.5125	9.84 (3.0m)
		AE12400-ND	DK-2833-02	Assmann WSW Composites	CABLE FIBER OPTIC DUAL LC LC 2M	88 - Immediate	12.96000	1	Duplex®	LC Duplex	LC Duplex	0.12" (3.0mm)	Buffered Fiber	-	82.5125	6.56 (2.0m)

Figura 2.17-- Representação de alguns resultados de fibras ópticas no *website* da Digi-key.

Para se evitar a montagem dos conectores na fibra óptica, dada dificuldade de alinhar e cortar esta mesma fibra no conetor, foram procuradas fibras que já possuíssem incorporados conectores SMA, para isso voltou-se a fazer uma nova pesquisa nos *websites* anteriormente referidos com objetivo de encontrar fibras com este novo requisito. Um outro fator importante a ter em conta aquando a seleção destas fibras, para além dos requisitos já referidos, é o comprimento de cabo das mesmas. O objetivo foi o de encontrar uma fibra com os respetivos conectores incorporados e com um comprimento de aproximadamente a 25 metros ou mais. De seguida são mostrados os *websites* onde foram encontradas as fibras com os respetivos conectores SMA.

No *website* da Rs-componentes (13), foi pesquisado cabos de fibra ótica com terminais SMA já embutidos, com núcleo em PMMA e serem do tipo multimodo, assim foi verificado que existiam os seguintes cabos apresentados na Figura 2.18.

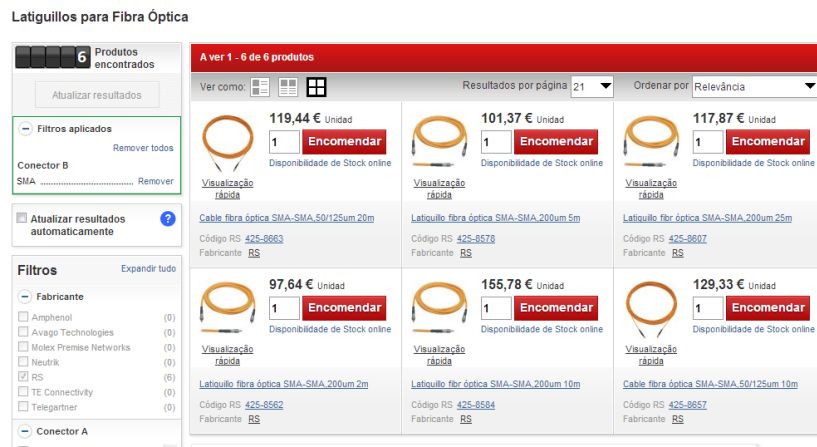


Figura 2.18-Resultado da pesquisa de cabos de fibra óptica com terminais SMA no *website* da RS-components.

A seleção do cabo de fibra óptica neste *website* foi simplificada pelo facto de apenas um dos seis produtos acima mostrados (Figura 2.18) possuir um comprimento de 20 metros. A Figura 2.19 mostra a imagem do produto escolhido referente a este *website*:



Figura 2.19-Cabo de fibra óptica com conetores SMA escolhido no *website* da RS components.

De seguida no *website* da Farnel (14) foi realizada a mesma pesquisa, onde foram procuradas fibras com conetores SMA do tipo multimodo, onde foram encontrados os seguintes produtos apresentados na Figura 2.20:

Código Farnell	Referência de fabricante	Fabricante / Descrição	Disponibilidade	Preço	Quantidade
1208863	A10B5L10A0	FIBRE DATA LEAD, FIBRE OPTIC, 10M Mais detalhes	5 em stock Períodos limite	Uds. por pacote: 1 Unidade 1+ 80,18 € 5+ 62,58 € 10+ 51,32 € 25+ 49,46 € ver mais...	1
1208864	A10B5L20A0	FIBRE DATA LEAD, FIBRE OPTIC, 20M Mais detalhes	Prazo de entrega curto	Uds. por pacote: 1 Unidade 1+ 95,62 € 5+ 73,87 € 10+ 60,58 € 25+ 58,40 € ver mais...	1
1208865	A10B5L2A0	FIBRE DATA LEAD, FIBRE OPTIC, 2M Mais detalhes	1 em stock Períodos limite	Uds. por pacote: 1 Unidade 1+ 69,49 € 5+ 62,01 € 10+ 50,97 € 25+ 42,23 € ver mais...	1

Figura 2.20-Resultado das fibras encontradas no *website* Farnell.

Destas três fibras com as mesmas características foi selecionada a que possui um maior comprimento, que neste caso é 20 metros, a seguinte imagem mostra a fibra selecionada neste *website*:

FIBRE DATA - A10B5L20A0 - LEAD, FIBRE OPTIC, 20M



Fabricante: FIBRE DATA
Código Farnell: 1208864
Referência de fabricante: A10B5L20A0
[Technical Data Sheet \(288.63K8\).EN](#)

Imagem só a efeitos ilustrativos. Confira os detalhes do produto.

Informação do Produto

- LEAD, FIBRE OPTIC, 20M
- No. of Fibres: 1
- Fibre Type: Multimode
- Fibre Diameter: 50µm
- SVHC: No SVHC (20-Jun-2013)
- Cable Assembly Type: Fibre Optic
- Cable Length: 20m
- Cladding Diameter Compatibility: 0.125
- Core Diameter: 0.05mm
- External Diameter: 2.5mm
- Ferrule Material: Ceramic
- Lead Length: 20m

Figura 2.21-Fibra selecionada no *website* da Farnell.

No *website* da Thorlab (15) existem diversas fibras do tipo multimodo com conectores SMA embutidos, estas com o núcleo em sílica ou em PMMA. As fibras observadas na Figura 2.22 têm núcleo em sílica podendo estas ter diâmetros que variam entre 10 e 1000 µm, no entanto o seu comprimento máximo é de 5 metros.



Figura 2.22-Mostra as fibras disponíveis com conectores SMA embutidos no *website* da Thorlabs.

2.1.3. Conectores de Ligação

Os sensores utilizados em laboratório têm por norma uma conexão SMA, portanto foi necessário pesquisar terminais SMA para embutir na fibra óptica Toray. Aquando da pesquisa dos sensores também foi tido em conta a existência de uma conexão do tipo SMA.

Para encontrar estes conectores SMA efetuou-se inicialmente uma pesquisa no website da Digi-key (16) aplicando-se uma restrição da mesma, por forma a obter apenas conectores de fibra ótica do tipo multimodo, tendo sido encontrados 25 conectores com esta especificação. Na Figura 2.23 estão ilustrados alguns desses conectores.

Results per Page 25 Page 1/1 Download Table

Compare Parts	Image	Digi-Key Part Number	Manufacturer Part Number	Manufacturer	Description	Quantity Available	Unit Price GBP	Minimum Quantity	Series	Connector Style	Connector Type	Simplex/Duplex	Mode	Fiber Core Diameter	Fiber Cladding Diameter	Cable Diameter	Mounting Type	F
<input type="checkbox"/>		A33720-ND	5504566-1	TE Connectivity	CONN FIBER FSMA PLUG SMPLEX 125UM	493 - Immediate	\$ 11000	1	OPTIMATE Amp	FSMA	Plug	Simplex	Multimode	-	125µm	3.1mm	Free Hanging (In-Line)	T
<input type="checkbox"/>		A33721-ND	5504566-2	TE Connectivity	CONN FIBER FSMA PLUG SMPLEX 140UM	412 - Immediate	\$ 11000	1	OPTIMATE Amp	FSMA	Plug	Simplex	Multimode	-	140µm	3.1mm	Free Hanging (In-Line)	T
<input type="checkbox"/>		A33722-ND	3-5504566-0	TE Connectivity	CONN FIBER FSMA PLUG SMPLEX	292 - Immediate	\$ 11000	1	OPTIMATE Amp	FSMA	Plug	Simplex	Multimode	-	1000µm	3.1mm	Free Hanging (In-Line)	T
<input type="checkbox"/>		A36218-ND	5504014-1	TE Connectivity	CONN FIBER FSMA PLUG SMPLEX 125UM	234 - Immediate	9.63000	1	OPTIMATE Amp	FSMA	Plug	Simplex	Multimode	-	125µm	3.1mm	Free Hanging (In-Line)	T

Figura 2.23-Conectores SMA para acoplamento fibra óptica do website da Digi-key.

Na Rs-components (17) foi realizada uma pesquisa semelhante à anterior utilizando os mesmos filtros, na qual foram encontrados três conectores SMA, que estão representados na Figura 2.24 :

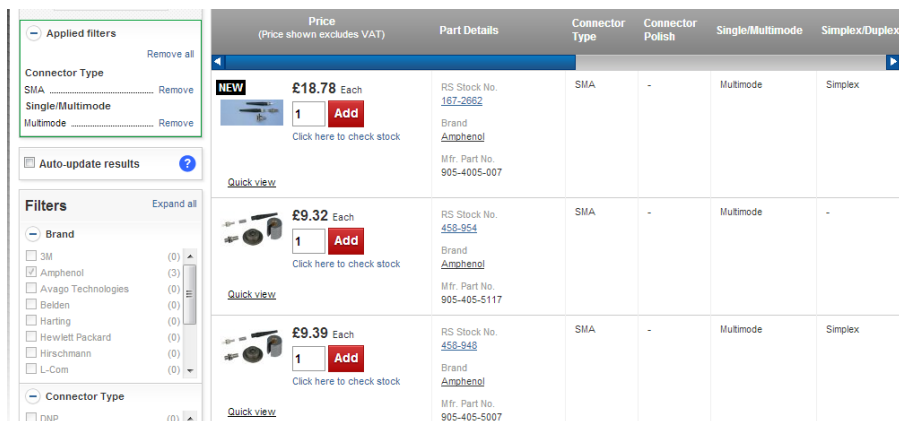


Figura 2.24-Conectores SMA para acoplamento fibra óptica do *website* da Rs-components.

No *website* da Farnell (18) também foram pesquisados, utilizados os mesmos filtros anteriormente referidos, os conectores SMA tendo sido encontrados 3, estes estão representados na Figura 2.25:

Código Farnell	Referência de fabricante	Fabricante / Descrição	Disponibilidade	Preço	Quantidade	Conector Type	Series	Fibre Type	Fibre Diameter	Connector Body Material	SVHC
1842146	905-150-5001	AMPHENOL FIBER OPTICS SMA FIBER OPTIC CONNECTOR 1257H MULTIMODE	66	Uds. por pacote: 1 Unidade 1+ 15,92 € 10+ 14,18 € 25+ 12,77 € 50+ 12,06 € Ver mais...	1	SMA Fiber Optic	905	Multimode	128um	Metal	To Be Advised
1842160	905-150-5003	AMPHENOL FIBER OPTICS SMA FIBER OPTIC CONNECTOR 200/2307H MULTIMODE	274	Uds. por pacote: 1 Unidade 1+ 15,92 € 10+ 14,18 € 25+ 12,77 € 50+ 12,06 € Ver mais...	1	SMA Fiber Optic	905	Multimode	200 / 230um	Metal	To Be Advised
1842171	905-150-5004	AMPHENOL FIBER OPTICS SMA FIBER OPTIC CONNECTOR 400/4307H MULTIMODE	300	Uds. por pacote: 1 Unidade 1+ 15,92 € 10+ 14,18 € 25+ 12,77 € 50+ 12,06 € Ver mais...	1	SMA Fiber Optic	905-150	Multimode	400um / 430um	Metal	To Be Advised

Figura 2.25-Conectores SMA para acoplamento fibra óptica do *website* da Farnell.

Por último no *website* da Thorlabs (19) foram encontrados vários conectores com diferentes diâmetros e ligadores (Figura 2.26) para a conexão com o a fibra óptica Toray.

SMA905 Fiber Connectors: Multimode, Stainless Steel Ferrule

Item #	Style	Bore Diameter	Bore Diameter Tolerance	Ferrule	Included Boot	Crimp Tool Required
10125A	SMA905	128 µm	+5/-0 µm	Ø3.2 mm, Stainless Steel	Ø3 mm	CT042
10140A	SMA905	144 µm	+5/-0 µm	Ø3.2 mm, Stainless Steel	Ø3 mm	CT042
10230A	SMA905	231 µm	+10/-0 µm	Ø3.2 mm, Stainless Steel	Ø3 mm	CT042
10250A	SMA905	250 µm	+15/-0 µm	Ø3.2 mm, Stainless Steel	Ø3 mm	CT042
10260A	SMA905	260 µm	+13/-0 µm	Ø3.2 mm, Stainless Steel	Ø3 mm	CT042
10270A	SMA905	270 µm	+15/-0 µm	Ø3.2 mm, Stainless Steel	Ø3 mm	CT042
10340A	SMA905	340 µm	+15/-0 µm	Ø3.2 mm, Stainless Steel	Ø3 mm	CT042
10410A	SMA905	410 µm	+15/-0 µm	Ø3.2 mm, Stainless Steel	Ø3 mm	CT042

Figura 2.26- Conectores SMA encontrado o *website* da Thorlabs. (19)

A seleção dos conectores terá de ser feita em função da fibra óptica utilizada, assim, sabendo que esta fibra Toray possui um diâmetro 250 µm, o conector para esta

deverá ter um diâmetro menor ou igual para que seja assegurado a centralidade da fibra no conector.



2.27- Conectores SMA encontrado o *website* da Thorlabs. (19)

Os ligadores são necessários para efetuar a conexão da fibra toray, que é muito frágil e que possui uma atenuação elevada para comprimentos de onda superiores a 710 nm, com uma outra fibra que possua revestimento exterior, permitindo suportar os choques que ocorrem durante a montagem dos ensaios de detonação, entre a câmara de explosões e o local onde se encontra o material de processamento do sinal óptico. Com a utilização desta junção, fibra toray, ligador e fibra com revestimento permite diminuir as perdas da fibra toray, uma vez que é utilizada uma pequena quantidade de fibra Toray

Como é possível observar na Figura 2.28 só existe um tipo de ligador SMA-SMA que é o ADASMA.

Connector 2

		FC/PC	FC/APC	SMA	LC/PC	SC/PC	ST/PC	Ø1.25 mm Ferrule	Ø2.5 mm Ferrule
Connector 1	FC/PC	ADAFEC1° ADAFEC2° ADAFPCM1° ADAFPCM2° ADAF1°		ADAFCSMA1°		ADAFCS1 ADAF1°	ADAFCS1 ADAF1°		ADAF1°
	FC/APC		ADAFEC3° ADAFEC4° ADAFPCM1° ADAFPCM2°						
	SMA	ADAFCSMA1°		ADASMA°					
	LC/PC				ADALC1 ADAL1°			ADAL1°	
	SC/PC	ADAFCS1 ADAF1°				ADASC1 ADAF1°	ADAF1°		ADAF1°
	ST/PC	ADAFCS1 ADAF1°				ADAF1°	ADAST° ADAF1°		ADAF1°
	Ø1.25 mm Ferrule				ADAL1°			ADAL1°	
	Ø2.5 mm Ferrule	ADAF1°				ADAF1°	ADAF1°		ADAF1°

Figura 2.28-Tabela de ligadores disponíveis no *website* da Thorlabs.

2.2. Princípios de emissão e recepção e equipamento selecionado

Depois de efetuada a pesquisa do equipamento foi necessário selecionar o material a encomendar: os recetores, os transmissores, as fibras, os terminais SMA e os ligadores SMA-SMA.

Anteriormente foi descrita toda a pesquisa relevante para a seleção do equipamento mencionado. O equipamento que irá ser apresentado foi encomendado ao LEDAP (Laboratório Energética e Detónica Associação de Apoio) e montado segundo as especificações de cada componente.

Os recetores e os transmissores selecionados foram encomendados no *website* da Rs-components, devido à facilidade de entrega deste fornecedor.

Portando no *website* da RS-components foi selecionado o receptor HFBR-2406Z (Figura 2.29) porque este é um receptor analógico (transmite um sinal elétrico variável dependendo da intensidade do sinal óptico), tem uma taxa de transmissão de dados de 125 MBd, possui como já referido um gráfico de resposta normalizada para comprimentos de onda de 820 nm e por fim por conter uma conexão com conetores do tipo SMA.

Página Principal > Displays y Optoelectrónica > Componentes de Fibra Óptica > Receptores de Fibra Óptica

HFBR-2406 125MHz fibre optic rx, sma

Preço unitário Unidad

Ainda não está identificado na RS Online, pelo que pode não estar vendo os preços acordados com a sua empresa. [Iniciar sessão](#)

Quantidade	Preço unitário
1	18,35 €
5	17,68 €
20	16,09 €
50	15,15 €
100	13,73 €

Em stock, com entrega em 24 horas para encomendas realizadas antes das 18:00.

Código RS: 236-688
 Fabricante: Avago Technologies
 Referência do fabricante: HFBR-2406Z
 Estado RoHS: Conforme
 Comentários de clientes: (0) Adicionar um comentário

Figura 2.29-Receptor de fibra óptica analógico com sensibilidade de pico de 820 nm selecionado.

Da mesma forma o receptor HFBR-2402 foi outro componente selecionado no *website* da Rs-components (Figura 2.30) por ser digital (emite uma voltagem constante de 5 volts quando não recebe qualquer sinal óptico, caso contrário transmite um potencial de 0 Volts), por ser sensível a comprimentos de 820nm, por ter uma taxa de transmissão de dados de 5 MBd, por possuir uma conexão do tipo SMA e um gráfico de resposta normalizada para comprimentos de onda de 820 nm.

Página Principal > Displays y Optoelectrónica > Componentes de Fibra Óptica > Receptores de Fibra Óptica

HFBR-2402

Preço unitário Unidad

Ainda não está identificado na RS Online, pelo que pode não estar vendo os preços acordados com a sua empresa. [Iniciar sessão](#)

Quantidade	Preço unitário
1	14,73 €
5	14,19 €
20	12,92 €
50	12,16 €
100	11,25 €

Em stock, com entrega em 24 horas para encomendas realizadas antes das 18:00.

Código RS: 236-666
 Fabricante: Avago Technologies
 Referência do fabricante: HFBR-2402Z
 Estado RoHS: Conforme
 Página: 1021
 Comentários de clientes: (0) Adicionar um comentário

Figura 2.30-Receptor de fibra óptica digital com sensibilidade de pico de 820 nm.

O transmissor correspondente ao receptor HFBR-2402 é o HFBR-1404, como pode ser observado no seu *datasheet* (anexo C e D) portanto este foi também encomendado no *website* da Rs-components, representado na Figura 2.31.

Página Principal > Displays y Optoelectrónica > Componentes de Fibra Óptica > Transmissores de Fibra Óptica

HFBR-1404 160MBd fibre optic tx, sma





A imagem representada pode não ser a do produto

Preço unitário Unidad	
Quantidade	Preço unitário
1	14,12 €
5	13,61 €
20	12,39 €
50	11,66 €
100	11,25 €

Em stock, com entrega em 24 horas para encomendas realizadas antes das 18:00.

Código RS: 236-767

Fabricante: Avago Technologies

Referência do fabricante: HFBR-1404Z

Estado RoHS: Conforme

Comentários de clientes: (0) Adicionar um comentário

Ainda não está identificado na RS Online, pelo que pode não estar vendo os preços acordados com a sua empresa. Iniciar sessão

Figura 2.31-Transmissor com comprimento de onda de 820 nm selecionado no *website* da Rs-components.

Uma vez que não existem receptores analógicos para a sensibilidade máxima de pico de 650 nm de comprimento de onda foi selecionado o HFBR-2505 (digital) porque este tem uma taxa de transmissão de dados de 10 MBd, possui um gráfico de resposta normalizada e uma ligação para conetores SMA. Este está ilustrado na Figura 2.32. **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

HFBR-2505A 10MBd fibre optic rx, sma





A imagem representada pode não ser a do produto

Código RS: 236-701

Fabricante: Avago Technologies

Referência do fabricante: HFBR-2505AZ

Estado RoHS: Conforme

Comentários de clientes: (0) Adicionar um comentário

Figura 2.32-Receptor de fibra óptica digital com sensibilidade de pico de 650 nm selecionado no *website* da Rs-components.

Da mesma forma foi selecionado segundo o *datasheet* do receptor HFBR-2505A o transmissor correspondente que é o HFBR-1505A como se pode ver na Figura 2.33.

HFBR-1505A 10MBd fibre optic tx, sma

Quantidade	Preço unitário
1	10,82 €
5	10,23 €
20	9,31 €
50	8,78 €
100	8,67 €

Em stock, com entrega em 24 horas para encomendas realizadas antes das 18:00.

Código RS: 236-593
 Fabricante: Avago Technologies
 Referência do fabricante: HFBR-1505AZ
 Estado RoHS: Conforme
 Comentários de clientes: (0) Adicionar um comentário

Figura 2.33-Transmissor com comprimento de onda de 650 nm selecionado no *website* da Rs-components.

Todas as fichas técnicas dos transmissores e receptores estão em anexo para que se possa verificar outra especificação não mencionada.

Relativamente à fibra óptica escolhida optou-se por uma fibra que já possuía conetores SMA embutidos com o maior comprimento possível, tendo isto em conta foi selecionada uma das fibras ópticas no fornecedor *online* da RS-components. Os fatores a ter em conta são o comprimento, a conexão SMA e o modo de propagação multimodo, assim foi escolhida a fibra óptica apresentada na Figura 2.34 que possui um comprimento de 25 metros. Um ponto limitativo para esta escolha, foi a dificuldade de encontrar fibras ópticas com conetores SMA embutidos que tenham comprimentos superiores a 10 metros.

Latiguillo fibr óptica SMA-SMA,200um 25m

Quantidade	Preço unitário
1	117,87 €

Fora de Stock. Disponível em 07/04/2014

Código RS: 425-8607
 Fabricante: RS
 Estado RoHS: Não aplicável
 Comentários de clientes: (0) Adicionar um comentário

Encomenda pendente
 Adicione o produto à encomenda e enviar-lhe-emos assim que estiver disponível.

Figura 2.34-Fibra óptica de PMMA selecionada do *website* da Rs-components

Para selecionar o problema dos conetores SMA foi unicamente tido em consideração as dimensões do furo deste, uma vez que a fibra óptica tem de ficar centrada no furo do conector. Assim foi optado por um furo do conector com dimensões menores do que a fibra óptica Toray onde vão ser embutidos. Portanto o conector SMA selecionado tem um diâmetro de furo de 231µm (código 10230A) do *website* da Thorlabs (19), sendo

que a sua imagem é apresentada na Figura 2.35 e as suas dimensões apresentadas no Anexo F.



Figura 2.35- Conector SMA da thorlabs selecionado para acoplamento da fibra óptica Toray (19)

Por fim os conetores FSMA de ligação selecionados foram os referidos no *website* da Thorlabs no subcapítulo 2.1.3, ou seja, o modelo ADASMA (20) que é exposto na Figura 2.36.



Figura 2.36-Ligadores selecionados no site da Thorlabs para acasalamento de dois conetores SMA.

2.3. Circuito e sinal elétrico dos sensores selecionados

Foram escolhidos dois tipos de sensores, uns de 650 nm e outros de 820 nm de comprimento de onda de emissão. O receptor de sensibilidade máxima de 820 nm de comprimento de onda, HFBR2406Z, apresenta um circuito elétrico para a sua montagem no datasheet, porém como é possível verificar na Figura 2.37 o circuito elétrico utilizado dispensou os amplificadores operacionais propostos no seu *datasheet*, pois o sinal emitido (em voltagem) por este já era suficientemente elevado para ser detetado pelo osciloscópio.

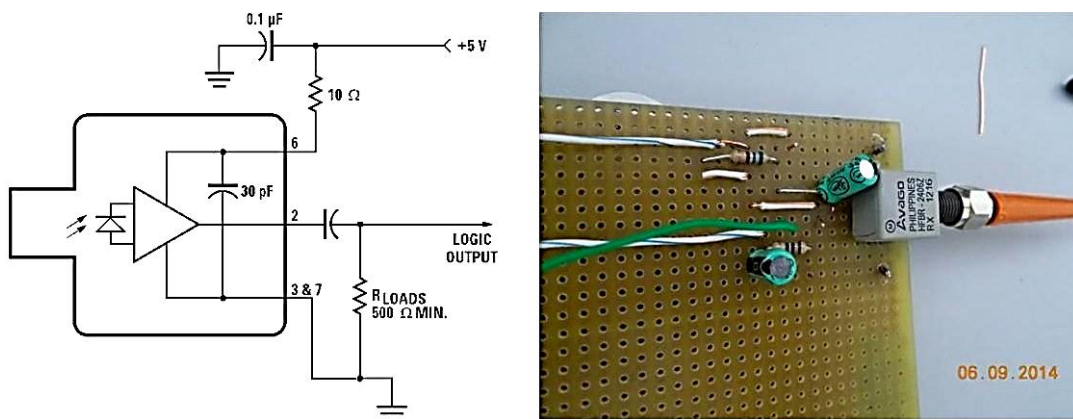


Figura 2.37-Circuito elétrico e montagem do receptor analógico HFBR-2406Z selecionado de sensibilidade máxima de 820 nm de comprimento de onda.

O HFBR-2402 é um receptor digital com uma sensibilidade máxima de 820 nm de comprimento de onda, é possível observar que este foi montado segundo o circuito elétrico apresentado Figura 2.38. Como este receptor é digital funciona com uma voltagem variável de 5 ou 0 Volts dependendo do sinal óptico do transmissor e não da sua intensidade.

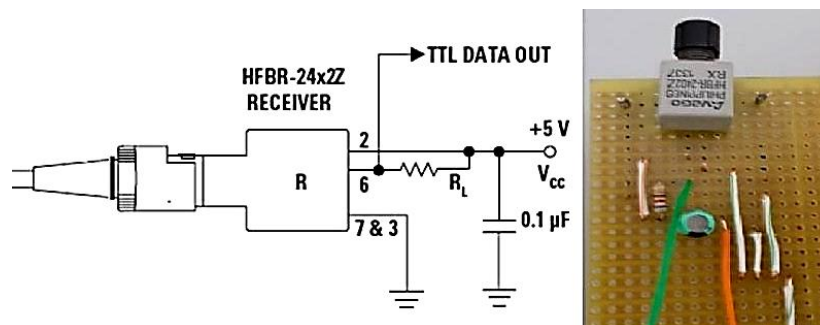


Figura 2.38- Circuito elétrico e montagem do receptor digital HFBR-2402 Z selecionado de sensibilidade de 820 nm de comprimento de onda.

Como é possível ver na figura seguinte o receptor apresenta um condensador que serve para estabilizar o sinal e uma resistência utilizada para garantir a segurança do mesmo, estando este alimentado por uma fonte de alimentação de 5 Volts.

O esquema do circuito elétrico do receptor HFBR-2505AZ foi montado e testado utilizando um osciloscópio (Figura 2.39). Chegando assim à conclusão que o receptor deteta a luz emitida pelo transmissor de sensibilidade máxima de 820 nm.

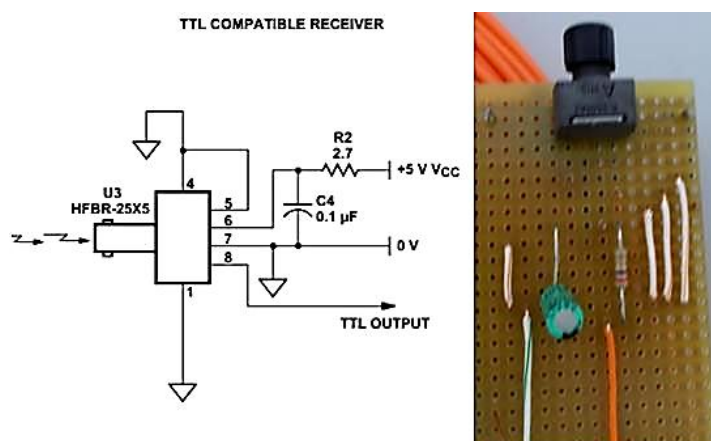


Figura 2.39-Circuito elétrico e montagem do receptor digital HFBR 2505.

Os resultados dos testes realizados estão apresentados na Figura 2.40 onde é possível verificar que o recetor funciona, porque a oscilação é variável entre o potencial de 0V e 5V e este sinal tem a mesma frequência do transmissor, controlada pelo SWG (Generator Wave Signal).

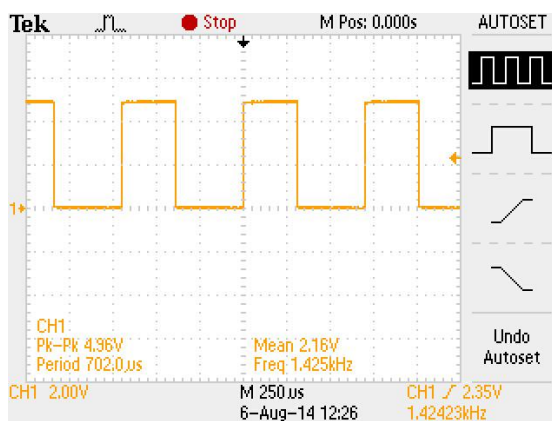


Figura 2.40 - Sinal observado a partir de um osciloscópio de um receptor digital HFBR2505 quando conectado por uma fibra óptica com um transmissor de 820 nm de sensibilidade máxima.

O gerador de sinal de onda (SWG) é necessário para acoplar nos circuitos elétricos dos transmissores, fazendo com que gerem impulsos luminosos, o SWG possui um componente principal um circuito integrado LMC 555, em que a sua frequência varia em função do valor das resistências do seu circuito, deste modo foi utilizado valores de resistências que maximizassem a frequência do sinal gerado (a frequência dos impulsos). Assim, o circuito elétrico utilizado está apresentado na Figura 2.41.

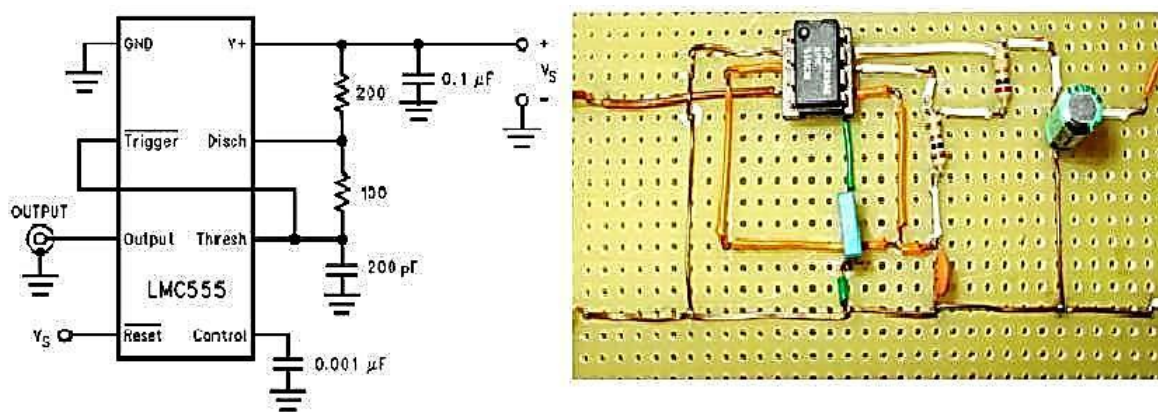


Figura 2.41-Circuito elétrico e montagem do gerador de sinal de onda variável entre 0 e 5 Volts

O mesmo circuito elétrico foi reproduzido montado e alimentado por uma fonte de 5 V estabilizada para a obtenção do sinal da Figura 2.42 onde se pode observar que SWG tem uma frequência bastante elevada de 3.59 MHz e um tempo de subida e descida do sinal em 20 ns e 30 ns respetivamente.

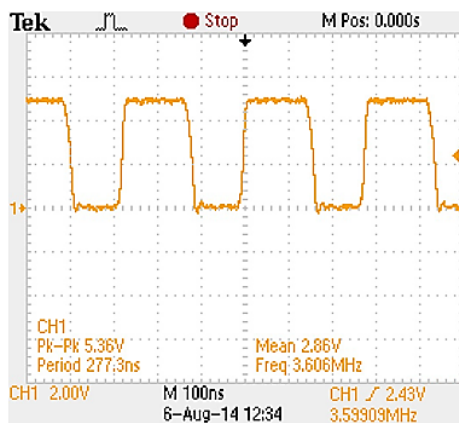


Figura 2.42-Sinal elétrico produzido pelo SWG depois de montado.

Foram escolhidos dois tipos de transmissores, um de 650 nm de comprimento de onda de emissão e um outro de 820 de comprimento de onda de emissão.

Na Figura 2.43 é mostrado um circuito elétrico do transmissor HFBR-1404 Z de 820 nm de comprimento de onda, bem como o seu circuito elétrico onde é discriminada a ligação com o SWG ao circuito integrado 7545. Este circuito elétrico permite desligar o emissor quando o SWG transmite uma voltagem de 5 Volts ao transístor que por sua vez desvia a corrente para a “terra”, colocando o circuito integrado em curto-circuito, permitindo assim que o transmissor não aqueça ao emitir luz pulsada.

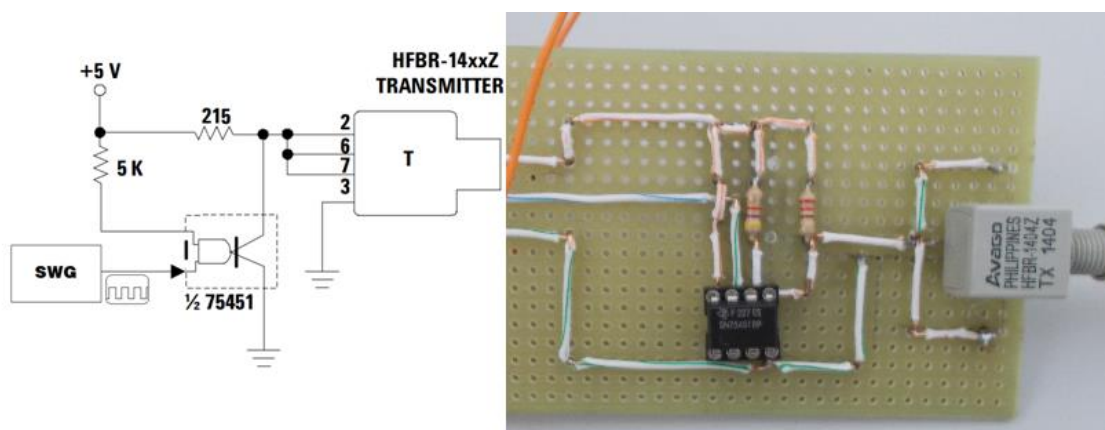


Figura 2.43-Circuito elétrico e montagem do transmissor selecionado de 820 nm de comprimento de onda.

Ao ligar o transmissor com o gerador de sinal onda, interligado por uma fibra óptica ao receptor HFBR-2406 Z, caracterizou-se o receptor obtendo-se um sinal com a mesma frequência do SWG, como se pode observar na Figura 2.44.



Figura 2.44-Sinal obtido na caracterização do receptor HFBR-2406Z.

O transmissor HFBR-1505 AZ emite luz monocromática com comprimentos de onda próximos dos 650 nm. O circuito elétrico deste é apresentado na Figura 2.45 onde se vê que também é necessário um gerador de sinal de onda (SWG) para a conexão deste com que o circuito integrado DS75451, colocando também o ponto 3 em curto-circuito, desviando a corrente do PIN 8, fazendo com que o transmissor comece a emitir pulso de luz, como sucede no transmissor HFBR-1404.

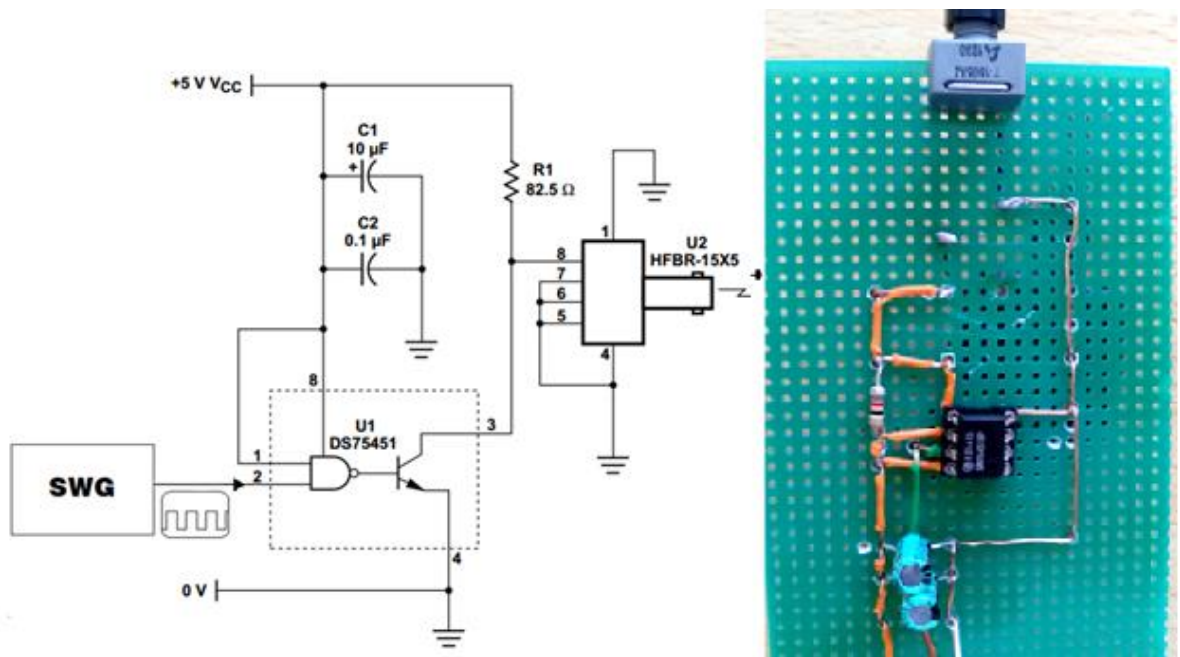


Figura 2.45-Circuito elétrico do transmissor e do receptor digital selecionado de 650 nm de comprimento de onda.

Todos os circuitos elétricos representados foram retirados ou adaptados dos *datasheet* dos sensores que estão em ANEXO.

3. EXECUÇÃO EXPERIMENTAL

A fim de calibrar e de verificar o tempo de subida dos receptores analógicos com sensibilidade máxima de 820 nm, que estão incorporados no conversor optoeletrónico já existente em laboratório, foi acoplado a este, através de uma fibra óptica, um gerador de impulsos de laser, com o objetivo de medir a atenuação da luz das fibras ópticas e de verificar a montagem dos conectores SMA nas fibras Toray. Esta medição é realizada a partir de um osciloscópio que é utilizado para registar o sinal elétrico transmitido pelo receptor, permitindo assim analisar o sinal. Este mesmo osciloscópio quando utilizado no ensaio de detonação, para medir a velocidade desta, tem a função de inicialização de todo o processo de registo.

3.1. Equipamento de calibração

Como foi referido o tempo de subida dos recetores será uma variável a calibrar e analisar, pois dela depende a precisão da medida. Por outro lado a atenuação sofrida pelas fibras ópticas tem de ser quantificada para se saber se o seu valor é apreciável, para isso foi utilizado um gerador de impulso laser, um transmissor, um conversor optoelectrónico e um osciloscópio. Assim para medir e calibrar foi necessário conectar praticamente todos os equipamentos mencionados. A diferença porém encontrada está na medição do tempo de atraso entre pico, neste caso o conetor SMA que estava conectado com adaptador optoelectrónico digital é conectado ao adaptador optoelectrónico memo-estável de 0 e 5V que por sua vez vai transmitir um sinal elétrico ao osciloscópio.

Todos estes dispositivos que constituem este sistema de medição estão representados na Figura 3.1.

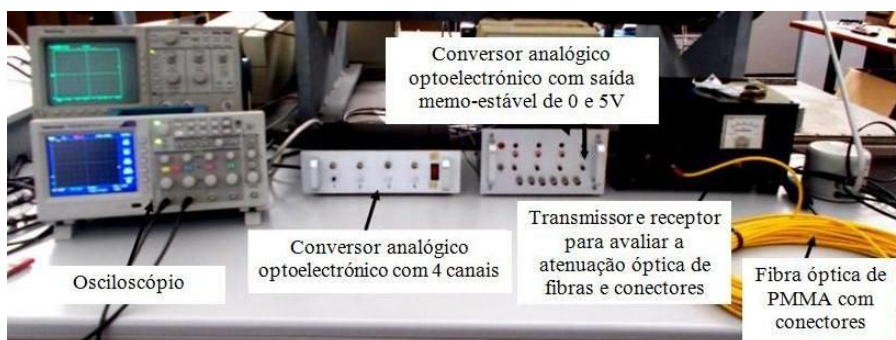


Figura 3.1-Esquema de montagem dos dispositivos para calibração, e comparação nos dois casos, com memo-estável.

3.1.1. Emissão (montagem e medida)

O gerador laser de impulsos existente no laboratório é composto por um transmissor laser de 820 nm que gera um pulso de luz com uma determinada frequência, de modo a efetuar a medição do tempo de subida e descida do receptor. No equipamento onde se encontra o gerador de impulsos, existe também embutido um recetor de radiação ligado a um mostrador analógico para medir a intensidade da luz emitida pela fibra, o que permite dar uma boa indicação da intensidade do sinal, podendo assim determinar se este é forte o suficiente para ser detetado pelo osciloscópio.

Os conetores têm também um papel fundamental para que a emissão se efetue sem problemas, porque a radiação emitida pelo gerador de pulsos só entra eficazmente na fibra óptica se esta estiver alinhada e com um bom acabamento superficial.

Por fim é de realçar que os transmissores necessitam de emitir comprimentos de onda iguais aos detetados pelos recetores, porque embora os transmissores emitam uma radiação muito intensa, esta corresponde a um comprimento de onda muito estreito, que pode não ser sensível ao receptor. Assim quando utilizados diferentes sensores com diferentes comprimentos de onda, os receptores podem não detetar a radiação emitida pelos transmissores.

Neste trabalho são utilizados dois comprimentos de onda um 650 nm e outro de 820 nm e como é fácil de compreender se for colocado um transmissor de 820 nm conectado a um receptor de 650 nm este detetará o sinal, porém o contrário pode não ser possível como se vê pela comparação das Figura 2.9 e Figura 2.10.

3.1.2. Receção (montagem e medida)

O transmissor emite radiação para a fibra, que é transportada até ao receptor, portanto para que esta emissão seja eficaz é importante ter em conta o acabamento e alinhamento do conector SMA com os sensores. Como já referido para a receção do sinal existe um dispositivo, o conversor optoelectrónico analógico. O adaptador optoelectrónico será constituído por 8 receptores, estando um apresentado na Figura 3.2. Estes possuem um sistema que permite alternar a tensão (negativa e positiva) entre picos de luz, permitindo assim eliminar o ruído e a saturação do sinal obtido no osciloscópio, no caso de o sensor apresentar *slowrate* na descida.

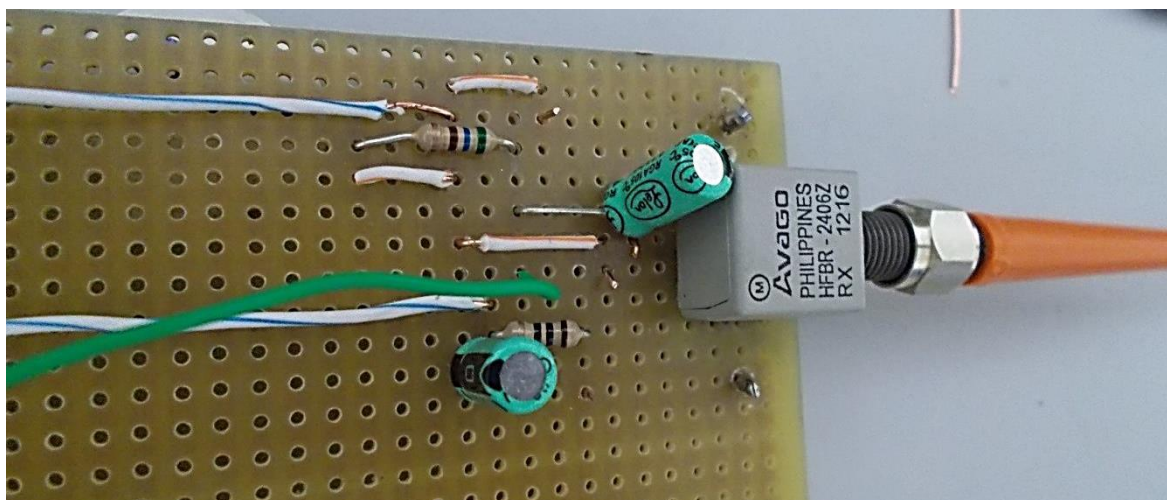


Figura 3.2-Convertor optoeletrónico, onde se pode observar os circuitos de montagem dos receptores utilizados.

Existe no laboratório um conversor optoelectrónico memo-estável que permite detetar a radiação e gerar um sinal contínuo de 5 Volts para assim detetar a radiação de forma mais rápida e cómoda. Porém este dispositivo não é muito útil no caso da utilização de uma só fibra pois quando é emitido um pico de luz ele dispara imediatamente para 5 volts. Posto isto e como é apenas utilizada uma fibra no trabalho em estudo não foi utilizado neste equipamento.

3.1.3. Equipamento Periférico

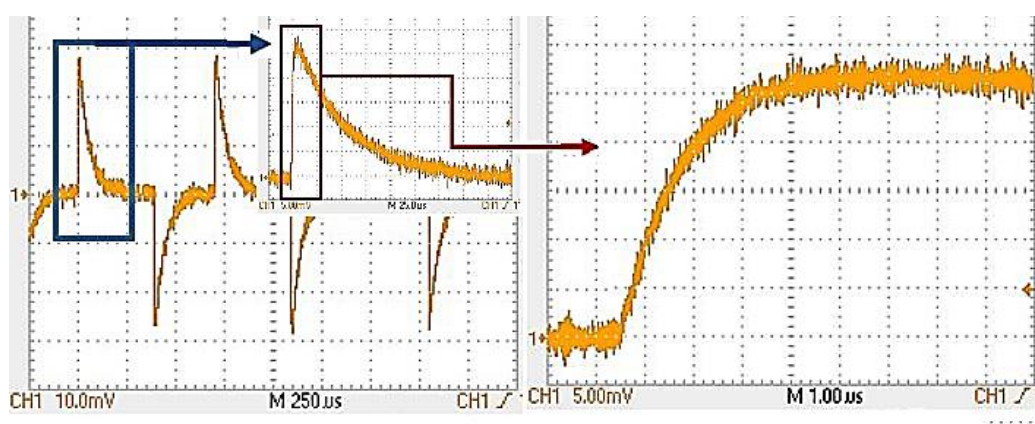
Um dos equipamentos imprescindíveis para a calibração, verificação e realização dos ensaios em laboratório é o osciloscópio, porque este permite gravar um sinal elétrico gerado pelos receptores bem como iniciar essa gravação no momento exato em que se dá a deteção da luz através da função *Trigger*. O osciloscópio utilizado é o Tektronix TDS2024C, este possui 4 canais e tem a vantagem de o *Trigger* poder ser alterado em cada canal individualmente. No entanto a sua característica mais relevante é a escala de sensibilidade máxima de 1 ns, o que o torna muito útil para ver os tempos de resposta dos sensores. Acrescentando ainda o facto de os dados poderem ser gravados para uma PEN de forma rápida.

Os conetores SMA foram necessários, como já referido, para embutir na fibra óptica Toray, de modo a que esta se possa conectar com os sensores. Como o conetor SMA encomendado tem um furo de 230 μ m e a fibra ótica 250 μ m, houve a necessidade de reduzir a secção da fibra para que esta pudesse passar pelo conector, para isso utilizou-se a

técnica de esticar esta mesma fibra até quebrar, provocando um estreitamento na extremidade, e esta foi posteriormente inserida no furo do conector que ao ser puxada entra sobre pressão no conector ficando centrada e presa. Para além da questão do alinhamento da fibra óptica no conector, foi necessário fazer um bom acabamento superficial da mesma na ponta do SMA, para isso foram testados vários métodos que irão ser posteriormente explicados.

3.1.4. Teste e resultados de calibração

Para se saber o tempo de subida do receptor medido pelo diferencial (conversor optoelectrónico), ligou-se a este um transmissor gerador de pulsos e um osciloscópio para gravar o sinal eléctrico gerado e assim se observar o sinal obtido (frequência e a voltagem). A partir da análise do gráfico da Figura 3.3 constatou-se que a diferença entre pulsos era de 650 μ s e que o tempo de subida do receptor inserido no adaptador optoelectrónico foi



inferior a 3 μ s.

Figura 3.3- Gravação do tempo de sinal gerado no conversor optoelectrónico.

Foram também realizados testes para a validação dos componentes utilizados na calibração do sistema, como a medição da atenuação das fibras utilizadas e a validação dos conectores embutidos na fibra Toray. Neste último teste referido, foram comparados vários métodos para fabricar um bom terminal SMA, para isso foi necessário que o acabamento superficial da fibra fosse bom. Assim foram pesquisados diversos métodos para que a fibra apresenta-se um bom acabamento no terminal, como os seguintes:

- Cortar a ponta da fibra com uma lâmina de barbear;
- Derreter a ponta da fibra numa manta de aquecimento;
- Poli-la com uma peça de metal riscada;

- Poli-la com uma lixa P500.

Para ser feita a comparação dos métodos referidos, foram embutidos conectores nas fibras ópticas Toray de 1 metro de comprimento, verificando a intensidade do sinal quando ligado ao transmissor laser de pulso e ao conversor optoelectrónico e por último foi analisado o acabamento da fibra ao microscópio.

Assim de seguida são apresentadas as imagens tiradas das superfícies das fibras com o microscópio dos diferentes métodos utilizados.



Figura 3.4-Imagens da secção da fibra óptica retiradas para a ampliação de 350x depois dos diferentes processos de fabrico dos conectores.

Fazendo a análise da Figura 3.4 conclui-se que o método que apresentava melhor acabamento foi o de polir a fibra com uma lixa P500 passando de seguida por água para remover impurezas, no entanto, o método de cortar a fibra com uma lâmina de barbear ou de queimar torna este processo mais simples mas menos eficiente que o anterior pois no caso da fibra cortada esta apresenta alguns riscos provocados pela lamina e no final do corte a fibra parte deixando muitas irregularidades, na queimada esta fica baça devido ao calor. Apesar desta análise realizada optou-se por utilizar o método de corte com a lâmina de barbear por ser mais simples e não provocar risco de contaminação dos sensores por produtos resultantes do processo de lixamento da fibra.

Outros testes realizados foram a medição da atenuação das fibras e comparação destas, neste primeiro teste foi comparada a intensidade do sinal óptico em função do comprimento da fibra, no segundo teste foram comparadas dois tipos de fibra (Toray e Rs-componets) com o mesmo comprimento, onde foi observado que a fibra óptica Toray tem uma elevada perda de sinal quando comparada com a fibra da Rs-components. Este último resultado era espectável porque a fibra Toray apresenta um revestimento muito fino podendo este ser facilmente danificado, perdendo assim luz por este quando é percorrida por uma radiação.

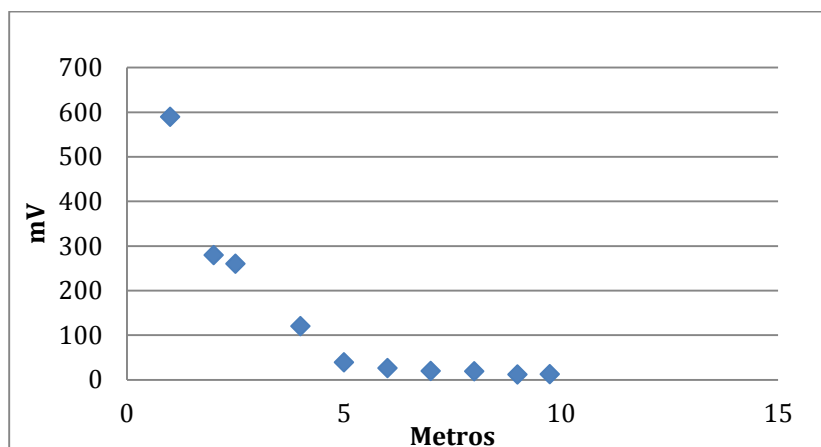


Figura 3.5 - Gráfico de aferição da potência emitida pela fibra Toray consoante o aumento do seu comprimento.

Para provar o que foi referido e eliminar a hipótese de uma má montagem ou acabamento da fibra nos conetores, foi construído o gráfico da Figura 3.5, onde se mostra que a atenuação diminui exponencialmente com a diminuição do comprimento da fibra óptica para sensores de 820 nm, mantendo sempre o método de polimento e colocação da fibra no conector.

3.2. Medidas experimentais de detonação

Inicialmente foram comparadas em ensaios de detonação as fibras ópticas de sílica e de PMMA para determinar qual destas transmitiria melhor a radiação emitida pela detonação. De seguida foram verificados os tempos de subida dos receptores, a intensidade luminosa e testadas diferentes disposições da fibra óptica relativamente ao cordão detonante. No entanto um dos problemas detetado foi a saturação do sinal provocado pela emissão de radiação pela combustão da própria fibra ou pela emissão dos produtos da detonação depois da frente de detonação passar pela fibra óptica. Por fim foram realizados ensaios para medir a velocidade de detonação por uma única fibra, aplicando o conhecimento adquirido nos ensaios anteriores.

3.2.1. Montagem

O explosivo utilizado durante os ensaios foi o PETN de um cordão detonante de 12 g/m, este foi montado numa placa de cobre e alinhado paralelamente com um

detonador (n.º 8, detonador comercial) para iniciar a detonação. Em primeiro lugar as fibras ópticas foram embutidas no cordão perpendicularmente ao eixo deste (Figura 3.6), enquanto a outra ponta foi conectada ao conversor optoelectrónico, por sua vez o conversor optoelectrónico foi conectado ao osciloscópio por um cabo BNC, para registar e gravar o sinal gerado. Por fim os ensaios foram realizados com diferentes configurações e com estas diferentes fibras ópticas: fibras sílica (já existente no laboratório), fibras de PMMA da Rs-componente e da Toray.

O objetivo inicial foi determinar qual das fibras tinha menor atenuação e descobrir qual seria o tempo de subida dos receptores. Para isso foi utilizada a configuração descrita anteriormente e é apresentada na Figura 3.6. Nesta imagem é possível ver a primeira configuração utilizada, onde são visíveis as duas fibras dispostas perpendicularmente ao cordão detonante de PETN que é colocado paralelamente ao detonador, todos os componentes são fixados com fita-cola.



Figura 3.6- Disposição das fibras no cordão detonante no ensaio de comparação das qua fibras de PMMA à esquerda e a fibra óptica de sílica à direita.

Depois de se descobrir qual a fibra óptica a utilizar foram realizados ensaios para medir a velocidade de detonação com as duas fibras seleccionadas, isto através da medição do tempo decorrido entre os dois sinais ópticos emitidos por estas. Para determinar esta velocidade de detonação é necessário saber qual a distância entre as duas fibras ópticas, nos ensaios realizados foi sempre utilizada uma distância de 20 mm. A disposição das fibras nesta montagem é idêntica à da figura anterior mas para este caso foram utilizadas duas fibras da Rs-componentes, porque estas são as que transmitem melhor o sinal óptico.

Em vista a utilização de uma única fibra foi elaborada uma nova configuração para medir da mesma forma o tempo entre emissões de luz (medida entre as subidas do receptor). Neste caso o cordão é disposto da mesma forma na placa de cobre, mas como só

é utilizada uma única fibra óptica, esta é embutida diversas vezes perpendicularmente ao cordão detonante com um espaçamento fixo de 20 mm como se pode observar na Figura 3.7.

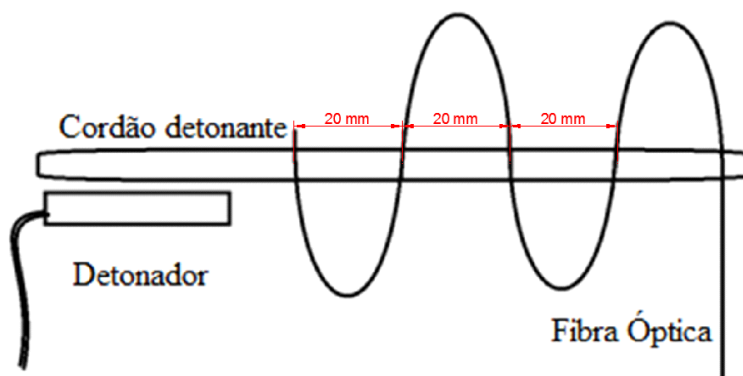


Figura 3.7- Esquema de montagem da fibra no cordão detonante como uma única fibra.

Antes de se proceder à configuração da Figura 3.7 foram realizados ensaios com montagens menos complexas. Um exemplo dessas montagens está apresentado na Figura 3.8 onde é possível serem observadas duas fibras ópticas (PMMA e Silica) embutidas duas vezes no cordão detonante. A utilização de duas fibras permite obter dois sinais em escalas de tempo diferentes e assim registar com mais precisão o sinal obtido. Esta configuração foi importante no início dos ensaios, pois não era certa qual a intensidade do sinal emitido nem a escala de tempo a utilizar para se obter o sinal completo durante as duas emissões de luz.

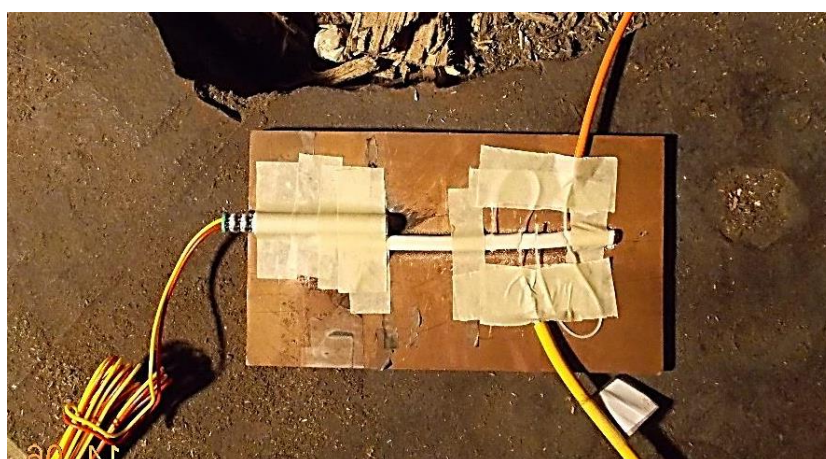


Figura 3.8- Montagem do ensaio para medir a radiação emitida durante uma detonação com recurso a duas fibras ópticas, embutidas 2 vezes cada no cordão detonante.

Com o decorrer dos ensaios foi observado que a fibra óptica emitia luz não só pela frente de detonação mas também porque esta ardia, fazendo com que o sinal obtido

saturasse. Para reduzir este efeito, foram utilizadas as fibras ópticas da Toray porque tinham um revestimento de reduzidas dimensões. Mas como já mencionado a fibra óptica Toray apresenta elevadas perdas de radiação, assim para reduzir estas perdas utilizou-se uma fibra da Rs-components conectada a uma fibra da Toray. Esta conexão foi conseguida através de um ligador SMA unindo os dois conetores SMA de cada fibra, permitindo assim reduzir o comprimento da fibra óptica Toray utilizada e conseqüentemente diminuir as perdas desta. Durante os ensaios foi utilizado apenas 1 metro de fibra óptica Toray, sendo um comprimento suficiente para que esta passasse pelo cordão detonante e conectasse com a fibra óptica da RS-components, sem que esta se danifique durante a detonação (Figura 3.9).

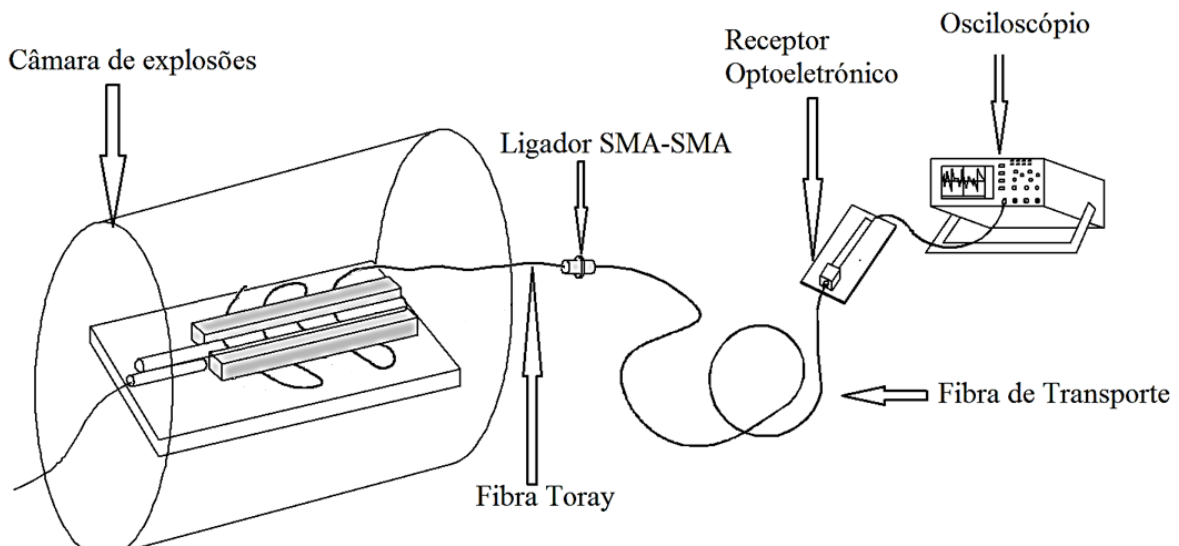


Figura 3.9-Montagem das fibras utilizada durante os ensaios, onde se pode ver a fibra de transporte conectada com um ligador SMA-SMA a uma fibra óptica Toray que fica dentro da camera de ensaios. A fibra de transporte liga ao conversor optoelectrónico.

Posteriormente foi comprovado que a utilização duas fibras ópticas diferentes apresentava menos perdas, posto isto, esta montagem foi utilizada durante todos os ensaios que envolvessem fibras ópticas Toray. Assim uma serve para captar o sinal óptico da detonação e a outra (fibra de transporte) serve para encaminhar o sinal até aos receptores (conversor optoeletrónico).

Resolvido o problema das perdas da fibra Toray, foi necessário eliminar a saturação do sinal obtido que também ocorre devido à emissão dos produtos resultantes da detonação do cordão detonante, depois da frente de detonação passar pela fibra. Assim a solução encontrada foi inclinar a fibra no sentido da frente de detonação, o que faz com que durante a sua passagem a fibra seja cortada e os produtos da detonação (radiação) não

incidam na secção desta, diminuindo assim a saturação causada pelos produtos da detonação (Figura 3.10).

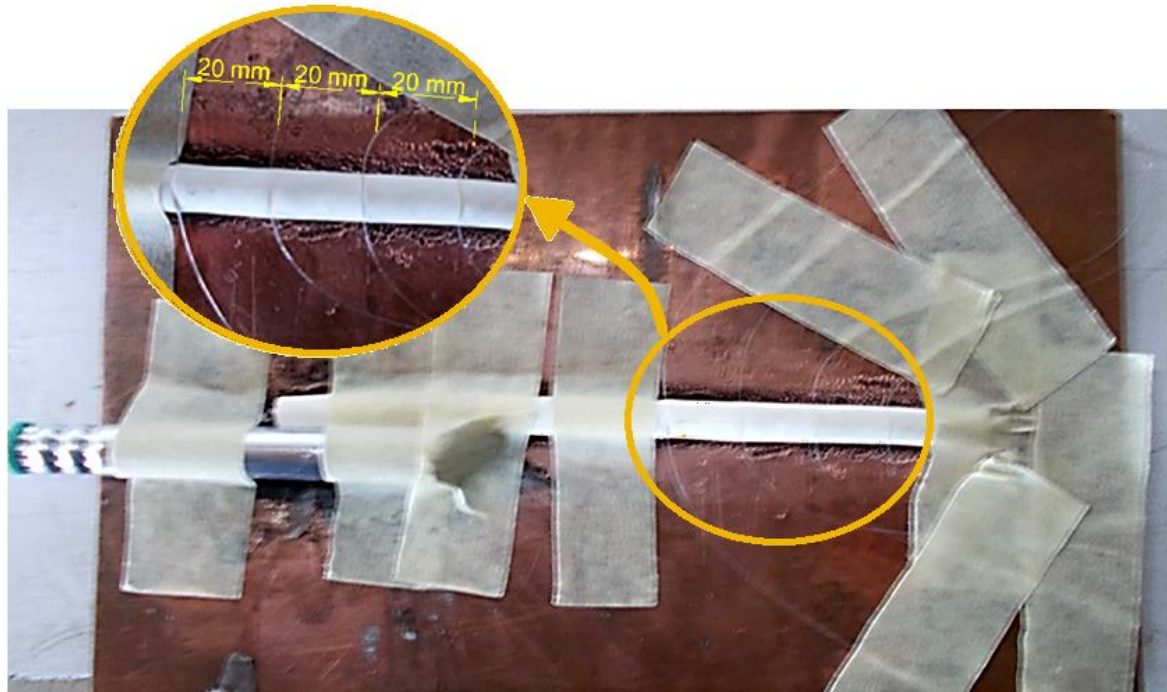


Figura 3.10- Imagem da fibra da Toray embutida no cordão detonante e inclinada no sentido da frente de detonação para reduzir as emissões de radiação pelos produtos da detonação.

A saturação do sinal deve-se também à combustão da fibra óptica, para reduzir este efeito foram colocadas, durante os ensaios e paralelamente ao cordão detonante, duas placas escuras de PVC, inclinando novamente a fibra óptica na direção da frente de detonação. Foi escolhido o PVC porque é um material que deforma rapidamente, permitindo assim uma ligeira deslocação aquando da detonação. A cor escura utilizada tem como objetivo impedir a emissão de luz proveniente da radiação da frente de detonação.

Na Figura 3.11 está apresentado um esquema da montagem utilizada onde se vê a disposição das placas de PVC e da inclinação da fibra óptica.

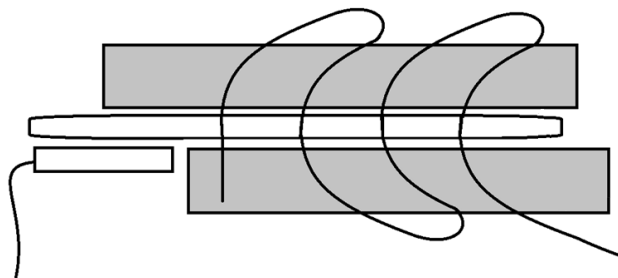


Figura 3.11-Esquema de montagem do cordão detonante, fibra óptica e placas de PVC.

A Figura 3.12 mostra outra imagem da montagem seleccionada para a fibra óptica num cordão detonante e a disposição das placas de PVC. No subcapítulo seguinte são apresentados os resultados que comprovam que esta configuração é a que consegue os melhores resultados utilizando as fibras de PMMA. No caso das fibras ópticas de sílica não é necessário efetuar esta montagem porque a sílica não arde.

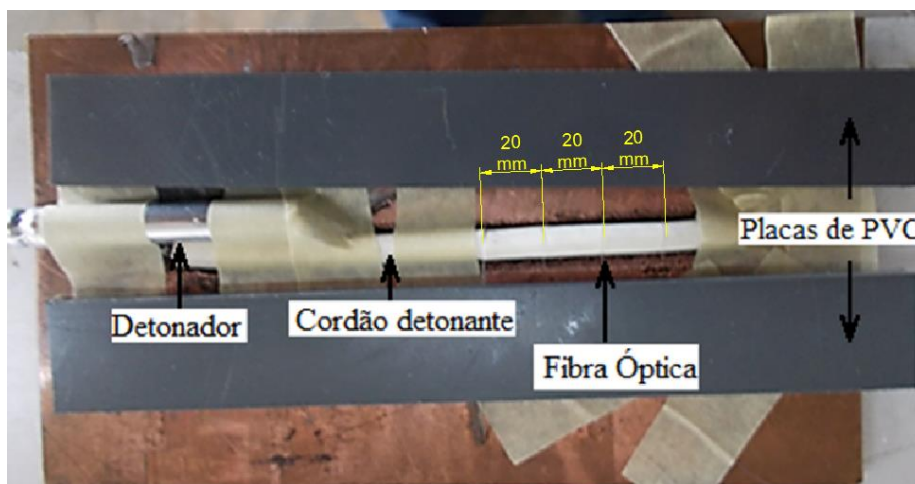


Figura 3.12- Reprodução do esquema da montagem onde é utilizado as placas de PVC para um ensaio de medição de pressão.

Para medir a pressão de detonação foram colocadas folhas de Kapton em contacto com a extremidade de carga explosiva. Quando ocorre a detonação é transmitida à carga explosiva uma onda de choque, que por sua vez é transferida para as placas de kapton, junto a estas encontra-se a fibra óptica Toray que é envolta por esferas de sílica, que ao serem esmagadas pelas vibrações provocadas pelas ondas de choque, vão libertar radiação que é captada pela fibra, porque a radiação transpõe o seu revestimento, assim é transmitida a radiação libertada pelo rebentamento das esferas de vidro.

A velocidade de propagação da onda de choque ao longo das folhas de Kapton é função da pressão da frente de detonação e da pressão na zona de reação. Desta forma o perfil de pressão da detonação é semelhante ao perfil de amplitude da velocidade da onda de choque das placas de kapton (21).

Na Figura 3.13 pode-se observar o esquema da disposição da fibra óptica envolvida por esferas de sílica e o posicionamento das folhas de Kapton. Como mostra a Figura 3.13 numa extremidade a fibra Toray é disposta sobre as diferentes placas de Kapton e na extremidade oposta é conectada ao ligador, que junta a fibra da Rs-

components, esta por sua vez está conectada ao osciloscópio como é referido nas montagens anteriores.

Esta medição deverá ser realizada com um osciloscópio com maior resolução temporal, porque neste caso o intervalo emissões será muito mais curto, assim dado estas particulares os recetores utilizados deverão ser os digitais, pois estes apresentam tempos de subida mais curtos.

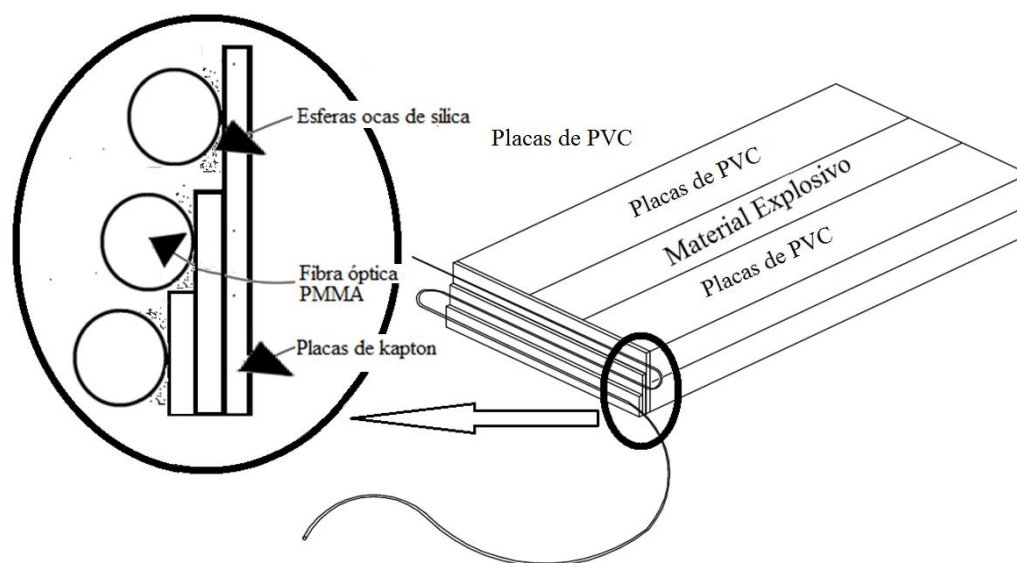


Figura 3.13-Disposição das fibras ópticas e das folhas de kaptton para a medição da pressão de detonação com recurso a esferas ocas de sílica.

Embora seja apresentado um esquema de montagem para medir a pressão de detonação, esta não foi testada no decorrer deste trabalho, mas com os resultados adquiridos para a velocidade de detonação que vão ser apresentados seguidamente, levam a sugerir que a montagem da Figura 3.13 associado ao método da utilização da fibra de transporte e da fibra Toray como referido, é capaz de medir esta propriedade.

3.2.2. Resultados e discussão

Inicialmente foram realizados ensaios para verificar qual das fibras ópticas transmitiria melhor a radiação emitida durante o fenómeno da detonação, na Figura 3.14 estão representados os resultados destes ensaios, onde podemos concluir que as fibras ópticas de PMMA (traço a azul) transmitem melhor a radiação que as fibras de sílica (traço a amarelo), uma vez que o traço a azul é sempre superior ao amarelo, particularmente no início do sinal e no valor máximo atingindo. Concluindo que as fibras de PMMA são as

mais eficazes para se obter a máxima luz proveniente do fenómeno, posto isto as fibras ópticas da Toray foram utilizadas na maioria dos ensaios.

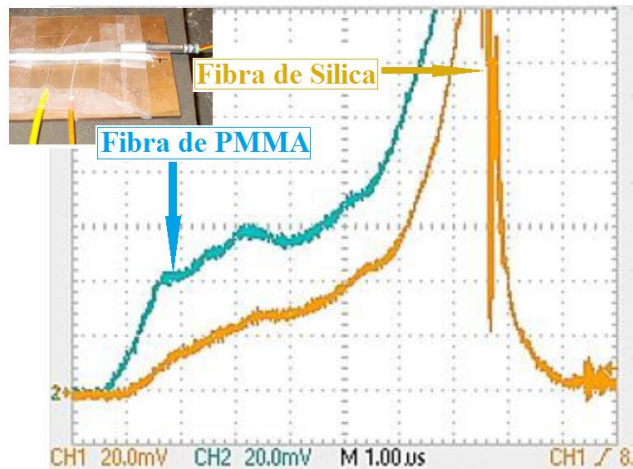


Figura 3.14- Comparação do sinal obtido por duas fibras ópticas de PMMA e sílica inseridas perpendicularmente ao cordão detonante.

Os registos da Figura 3.14 mostram que o sinal óptico detetado pelos receptores optoelectrónicos é superior 120 mV. Porém alterando a escala é possível observar que o sinal atinge uma voltagem máxima superior a 1 Volt para a fibra de PMMA.

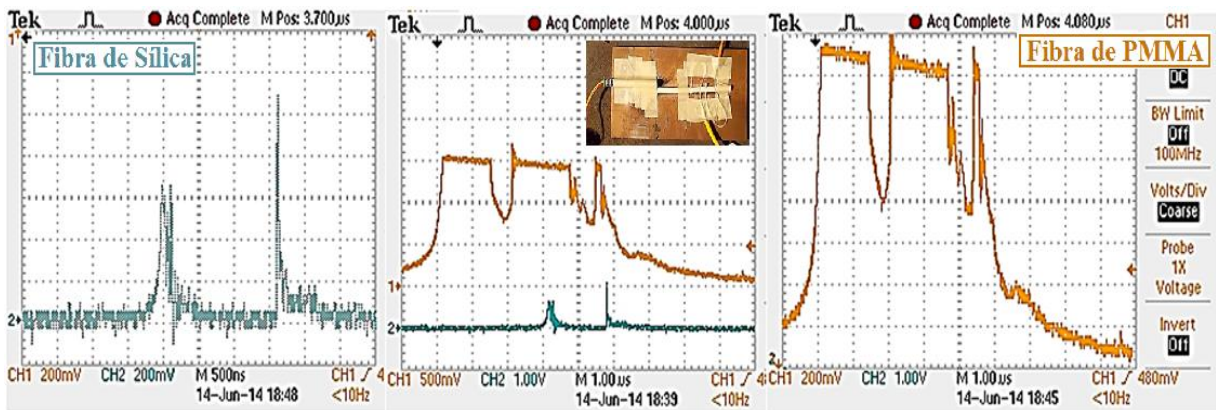


Figura 3.15-Registo do sinal obtido no ensaio da detonação de um cordão de PETN onde foi utilizado como montagem duas fibras ópticas, uma de plástico e outra de sílica, embutida 2 vezes cada uma dele.

Na Figura 3.15 são mostrados os resultados obtidos para montagem da Figura 3.8 onde foram novamente comparadas as fibras de PMMA e de sílica, mas neste caso, embutidas duas vezes no cordão detonante. O sinal obtido a partir da fibra de PMMA (traço amarelo) comprova a afirmação anterior que diz que a potência atingida por este tipo de fibras é maior. No entanto o principal objetivo deste ensaio foi comparar o tempo de subida e descida do sinal para as diferentes fibras. O gráfico da esquerda da Figura 3.15 mostra que a fibra de sílica apresenta um sinal curto com dois picos máximos, com uma

subida e descida repentina, ou seja, com tempos de subida e descida curtos quando comparada com a fibra de PMMA. A fibra de sílica também parece não ser afetada pelos produtos resultantes da passagem da frente de detonação, levando a considerar esta fibra como uma alternativa credível para medir a velocidade de detonação do explosivo, sem ser necessário inserir qualquer tipo de proteção nesta. Pode-se concluir que estes resultados se devem às propriedades do vidro, que ao partir não permite a entrada de mais luz devido às irregularidades deixadas na secção da fibra, assim a única desvantagem desta em relação à fibra de PMMA é a de “captar” menos radiação luminosa.

Na Figura 3.15 do lado direito é apresentado o sinal obtido com a fibra óptica de PMMA no ensaio realizado com a montagem da Figura 3.8, Com este registo foi possível verificar que embora o sinal óptico transmitido seja muito intenso, ele satura pela combustão da própria fibra que começa a emitir radiação. No sinal obtido é possível ver as duas subidas com um topo praticamente horizontal, correspondendo às emissões provocadas pela combustão da fibra depois da passagem da frente de detonação.

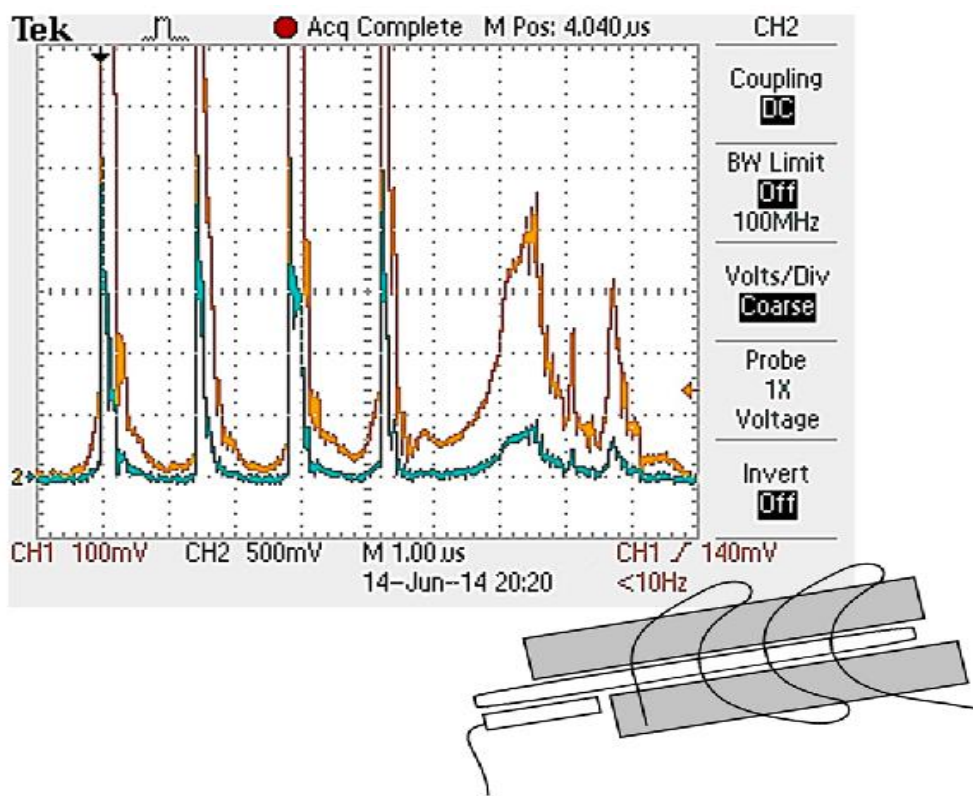


Figura 3.16- Registo do sinal obtido pela inserção 1 fibra óptica 4 vezes (com espaçamentos iguais 20 mm entre inserções) num cordão detonante de PETN , diferenciando-se o registo amarelo do azul pela escala de 100mV e 500mV por divisão respetivamente.

Para solucionar o problema da fibra arder foi utilizado a montagem da Figura 3.12, contudo no primeiro ensaio realizado, com nova forma de proteção da fibra Toray, não era conhecida a intensidade luminosa que o receptor receberia, o que levou a utilização de duas escalas diferentes para o mesmo ensaio como é apresentado na Figura 3.16.

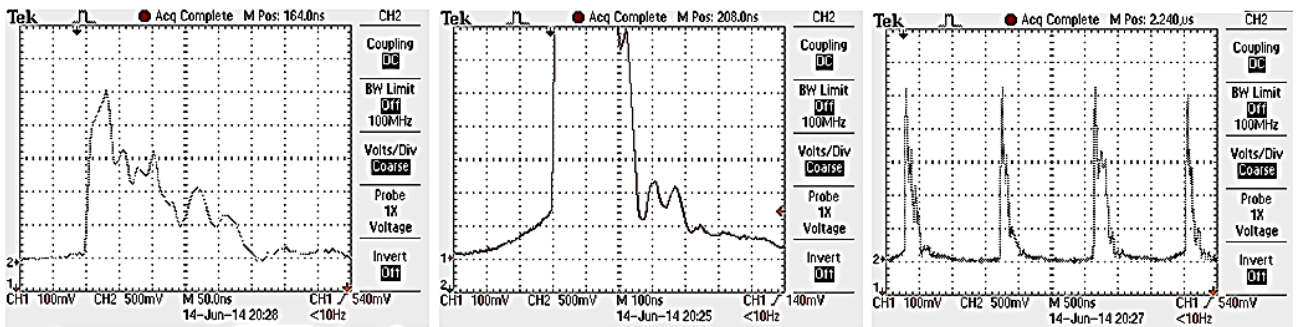


Figura 3.17-Registo do sinal obtido no ensaio onde foi embutido uma fibra óptica (Toray) 4 vezes num cordão detonante de PETN com um espaçamento de 20 mm entre embutimentos, utilizando as placas de PVC e as fibras inclinadas no sentido da detonação.

Na Figura 3.17 estão novamente representados os registos obtidos do sinal elétrico num ensaio com a montagem da Figura 3.12 (Placas de PVC e fibra da Toray). O gráfico da direita mostra as quatro emissões de radiação ocorridas pela passagem da frente de detonação, nos diferentes embutimentos da fibra no cordão, quando existem subidas repentinas do sinal elétrico. No entanto, como a escala do tempo está pouco amplificada poderia pôr-se em causa a subida vertical do sinal, assim na figura do meio é apresentada uma ampliação da base do último pico, verificando-se que o sinal tem uma duração aproximada de 300 ns. No gráfico da esquerda da Figura 3.17 está ampliado o primeiro pico do sinal, podendo-se observar o tempo de subida do sinal bem como a sua configuração.

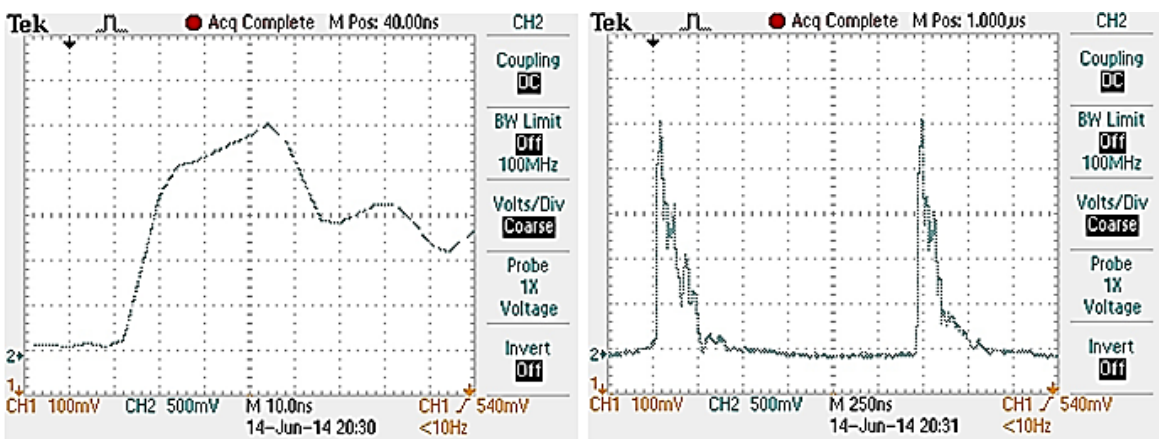


Figura 3.18-Tempo de subida do receptor verificado no ensaio de detonação utilizando a montagem selecionada.

O tempo de subida do receptor utilizado é de 10 ns como se verifica na Figura 3.18 de onde se pode concluir que o método utilizado é capaz de calcular a velocidade de detonação sem grande erro. Nesta figura também é visível que o pico do sinal ocorre 30 ns depois do seu início, assim deve-se medir os tempos entre emissões através das subidas verticais dos sinais e não através da medição do tempo entre picos, por forma a aumentar a precisão do método.

Uma outra alternativa estudada foi a utilização de receptores digitais, pretendendo-se com estes diminuir o erro de medida, visto que é o sensor que admite o instante de subida e não o operador, obtendo-se assim uma maior semelhança nas diferentes medidas realizadas. Um inconveniente destes receptores é a dificuldade de detetar problemas ocorridos durante os ensaios. Um exemplo desse problema é o da combustão da fibra óptica, onde, neste caso, só seria visível um sinal contínuo de 0 Volts.

É aconselhado ter nas medições dois tipos de receptores, um analógico para obter os primeiros sinais e verificar se a montagem está bem realizada, e um digital para comparar resultados obtidos por diferentes operadores.

4. SÍNTESE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudado um novo método de medição da velocidade de detonação a partir de uma única fibra óptica e de um receptor que converte um sinal óptico da extremidade da fibra num sinal elétrico lido no osciloscópio.

Foi possível obter os parâmetros dos receptores, isto é, os seus tempos de subida e descida, tendo sido verificado que os tempos de subida foram de curta duração enquanto os de descida foram longos, também foi constatado que para este método se deverão utilizar receptores digitais e analógicos, porque estes últimos necessitam que o operador arbitre o início da subida, enquanto que os digitais o fazem de forma automática e são os únicos que atuam para os dois comprimentos de onda de 650nm e 820nm.

Aquando a construção dos receptores, foi concluído que é imprescindível a utilização de uma fonte de alimentação estabilizada para eliminar o ruído do sinal.

As fibras ópticas devem ser selecionadas, para este ensaio ou semelhantes, segundo as suas janelas de transmissão e estas devem ser do tipo multimodo, porque apresentam um maior diâmetro fazendo com que entre maior quantidade de luz, e porque conseguem transmitir vários comprimentos de onda. Durante os ensaios foram também comparadas as fibras de PMMA e de sílica, em resultado desta comparação concluiu-se que a fibra de PMMA transmite um pouco mais de intensidade luminosa proveniente do fenómeno de detonação e que a fibra de sílica é menos afetada pelos compostos resultantes deste mesmo fenómeno.

Concluiu-se que para fazer um bom conector SMA é necessário assegurar que a fibra está centrada no conector e que esta possui um bom acabamento na extremidade, para isso utilizou-se um conector com um furo que possui um diâmetro inferior ao da fibra e cortou-se a extremidade desta com uma lâmina de barbear depois de ser inserida no furo.

Os resultados obtidos permitiram concluir que o método de medida da velocidade de detonação com recurso a uma única fibra óptica é possível e preciso, no caso da utilização da fibra óptica Toray conectada a uma outra fibra de transporte, utilizando as placas de PVC de proteção. Contudo, não é recomendável usar este método de medida sem as placas de PVC, sendo que estas impedem a fibra óptica de arder e a transmissão de luz para a mesma depois da frente de detonação passar. A inclinação da fibra óptica no sentido da propagação da detonação foi outro fator determinante para o sucesso do método.

No caso dos receptores analógicos ficou demonstrado que o receptor de sensibilidade máxima de 820 nm capta num espectro de radiação de 400 a 900 nm.

O tempo de resposta do receptor digital é de 3 ns enquanto que o analógico é de 10 ns, logo quando é necessário uma maior precisão nos resultados deverá ser utilizado o receptor digital.

Futuramente poderá ser utilizado este método para medir a pressão gerada pelo explosivo assim como a curva de detonação, adaptando este método para uma nova configuração, utilizando folhas de Kapton, esferas de vidro e um osciloscópio com uma maior resolução temporal.

Esta nova forma de medida utilizando fibras e receptores optoeletrónicos é promissora para obter a velocidade de detonação de um explosivo, dado a facilidade de se poder realizar numerosos ensaios num curto espaço de tempo, com elevada precisão e simplicidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Optics and optical instruments annual catalog*. **Edmund Optics**. 2013, EO Edmund optics, pp. 155-176.
2. **Schubert, E. Fred**. *Light-Emitting Diodes*. 2ª. Cambridge : Cambridge University Press, 2006. pp. 29-33;219-236;261-271.
3. **Siegel, Robert e Howell, Janh R**. *Thermal radiation heat Transfer*. 3ª . Woshisnton : Taylor & Francis, 1992. pp. 6-41;54-63;189-218.
4. **Kreith, Frank**. *Principles of Heat Transfer*. [trad.] Eitaro Yamane, Otávio de Mattos Silvaes e Virgílio Rodrigues Lopes de Oliveira. 3ª . New York : Intext Educational Publisher, 1973. pp. 174-207.
5. **McAdams, Williiam H**. *Heat Transmission*. 3ª Edição. New York : International Student Edition, 1954. pp. 55-75.
6. **Saleh, Bahaa E. A. e Teich, Malvin Carl**. *Fundamentals of Photonics*. 2ªEdição. Boston : Willey-India Edition, 2004. pp. 657-691. ISBN-978-0-4713582-9.
7. **Rs-componentes**. Fibre Optic Receivers. [Online] <http://pt.rs-online.com/web/c/displays-y-optoelectronica/componentes-de-fibra-optica/receptores-de-fibra-optica/>.
8. **Digikey Corporation**. Fiber Optics - Receivers. [Online] [Citação: 10 de 01 de 2014.] <http://www.digikey.pt/product-search/en?FV=fff40008%2Cfff8042d%2C6540013%2C65401ea%2C65401f7%2C7000004%2C700001b%2C7000071%2C7000081%2C7000082%2C7000083%2C7000085%2C7000086%2C7000089%2C700008c%2C700008d%2C700008e%2C7000091%2C70000a2%2C70000aa%2C70000ac%2C>
9. **TORAY**. Toray Industries,. *Toray*. [Online] [Citação: 13 de 04 de 2014.] http://www-eng.lbl.gov/~shuman/NEXT/MATERIALS&COMPONENTS/Xe_damage/Fiber_optics/Toray_POF%20Catalogue.pdf.
10. **Farnel** . Cable - Fibre Optic. [Online] [Citação: 10 de 02 de 2014.] <http://pt.farnell.com/mh-connectors/cn06050/cable-optical-50m-drum/dp/3824536>.
11. **Rs-Components**. Cables para Fibra Óptica. [Online] 01 de 02 de 2014. <http://pt.rs-online.com/web/c/cables/cables-para-redes-comunicacion/cables-para-fibra-optica/>.
12. **Digi-Key Corporation** . Fiber Optic Cables. [Online] [Citação: 02 de 02 de 2014.] <http://www.digikey.co.uk/product-search/en?FV=fff40018%2Cfff80094%2C2dc12b5%2C11980002&mnonly=0&newproducts=0&ColumnSort=0&page=2&stock=0&pbfree=0&rohs=0&quantity=&ptm=0&fid=0&pageSize=25>.
13. **Rs-components**. Latiguillos para Fibra Óptica. *Rs-components*. [Online] [Citação: 10 de 02 de 2014.] http://pt.rs-online.com/web/c/cables/cables-para-redes-comunicacion/latiguillos-para-fibra-optica/?applied-dimensions=4294745220&esid=cl_4294967294,cl_4294875538,cl_4294875537,cl_4294873896,cl_4294872274,cl_4294874258&m=1.
14. Cable Assemblies. *Farnell*. [Online] [Citação: 10 de 02 de 2014.] <http://pt.farnell.com/jsp/search/browse.jsp?N=2024+204367+110262864&Ntk=gensearch&Ntt=SMA+fibre&Ntx=mode+matchallpartial&No=0&getResults=true&appliedparametri>

cs=true&locale=pt_PT&divisionLocale=pt_PT&catalogId=&skipManufacturer=false&skipParametricAttribu.

15. **Thorlabs**. Step-Index Multimode Fiber Optic Patch Cables: SMA-SMA . [Online] [Citação: 27 de 02 de 2014.]

http://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=351.

16. **Digi-key Corporation**. Fiber Optic Connectors. [Online] [Citação: 29 de 01 de 2014.]

<http://www.digikey.co.uk/product-search/en/connectors-interconnects/fiber-optic-connectors/1443101?k=conector%20sma>.

17. **Rs-components**. Fibre Optic Connectors. [Online] [Citação: 28 de 01 de 2014.]

<http://uk.rs-online.com/web/c/connectors/network-telecom-connectors/fibre-optic-connectors/>.

18. **Farnel Portugal**. Fibre Optic Connectors. [Online] [Citação: 30 de 01 de 2014.]

http://pt.farnell.com/jsp/search/browse.jsp?N=203154+110262604+110525888+110262864&No=0&getResults=true&appliedparametrics=true&locale=pt_PT&divisionLocale=pt_PT&catalogId=&skipManufacturer=false&skipParametricAttributeId=&prevNValues=203154+110262604+110.

19. **Thorlabs**. SMA905 Connectors: Multimode, Stainless Steel Ferrule. [Online] [Citação: 30 de 01 de 2014.] http://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=1383.

20. —. **Thorlabs**. *Thorlabs*. [Online] 1998. [Citação: 20 de 04 de 2014.]

<http://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=ADASMA>.

21. **Mendonça, Miguel Lienhard**. *Estudo e caracterização de uma emulsão explosiva com TNT*. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra. Coimbra : Universidade de Coimbra, 1997. pp. 31-38, 64-77, Dissertação de Mestrado.

22. **Cardoso, André Luis de Vasconcelos**. *Caracterização dinâmica por impacto de cerâmicos*. Rio de Janeiro : Instituto Militar de Engenharia, 2005. ISSN.

23. **Incropera, Frank P**. *Fundamentals of heat and mass transfer*. 6ª. USA : CopyRighted Material, 2007.

24. **P.Agrawal, Govind**. *Lightwave Techonogy*. Unitates States of America : WILEY-INTERSCIENCE, 1951. pp. 1-11,22-28,.

25. **Campos, J., et al**. *Detonation Measrements Using Single Optical*. LEDAP/ADAI - Mech. Eng. Dep., Fac. of Sc. Tech., Univ. of Coimbra, Fraunhofer Institut für Chemische Technologie. Coimbra : Univ. of Coimbra, 3030-788 Coimbra,, 2014. pp. 1-11.

26. *Shock to detonation transition in a RDX*. **Mendes, R, et al**. Karlsruhe, Germany : Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (Ed.), 2001, in Proc. of the 32sd International Annual Conference of ICT .

ANEXO A

A detonação pode ser considerada um fenómeno complexo, dada a curvatura da frente de reação, sobretudo no início da propagação da mesma, evidenciando características de escoamento tridimensionais, como foi observado por Igor Plaking e colaboradores, quando estudaram a flutuação do nível de intensidade da luz emitida por um explosivo (21). De qualquer modo para o trabalho apresentado são aplicadas as equações de conservação associadas à propagação de uma onda de choque unidimensional, assim esta é considerada como uma descontinuidade plana em regime permanente. Inicialmente Chapman e Jouguet (CJ) propuseram os fundamentos para a teoria da detonação, considerando esta como uma descontinuidade plana, caracterizada por uma reação química instantânea provocada por uma variação abrupta da pressão, sendo válido quando a detonação se considera estável, ou seja para uma velocidade mínima da onda de choque (21). De seguida foi introduzido pelos Zeldovitch (1940), Von Neuman (1942) e Doring (1943), um novo conceito que tem por base que a energia libertada pela reação química não era imediata, dado que a reação exotérmica estável é precedida pela passagem da onda de choque plana (21).

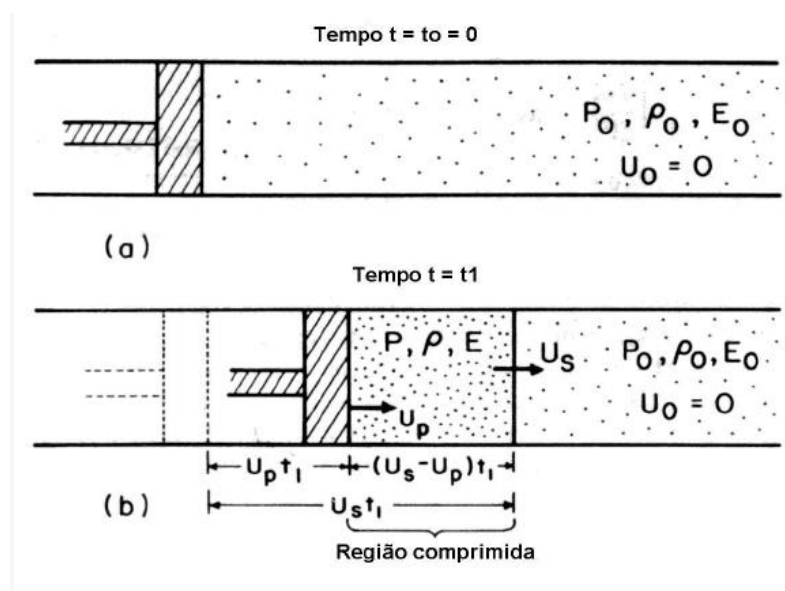


Figura 0.1-Representação ilustrativa da propagação da região chocada de um gás por um pistão, antes do choque e após um t_1 (22).

O conceito de propagação de ondas de choque poderá ser entendido a partir da Figura 0.1, onde se pode observar um pistão parado com um gás no seu interior, com uma pressão p_0 , densidade ρ_0 e velocidade $U_0=0$ (a) (21). Este pistão ao ser instantaneamente acelerado até à velocidade das partículas U_p , comprime o gás apenas em um determinado volume imediatamente à sua frente, sendo este volume designado por região comprimida. Em t_1 , o deslocamento da região comprimida é de $U_s t_1$, sendo o U_s a velocidade da compressão, de onde se obtêm uma pressão $p > p_0$ e uma densidade $\rho > \rho_0$ (b) (22). Assim uma onda de choque pode ser considerada como um plano que divide a região em movimento da região estacionária e a compressão dá-se ao longo da “curva de Hugniot”. (22)

O gráfico da Figura 0.2 representa a onda de detonação segundo o modelo apresentado anteriormente, mostrando a progressão das propriedades físicas (temperatura, pressão e densidade) em função da distância x . Na figura, o número 1 corresponde à onda de choque, o número 2 ao início da reação e o 3 o fim da reação e início da onda de expansão (21).

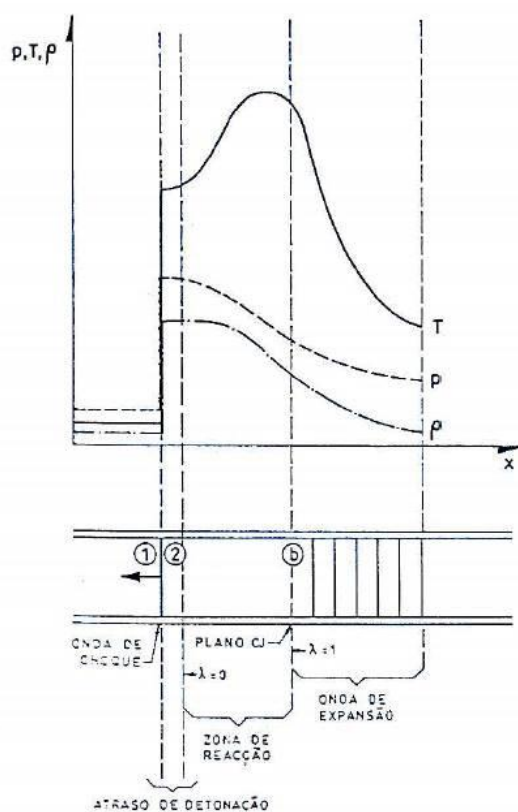


Figura 0.2-“Variação das propriedades físicas de um meio reativo com passagem de uma onda de detonação, segundo a teoria de ZND”(21)

Na Figura 0.3, pode ser observado o perfil da pressão típica de um explosivo homogéneo em função de um volume específico. Ao longo da zona de reação desenvolve-se uma reação química, esta reação está completa quando a pressão e o volume específico são respetivamente iguais a p_2 e v_2 (ponto CJ) da curva de Hugniot dos produtos da detonação, podendo também ser chamada de “curva de Crussard”. A partir do ponto CJ ocorre uma expansão dos produtos de detonação ao longo de uma isentrópica.

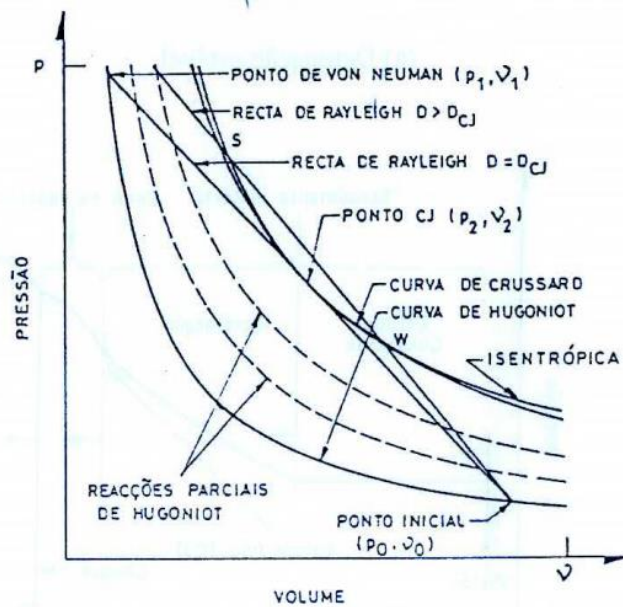


Figura 0.3- “Curvas de hugoniot, de Crussard e Recta de Rayleigh”(21)

Como se pode ver na Figura 0.3 os pontos inicial, CJ e de Von Neuman são colineares entre si, quando unidos formam uma reta designada “Recta de Rayleigh” sendo o declive desta reta relacionado com a velocidade na frente de choque e na retaguarda da zona de reacção, estas velocidades terão de ser iguais para que se obtenha um regime de detonação permanente(21).

A resistência de cisalhamento é desprezável quando excede em muito o limite de escoamento dinâmico em compressão. Assim poderão ser calculadas as pressões, volumes, velocidades e densidades para o modelos CJ tendo em consideração a conservação de massa, energia e momento linear é possível definir as seguintes relações: (22)

$$\text{Massa: } \rho_0 U_s = \rho(U_s - U_p) \quad (0.1)$$

$$\text{Momento: } (p - p_0) = \rho_0 U_s U_p \quad (0.2)$$

$$\text{Energia: } (e - e_0) = \frac{1}{2}(p + p_0)(v_0 - v) \quad (0.3)$$

Onde, U_s representa a velocidade da onda de detonação, U_p a velocidade particular dos produtos de detonação, e ρ_0 e P_0 respetivamente a massa volúmica e pressão

iniciais do explosivo. A junção da equação da massa com a do momento permite obter o declive da reta de Rayleigh, entre os pontos (p_0, v_0) e (p_1, v_1) :(21)

$$D^2 \rho_0^2 = \left(\frac{P - P_0}{v_0 - v} \right) \quad (0.4)$$

A equação da energia é conhecida por equação de Hugoniot, onde e_0 representa a energia interna específica do explosivo no estado inicial.

Estas equações só são válidas se forem respeitadas as seguintes condições: “o choque é uma superfície descontínua e não possui espessura aparente; o módulo de cisalhamento é desprezado no sólido submetido a pressões muito elevadas; forças volumétricas (como a gravitacional) são desprezáveis em comparação com o carregamento estático bem como a condução de calor na frente de choque (processo adiabático); não há comportamento elastoplástico; não há transformação de fase; a velocidade de pulso obrigatoriamente cresce com o aumento da pressão: $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial U^2} \right) > 0, p \uparrow, U \uparrow$ ”(22).

Conclui-se que existe um ponto de reprodutividade de condições contínuas e constantes.

ANEXO B

Uma grandeza espectral é diferente de uma grandeza total, a espectral diz respeito a um intervalo de comprimento de onda estreito ($\partial\lambda$), enquanto que uma grandeza total diz respeito a todos os comprimentos de onda (integração de todos os comprimentos de onda). Avançando, a grandeza direcional provém da direção de propagação no espaço hemisférico (β, θ), de forma análoga fazendo uma integração da grandeza direcional para todo o espaço hemisférico, obtêm-se a grandeza hemisférica(4).

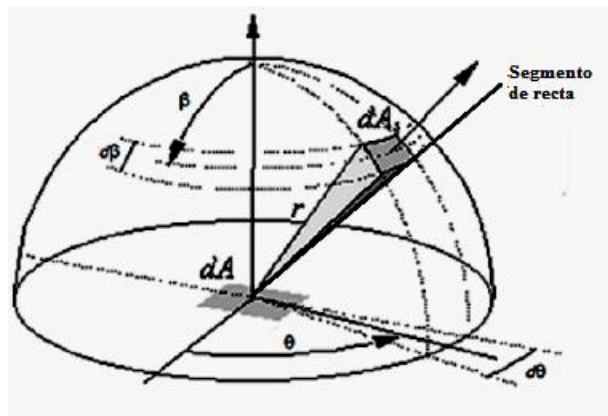


Figura 0.1-Representação do ângulo sólido onde a radiação é emitida por ∂A (3)

A superfície plana está rodeada por um hemisfério de raio r (Figura 0.1), o ângulo sólido do ponto central na base pode ser considerado como a área sobre esta semiesfera, formada por rotação de um segmento de reta que é fixo no ponto central. O segmento só se pode mover na extremidade oposta, a interseção desse segmento de reta com a superfície da semiesfera forma uma linha (Figura 0.1). Ao movermos a extremidade do segmento de reta de forma a não intersestar a linha formada, e terminando o movimento no ponto onde se iniciou, fecha-se a linha originada. Este movimento/rotação ocorre tanto para o ângulo β com para o ângulo θ , criando uma área sobre a superfície esférica que está representado na Figura 2.1. Dividindo essa área pelo raio da esfera elevado ao quadrado, obtêm-se o ângulo sólido para esse ponto. Outra forma de perceber o que é um ângulo sólido é considerar que a semiesfera tem raio unitário e que a área da semiesfera é de

πr^2 , o ângulo sólido no mesmo ponto central para toda a semiesfera é de 2π esterradianos (4).

Assim o ângulo sólido elementar é dado pela seguinte expressão:

$$\partial A_s = r^2 \sin \beta \partial \beta \partial \theta. \quad (0.1)$$

$$\partial \omega = \frac{\partial A_s}{r^2} = \sin \beta \partial \beta \partial \theta \quad [\text{sr}] \quad (0.2)$$

Em que $\partial \beta$ é medido através do zénite de ∂A e $\partial \theta$ é medido através do azimute, a sua orientação é arbitrária(3).

A intensidade espectral emitida ($I_{\lambda,b}$), é a taxa de energia emitida por unidade de tempo, por unidade de comprimento de onda λ , por unidade de área de superfície emissora normal à direção de (β, θ) e por unidade de ângulo sólido centrado em torno da direção (β, θ) .

De forma análoga, integrando a intensidade espectral anteriormente referida em ordem ao comprimento de onda, desde $\lambda = 0$ até $\lambda = \infty$, obtemos a intensidade espectral total (I_b), ou seja a equação 2.3 mostra como a intensidade total se relaciona com a intensidade monocromática (compostas por um único comprimento de onda) para um corpo negro(3) :

$$I_b = \int_{\lambda=0}^{\infty} I_{\lambda,b}(\lambda, T) \partial \lambda \quad (0.3)$$

A intensidade espectral normal ($I_{\lambda,b,n}$) Considerando que a radiação trocada por dois elementos negros que estão à mesma temperatura é isotrópica, ou da mesma forma, um corpo negro é um perfeito absorvedor e um emissor. Assim ($I_{\lambda,b,n}$) é a energia emitida por unidade de ângulo sólido e tempo num determinado comprimento de onda $\partial \lambda$ centrado em λ que é emitida por ∂A_s para ∂A , elemento da superfície que está no centro da semiesfera na Figura 0.1.

A intensidade da radiação que parte de um corpo negro, considerando a área projetada $\partial A_p = \partial A \cos \beta$, definida como a área vista de ∂A_s para ∂A (Figura 0.1), é independente da direção de emissão. Assim a energia emitida por ∂A na direção (β, θ) é

igual à que foi absorvida por ∂A_s , pois caso contrário o equilíbrio térmico ficaria perturbado. Igualando a energia emitida e absorvida pelas duas superfícies pode-se concluir que a intensidade de radiação de um corpo negro é independente da orientação através da seguinte igualdade.

$$I_{\lambda b}(\lambda, \beta, \theta) = I_{\lambda b, n} \neq \text{funcao de } (\beta, \theta) \quad (0.4)$$

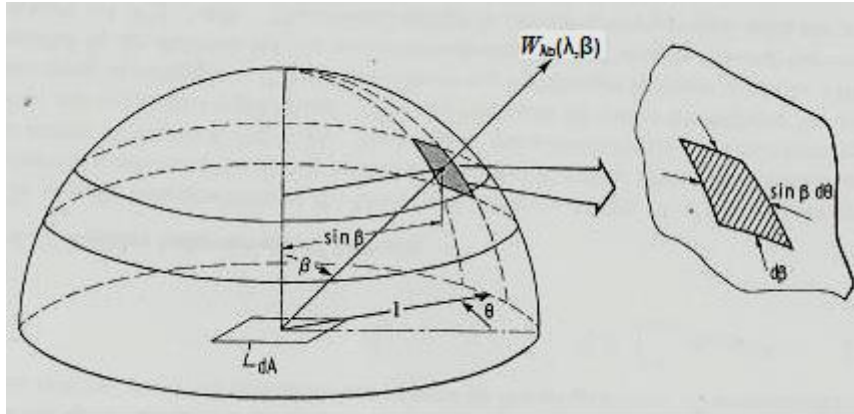


Figura 0.2- Hemisfério com raio unitário representando o poder emissivo espectral e a área elementar sobre a superfície hemisférica utilizado para calcular o ângulo sólido por elemento ∂A .

“A energia emitida elemental direcional em um intervalo de comprimento de onda $\partial \lambda$ centrado em λ por unidade de tempo numa única direção $d^3 Q_{\lambda b}(\lambda, \beta, \theta, T)$ pode ser expressa por duas formas”:

$$d^3 Q_{\lambda b}(\lambda, \beta, \theta, T) = W_{\lambda b}(\lambda, \beta, \theta, T) \partial A \partial \omega \partial \lambda = i_{\lambda b}(\lambda, T) \partial A \cos \beta \partial \omega \partial \lambda \quad (0.5)$$

Considerando uma superfície difusa, ou seja a intensidade da radiação é igual para todas direções angulares, como se verifica para um corpo negro. Desta forma enuncia-se a lei do co-seno de Lambert, esta exprime que uma superfície difusa ideal é diretamente proporcional a uma outra com um ângulo β , através da relação "cos β "(3). Criando uma nova superfície que fica normal na linha de visão do observador colocado na área da superfície esférica. A energia emitida por uma superfície preta por unidade de tempo, dentro de um intervalo de comprimento de onda curto $\partial \lambda$ centrado num comprimento de onda λ , por unidade elemental ∂W , ângulo sólido centrado em torno de (β, θ) e por unidade de superfície, definida como $W_{\lambda b}(\lambda, \beta, \theta, T)$. Esta pode ser relacionada com a intensidade espectral pela seguinte expressão(3):

$$W_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, \beta, \theta, T) = i_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, T) \cos \beta = W_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, \beta, T) \quad (0.6)$$

Integrando $W_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, \beta, T)$ para todos os ângulos sólidos para toda a superfície hemisférica do elemento superfície negra ∂A no seu interior obtém-se o poder emissivo espectral hemisférico para uma superfície preta $W_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, T)$, é considerada como a energia emitida por uma superfície preta por unidade de tempo, por unidade de área e por unidade de comprimento de onda em torno de λ . Assim pela igualdade anterior $i_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, T) \cos \beta = W_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, \beta, T)$, e pela definição de ângulo sólido pode-se obter rapidamente para a Figura 0.2, o poder emissivo hemisférico. É de realçar que o hemisfério desta figura tem raio unitário, facilitando o cálculo do angulo sólido $\partial w = \sin \beta \times \partial \beta \times d\theta$. Assim integrando os ângulos sólidos ao longo de todo o hemisfério pode-se obter então o poder emissivo hemisférico:

$$w_{\lambda b}(\lambda, T) = i_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, T) \int_{\theta=0}^{2\pi} \int_{\beta=0}^{\frac{\pi}{2}} \sin \beta \times \cos \beta \times \partial \beta \times \partial \theta \quad (0.7)$$

$$w_{\lambda b}(\lambda, T) = \int_0^1 \sin \beta \partial(\sin \beta) = \pi \times i_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, T) \quad (0.8)$$

Como os cálculos anteriores foram feitos em relação à Figura 0.2 o poder emissivo hemisférico é π vezes a intensidade espectral, através da relação com a normal à superfície, ou seja, com $\beta=0$ como mostra a equação seguinte:

$$w_{\lambda b}(\lambda, T) = \pi \times w_{\lambda b, n}^{\cdot}(\lambda, T) = \pi \times i_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, T) \quad (0.9)$$

Há ocasiões em que o poder emissivo espectral se pode definir a partir de um ângulo sólido que não é necessariamente correspondente à área hemisférica total, mas porém, pode estar definido entre determinados valores de β_1 até β_2 e de θ_1 até θ_2 , o que leva à mudança dos limites de integração da equação $W_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, T)$ definida na equação 0.10.

Neste caso:

$$\begin{aligned} w_{\lambda b}(\lambda T, \beta_1 - \beta_2, \theta_1 - \theta_2) &= i_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, T) \times \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{\beta_1}^{\beta_2} \sin \beta \times \cos \beta \times \partial \beta \times \partial \theta \\ &= i_{\lambda b}^{\cdot}(\lambda, T) \times \frac{\sin^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_1}{2} \times (\theta_1 - \theta_2) \end{aligned} \quad (0.10)$$

A lei de Planck é uma das mais relevantes em radiação do corpo negro, esta também deu origem à teoria quântica, dado que esta lei não pode ser demonstrada por

argumentos termodinâmicos. Ela descreve a magnitude da intensidade emitida por um corpo negro em equilíbrio térmico em cada um dos comprimentos de onda, ou seja, em todo o espectro de radiação. Deste modo a distribuição espectral do poder emissivo hemisférico e intensidade radiativa no vácuo para um corpo negro são dados pela seguinte expressão:

$$w_{\lambda b}(\lambda, T) = \pi \times i_{\lambda b}(\lambda, T) = \frac{2 \times \pi \times C_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (0.11)$$

Existem porém outras formas para expressar a lei de Plank, como a utilização do número de onda em detrimento do comprimento de onda, esta é útil quando se considera que a radiação passa por dois meios em que a velocidade da luz não é a mesma(3). A expressão de Plank definida em relação ao número de onda é:

$$w_{\lambda b}(\lambda) \partial \lambda = \pi \times i_{\lambda b}(\lambda, T) = \frac{2 \times \pi \times C_1 \times \partial \eta}{e^{c_2 \eta / T} - 1} = -w_{\lambda b}(\eta) \partial \eta \quad (0.12)$$

Onde $\eta = \frac{1}{\lambda}$ é o número de onda por unidade de comprimento e $e_{\lambda b}(\eta)$ é o poder emissivo por unidade de número de onda η .

A equação de Plank pode ser ostentada em forma de gráfico, como mostra o gráfico da Figura 0.3. Este gráfico da mostra que o poder emissivo espectral hemisférico em função do comprimento de onda e para cada temperatura absoluta é definida uma curva, no gráfico representado estão representadas para as temperaturas de 5555 °K, 2778 °K, 1667 °K, 830 °K e 555 °K. (3)

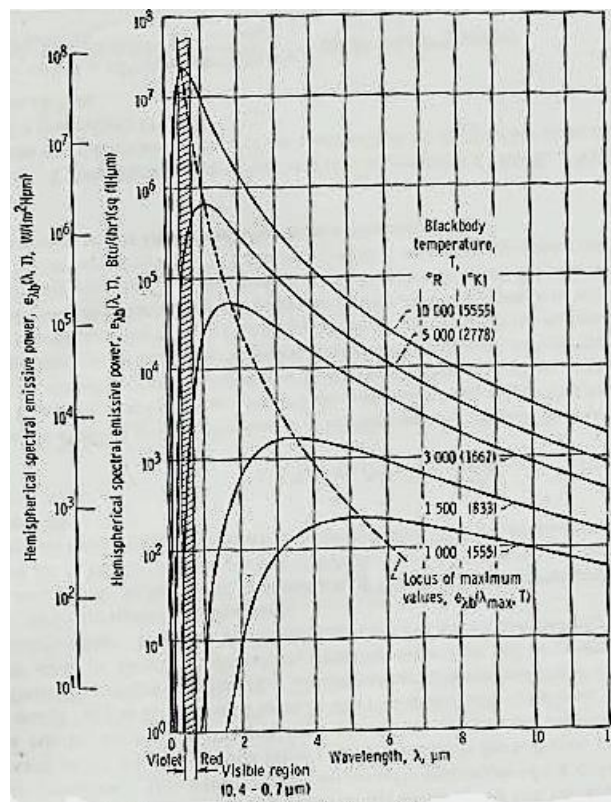


Figura 0.3-Poder emissivo espectral hemisférico de um corpo negro para diferentes temperaturas (3)

Várias conclusões podem ser obtidas a partir deste gráfico da Figura 0.3, as mais importantes são:

- A energia emitida aumenta para todos os comprimentos de onda com o aumento de temperatura;
- Os picos de energia espectral desviam-se para comprimentos de onda mais curtos do espectro com o aumento da temperatura;
- A energia aumenta com o aumento de temperatura;
- A energia emitida aumenta mais rapidamente para comprimentos de onda curtos do que para comprimentos de onda longos do espectro;
- A luz branca é uma mistura de todos os comprimentos de onda na região do visível, esta só pode ser atingida com temperaturas bastante elevadas.

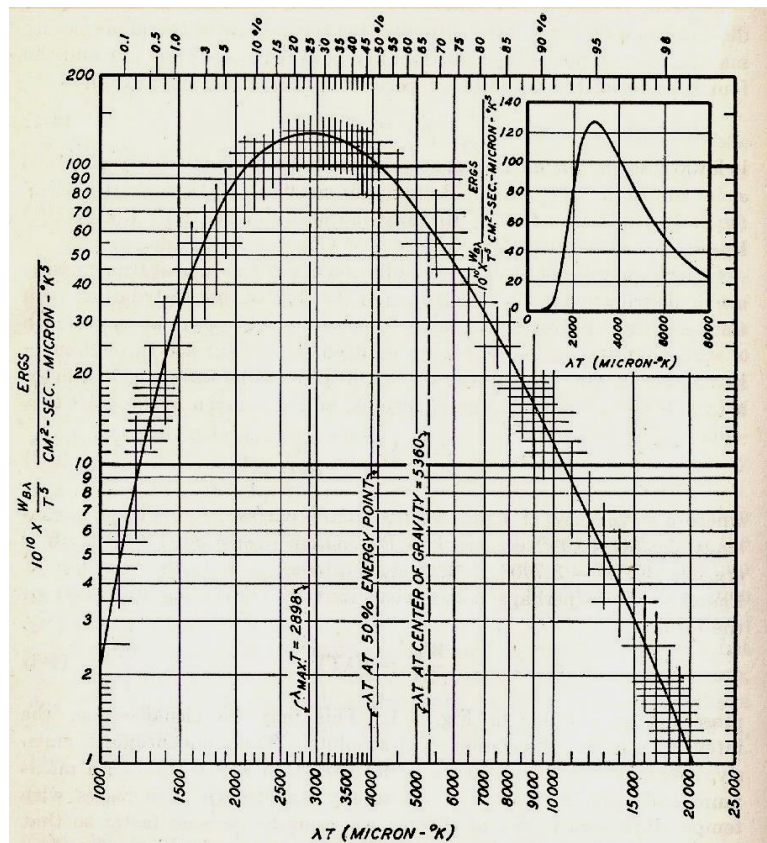


Figura 0.4-Distribuição de energia no espectro de um corpo negro(5)

A Figura 0.4, como foi já referido, mostra o poder emissivo espectral definido para cada temperatura através da lei de Plank para um corpo negro. Devido á necessidade de eliminar a dependência da realização de curvas do poder emissivo espectral para cada temperatura foi possível encontrar uma expressão que eliminasse esta complexidade. Através da divisão do poder emissivo monocromático pela temperatura elevado á 5ª potência, pode-se definir $\frac{w_{\lambda b}(\lambda, T)}{T^5}$ em função de λT correspondendo assim a uma só curva representada na Figura 0.4. A equação seguinte mostra a relações que se podem obter a partir deste conceito, para a intensidade espectral e lei de Plank(3) :

$$f(\lambda T) = \frac{w_{\lambda b}(\lambda, T)}{T^5} = \frac{\pi \times i_{\lambda b}(\lambda, T)}{T^5} = \frac{2 \times \pi \times C_1}{(T \lambda)^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (0.13)$$

Como é possível observar na Figura 0.4 o poder emissivo monocromático para cada temperatura varia desde 0 para $\lambda T = 0$ passando pelo um máximo para $\lambda T = 2898 \mu m K$ (lei de Wien) e volta a tomar o valor de 0 para $\lambda T = \infty$.

Existem fórmulas que são uma aproximação da lei de Plank, como a fórmula de Wien e fórmula de Rayleigh-Jeans, porém esta última só é utilizada para radiação de elevado comprimento de onda. Agora, simplificando a lei de Plank desprezando a subtração da unidade no numerador obtém-se a fórmula de Wien, tendo em atenção que esta só se deve aplicar para valores $e^{c_2/\lambda T}$ elevados (3):

$$\frac{i_{\lambda b}(\lambda, T)}{T^5} = \frac{2 \times C_1}{(T \lambda)^5 e^{c_2/\lambda T}} \quad (0.14)$$

A lei de Wien relaciona o comprimento de onda máximo e o poder emissivo máximo para uma temperatura de um corpo negro. A mudança dos máximos do poder emissivo ocorre com a variação da temperatura como é mostrado na Figura 0.3 pela linha a tracejado. Em suma a equação que descreve esta mudança dos máximos é a seguinte:

$$\lambda_{\max} T = C_3. \quad (0.15)$$

Onde $C_3 = 2,8977685 \times 10^{-3} \text{ m.K}$, chamada de constante de dispersão de Wien

De seguida apresenta-se a lei de Stefan-Boltzmann que pode ser definida como sendo o poder emissivo hemisférico total de uma superfície, por unidade de área de um corpo negro na unidade de tempo, é diretamente proporcional à quarta potência da temperatura(3). No parágrafo seguinte é expresso pela seguinte equação:

$$w_b = \int_0^{\infty} w_{\lambda b}(\lambda, T) \partial\lambda = \int_0^{\infty} \pi i_{\lambda b}(\lambda, T) \partial\lambda = \sigma T^4 \quad (0.16)$$

Resumindo, a dedução matemática que deu origem à expressão anterior, pode ser expressa a partir da equação que dá a constante de Stefan-Boltzmann, embora esta normalmente seja encontrada experimentalmente, assim:

$$\sigma = \frac{2 C_1 \pi^5}{15 C_2^4} \text{ o valor aceite é de } \sigma = 5,670400040 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

Esta expressão foi obtida através da relação de Plank dividida pela quinta potência da temperatura, que por sua vez foi substituída na expressão da intensidade total de radiação que integra a energia emitida para um comprimento de onda fixo $\partial\lambda$ entre $\lambda = 0$ e $\lambda = \infty$. Assim as expressões seguintes demonstram o que foi referido no parágrafo anterior(3):

$$\frac{w_{\lambda b}(\lambda)}{T^5} = \frac{\pi i_{\lambda b}(\lambda, T)}{T^5} = \frac{2\pi C_1}{(\lambda T)^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \quad (0.17)$$

$$i_b(\lambda) = \int_0^\infty i_{\lambda b} \partial\lambda \quad (0.18)$$

$$i_b(\lambda) = \int_0^\infty \frac{2 C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \partial\lambda \quad (0.19)$$

[Com a apresentação da referida Lei de Stefan-Boltzmann é possível definir o poder emissivo em bandas de emissão para balanços de troca radiativa, as bandas são definidas entre dois comprimentos de onda λ_1 e λ_2 . Assim a banda é definida com função $F_{\lambda_1-\lambda_2}$ e pode ser determinada pela razão entre a área a sombreado e a área total por baixo da curva do poder emissivo (correspondente à Lei de Stefan Boltzmann), como mostrado na expressão seguinte e na gráfico (a) da Figura 0.5 :

$$F_{\lambda_1-\lambda_2} = \frac{\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} w_{\lambda b}(\lambda) \partial\lambda}{\int_0^\infty w_{\lambda b}(\lambda) \partial\lambda} = \frac{1}{\sigma T^4} \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} w_{\lambda b}(\lambda) \partial\lambda \quad (0.20)$$

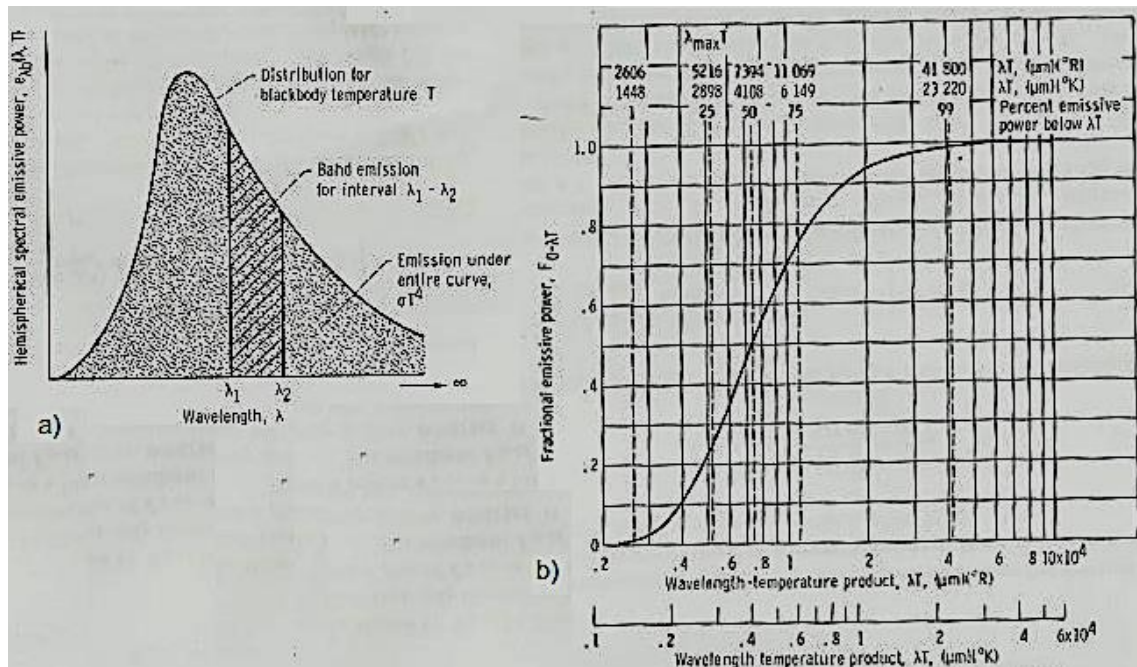


Figura 0.5-(a)Energia emitida em comprimento de onda em bandas; (b)(3)

Para um corpo negro como $w_{\lambda b}(\lambda) = \pi i_{\lambda b}(\lambda)$ pode-se relacionar o poder emissivo hemisférico com a intensidade espectral, podendo assim obter a fração desta num intervalo λ_1 a λ_2 pela função $F_{0-\lambda}$. No entanto os valores de $F_{0-\lambda_1}$ não são fáceis de definir pois tinham de ser definidos para cada temperatura. No entanto é possível obter estes valores $F_{0-\lambda}$ em função de λT porque $w_{\lambda b}(\lambda)$ é dependente da variável λT . Os valores do $F_{0-\lambda}$ relacionam-se com o comprimento de onda e temperatura através da seguinte expressão:

$$\begin{aligned} F_{\lambda_1-\lambda_2} = F_{\lambda_1 T - \lambda_2 T} &= \frac{1}{\sigma} \left[\int_0^{\lambda_2 T} \frac{w_{\lambda b}(\lambda)}{T^5} \partial(\lambda T) - \int_0^{\lambda_1 T} \frac{w_{\lambda b}(\lambda)}{T^5} \partial(\lambda T) \right] \\ &= F_{0-\lambda_2 T} - F_{0-\lambda_1 T} \end{aligned} \quad (0.21)$$

Os valores de $F_{0-\lambda T}$ encontram-se em tabelas o que torna muito fácil o seu cálculo sem grande erro(3).].

[Como a radiação não necessita de um meio para se propagar, os fatores preponderantes para a troca de radiação são a propriedades da superfície e a sua orientação. Portanto a orientação de uma superfície relativamente a outra afeta a fração de energia radiante que incide nessa outra(4). Similarmente para relacionar os efeitos da orientação das superfícies na troca de energia radiante, adota-se o noção de fator de forma. A radiação trocada por duas superfícies é apreciada do ponto de vista das duas superfícies consideradas (orientações) e devido a emissão e á absorção característica. Esta é fundamental para o estudo da troca de radiação entre duas superfícies, ela depende das geometrias, das orientações das superfícies, das propriedades radiantes e da temperatura. A definição de fator de forma F_{ij} é definido com a fração da radiação que deixa a superfície A_i em todas direções, que é intercetada na superfície A_j .

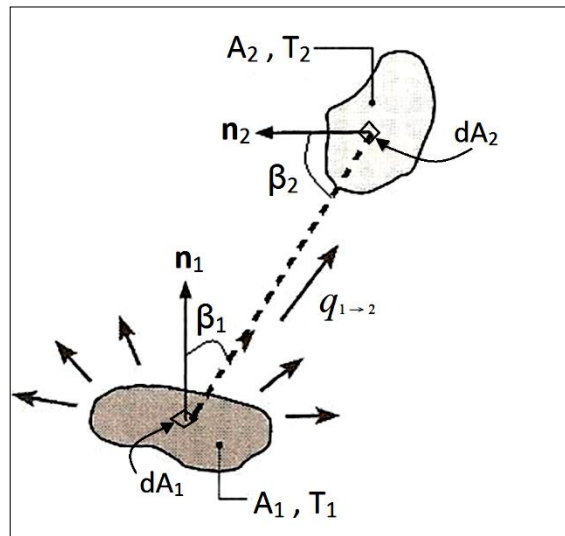


Figura 0.6-Notação do fator de forma geométrico para duas superfícies negras(4)

Para entender como se calcula o fator de forma de uma superfície teremos de começar por relembrar o conceito de intensidade, assim como foi definido a intensidade da radiação de uma superfície é independente da direção se esta estiver de acordo com a lei dos co-senos de Lambert para superfícies difusas. Com base nesse conceito e num outro $\left(\frac{q}{A}\right)_r$ que é a energia radiante por unidade de área de superfície que passa dentro de um ângulo sólido diferencial $\partial\omega$, com um ângulo θ inclinado em relação a normal da superfície emissora, por unidade de tempo(5), pode ser expressa por:

$$\left(\frac{q}{A}\right)_r = w_b = \pi I_b(\lambda, T) \quad (0.22)$$

A intensidade de radiação na forma mais elementar, pode ser definida com a energia emitida por unidade de área, por unidade de tempo, por unidade de ângulo sólido unitário, inclinado com um ângulo β em relação á normal da superfície emissora(4), ou seja:

$$I_b(\lambda, T) = \frac{d\left(\frac{q}{A}\right)_r}{d\omega \cos\beta} \quad (0.23)$$

A partir da definição de intensidade definida anteriormente e dada a distância r entre as duas superfícies A_1 e A_2 da Figura 0.6, pode-se definir o ângulo sólido $d\omega_{1-2}$ e assim determinar a fração de energia que deixa a superfície A_1 por unidade de tempo que chega a A_2 , através da seguinte expressão(5):

$$dq_{1 \rightarrow 2} = I_1 \cos \beta_1 dA_1 d\omega_{1-2} \quad (0.24)$$

Onde I_1 é a intensidade da radiação que parte de A_1 , $d\omega_{1-2}$ é o angulo sólido subtendido pela área elementar dA_1 quando visto de dA_2 e $\cos \beta_1 dA_1$ é a projeção do elemento de área dA_1 quando vista de dA_2 . O angulo sólido $d\omega_{1-2}$ também é definido como base na área projetada da superfície recetora $dA_p = dA \cos \beta_2$, dividindo esta área pela distância entre dA_2 e dA_1 elevado a quadrado, assim o angulo solido representa-se:

$$d\omega_{1-2} = \frac{dA_2}{r^2} \cos \beta_2 \quad (0.25)$$

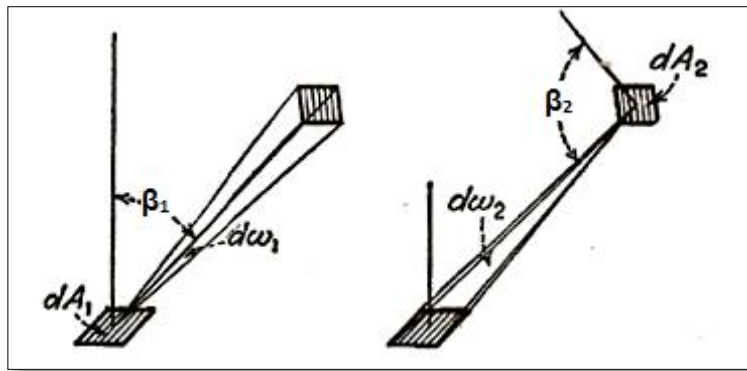


Figura 0.7-Relação entre o angulo sólido para as duas superfícies consideradas (5)

Se agora admitir que as superfícies emitem difusamente radiação pode-se relacionar as 4 expressões anteriores e chegar a seguinte relação:

$$dq_{1 \rightarrow 2} = W_{b1} dA_1 \left(\frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_2}{\pi r^2} \right) \quad (0.26)$$

Pela Figura 0.7 pode-se fazer a analogia para energia emitida por dA_2 que incidisse em dA_1 sendo que o angulo sólido é $d\omega_{2-1} = dA_1 / r^2 \cos \beta_1$ pode-se definir como

$$dq_{2 \rightarrow 1} = W_{b1} dA_2 \left(\frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1}{\pi r^2} \right) \quad (0.27)$$

Antes que finalizar podemos fazer uma analogia com a lei de Stefan-Boltzaman através da Figura 0.6, ou seja pode-se então definir que a quantidade de radiação emitida pela superfície A_1 que chega a A_2 pode ser dada por , $q_{1 \rightarrow 2} = W_{b1} A_1 F_{12}$ em

que W_{b_1} na equação (1.1) referida e F_{12} é o fator de forma da radiação que sai de A_1 e que chega a A_2 (4).

Com base nesta analogia pode-se concluir que o termo dentro de parenteses na equação (1.2) corresponde ao fator de forma F_{12} para as respetivas áreas elementares dA_1 e dA_2 . Então integrando a equação (1.2) obtém-se a radiação sai de A_1 que chega a A_2 ,

$$q_{1 \rightarrow 2} = E_{b_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \left(\frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_2}{\pi r^2} \right) dA_1 \quad (0.28)$$

Portante de forma análoga pode-se escrever que a diferença de radiação trocada por unidade de tempo de A_1 para A_2 tomando como exemplo a Figura 0.6 e as 3 equações anteriores como:

$$q_{2 \rightarrow 1} = (W_{b_1} - W_{b_2}) \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1 dA_2}{\pi r^2} \quad (0.29)$$

Assim a integral dupla pode ser escrita com $A_1 F_{12}$ e assim definir o fator de forma geométrico F_{12} pela seguinte expressão:

$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{A_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi r^2} dA_2 dA_1 \quad (0.30)$$

Generalizando pode-se afirmar que,

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi R^2} dA_i dA_j \quad (0.31)$$

O cálculo dos fatores de forma são normalmente muito complicados devido a resolução da integral dupla sendo por isso disponibilizado normalmente tabela e gráfico com esses valores já calculados de configurações tipo.

A relação de reciprocidade é uma das conhecidas relações, que se pode obter como base na quantidade líquida de calor trocado por duas superfícies como é mostrado da equação 1.5. Se admitirmos que as superfícies são negras pode-se reescrever a equação referida como(5):

$$q_{2 \rightarrow 1} = F_{12} A_1 \sigma T^4 - F_{21} A_2 \sigma T^4 \quad (0.32)$$

Se agora for admitido que T_1 é igual a T_2 , a troca de calor radiativo por unidade de tempo, ou fluxo líquido radiativo entre as duas superfícies A_1 e A_2 será nulo, então a lei da reciprocidade pode-se exprimir como(5):

$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21} \quad (0.33)$$

Outra relação que se pode encontrar é a regra do somatório para uma superfície de cavidade fechada (Figura 0.8). Esta regra pode ser explicada considerando uma superfície de cavidade fechada com enumeras superfícies ou seja inúmeros fatores de forma. Admitindo que as superfícies são isotérmica, que o emissor e refletor são difusos e que fundamentalmente a superfície da cavidade considerada é fechada, torna-se fácil de descrever a regra do somatório como a soma de todos os fatores de forma de uma superfície da cavidade A_i para todas as outras N superfícies da cavidade, inclusive para ela mesma, é igual à unidade. Sendo esta regra expressa pela seguinte expressão.

$$\sum_{j=1}^N F_{ij} = 1 \quad (0.34)$$

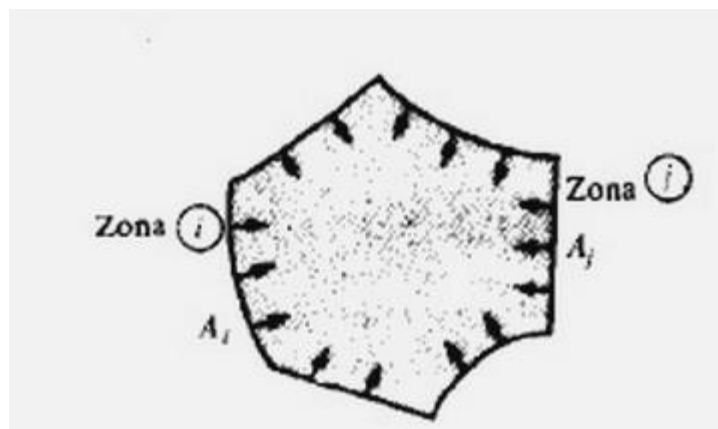


Figura 0.8- Superfícies fechadas com N faces

Considerando na mesma a Figura 0.8 torna-se importante de referir que haverá situações em que as mesmas faces podem trocar radiação entre si, ou seja emitem da sua face e recebem energia radiante para a sua face, embora o contrário também ocorra. Como será evidente o fator de forma da energia radiante trocada entre a mesma superfície pode ser definido como(5):

$$F_{A_i \rightarrow A_i} = 0 \quad , \text{ para superfície planas ou convexas}$$

$$F_{A_i \rightarrow A_i} \neq 0 \quad , \text{ para superfícies concavas}$$

Outra relação que pode ser definida com o exemplo anterior, é que a fração de radiação que emite A_1 que chega a A_2 e A_3 , se esta for plana ou ligeiramente convexa é igual á soma da fração da radiação emitida por A_1 chega a A_2 e fração da radiação emitida por A_1 chega a A_3 , assim:

$$F_{1 \rightarrow 23} = F_{1 \rightarrow 2} + F_{1 \rightarrow 3} \quad (0.35)$$

Existem vários métodos para determinar os fatores de forma de superfícies através da integração das superfícies, mas devido á dificuldade de resolução analítica é normalmente apresentado em gráficos, expressões ou tabelas para a determinação das mesmas para geometrias mais complexas.

Como resultado das diferentes formas de cálculo dos fatores de forma, é possível defini-los para diferentes geometrias, tais como para superfícies infinitamente longas, bidimensionais e tridimensionais.

Para o caso em estudo é considerado fatores de forma tridimensionais, definidos por dois discos paralelos coaxiais, referidos na Figura 0.9:

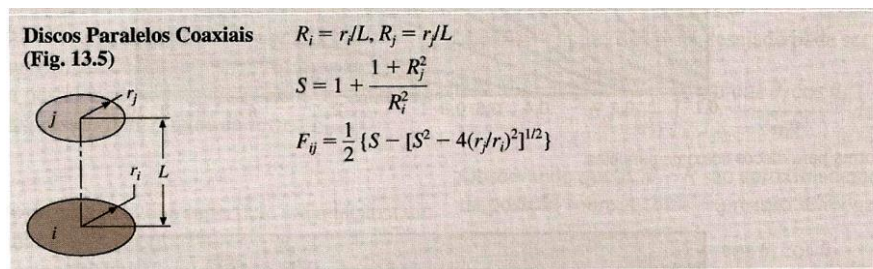


Figura 0.9- Fatores de forma Tridimensionais (23)

É importante relacionar o corpo negro com outras superfícies, como corpo cinzentos ou corpos reais em que as suas propriedades radiativas são diferentes.

A emissividade hemisférica total pode ser definida com a razão entre poder emissivo hemisférico de um corpo real integrado para todos os comprimentos de onda e a de um corpo negro à mesma temperatura, o que é expresso pela expressão seguinte.

$$\varepsilon = \frac{w}{w_b} \text{ ou seja } 0 < \varepsilon \leq 1 \quad (0.36)$$

Onde o poder emissivo espectral pode ser expresso por:

$$w_b = \int_0^\infty w_{\lambda b}(\lambda, T) \partial\lambda = \int_0^\infty \pi i_{\lambda b}(\lambda, T) \partial\lambda = \sigma T^4 \quad (0.37)$$

Igualando as duas equações anteriores podemos obter o poder emissivo hemisférico para um corpo não negro, real, dado por:

$$w = \varepsilon \int_0^{\infty} w_{\lambda b}(\lambda) \partial\lambda = \varepsilon \int_0^{\infty} \pi i_{\lambda b}(\lambda) \partial\lambda = \varepsilon \sigma T^4 \quad (0.38)$$

Depois de enunciado as leis que estão por trás da radiação fica-se em condições de aplicar estes conceitos no calculo da radiação emitida pelo fenómeno da detonação, bem como ao meio que transmite a radiação (fibra óptica), terminando nos sensores que a recebem e a convertem em sinal elétrico (voltagem).

Anexo C

Datasheet - Transmissores HFBR-2406Z e
HFBR-2402Z e Receptor HFBR-1404Z

HFBR-0400Z, HFBR-14xxZ and HFBR-24xxZ Series

Low Cost, Miniature Fiber Optic Components
with ST®, SMA, SC and FC Ports



Data Sheet



Description

The HFBR-0400Z Series of components is designed to provide cost effective, high performance fiber optic communication links for information systems and industrial applications with link distances of up to 2.7 kilometers. With the HFBR-24x6Z, the 125 MHz analog receiver, data rates of up to 160 megabaud are attainable.

Transmitters and receivers are directly compatible with popular "industry-standard" connectors: ST®, SMA, SC and FC. They are completely specified with multiple fiber sizes; including 50/125 μm , 62.5/125 μm , 100/140 μm , and 200 μm .

The HFBR-14x4Z high power transmitter and HFBR-24x6Z 125 MHz receiver pair up to provide a duplex solution optimized for 100 Base-SX. 100Base-SX is a Fast Ethernet Standard (100 Mbps) at 850 nm on multimode fiber.

Complete evaluation kits are available for ST product offerings; including transmitter, receiver, connected cable, and technical literature. In addition, ST connected cables are available for evaluation.

Features

- RoHS Compliant
- Meets IEEE 802.3 Ethernet and 802.5 Token Ring Standards
- Meets TIA/EIA-785 100Base-SX standard
- Low Cost Transmitters and Receivers
- Choice of ST®, SMA, SC or FC Ports
- 820 nm Wavelength Technology
- Signal Rates up to 160 MBd
- Link Distances up to 2.7 km
- Compatible with 50/125 μm , 62.5/125 μm , 100/140 μm , and 200 μm HCS® Fiber
- Repeatable ST Connections within 0.2 dB Typical
- Unique Optical Port Design for Efficient Coupling
- Auto-Insertable and Wave Solderable
- No Board Mounting Hardware Required
- Wide Operating Temperature Range -40 °C to +85 °C
- AlGaAs Emitters 100% Burn-In Ensures High Reliability
- Conductive Port Option

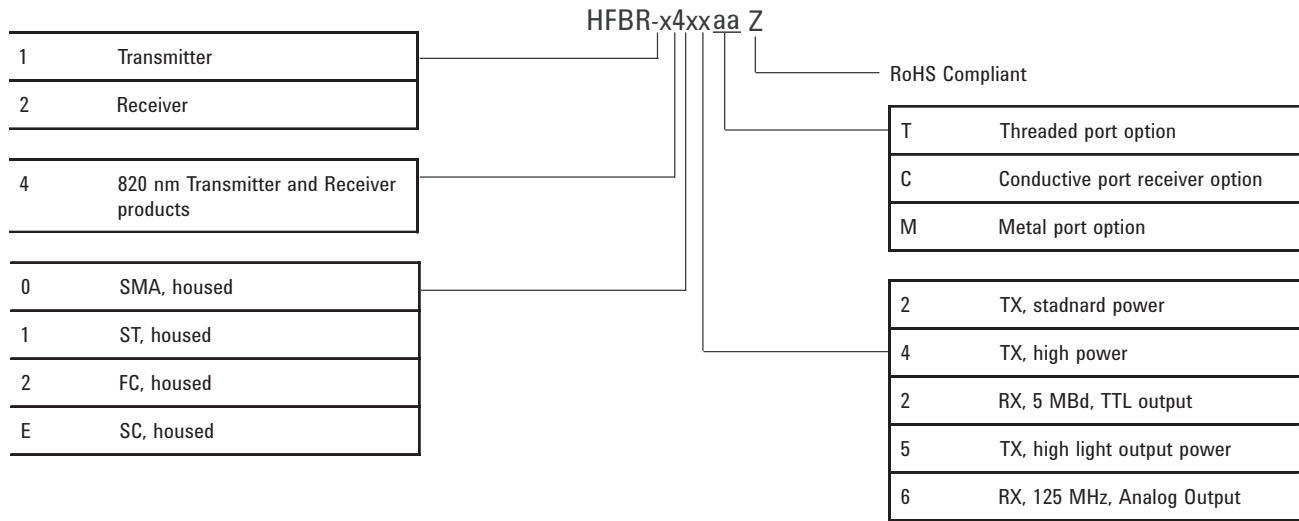
Applications

- 100Base-SX Fast Ethernet on 850 nm
- Media/fiber conversion, switches, routers, hubs and NICs on 100Base-SX
- Local Area Networks
- Computer to Peripheral Links
- Computer Monitor Links
- Digital Cross Connect Links
- Central Office Switch/PBX Links
- Video Links
- Modems and Multiplexers
- Suitable for Tempest Systems
- Industrial Control Links

ST® is a registered trademark of AT&T.

HCS® is a registered trademark of the OFS Corporation.

HFBR-0400Z Series Part Number Guide



Available Options

HFBR-1402Z	HFBR-1414Z	HFBR-1412TMZ	HFBR-2406Z	HFBR-2412Z	HFBR-2416TZ
HFBR-1404Z	HFBR-1414MZ	HFBR-14E4Z	HFBR-2412TCZ	HFBR-2412TZ	HFBR-2416TCZ
HFBR-1412Z	HFBR-1414TZ	HFBR-1415Z	HFBR-2416Z	HFBR-2422Z	
HFBR-1412TZ	HFBR-1424Z	HFBR-2402Z	HFBR-2416MZ	HFBR-24E6Z	

Link Selection Guide

Data rate (MBd)	Distance (m)	Transmitter	Receiver	Fiber Size (µm)	Evaluation Kit
5	1500	HFBR-14x2Z	HFBR-24x2Z	200 HCS	N/A
5	2000	HFBR-14x4Z/14x5Z	HFBR-24x2Z	62.5/125	HFBR-0410Z
20	2700	HFBR-14x4Z/14x5Z	HFBR-24x6Z	62.5/125	HFBR-0414Z
32	2200	HFBR-14x4Z/14x5Z	HFBR-24x6Z	62.5/125	HFBR-0414Z
55	1400	HFBR-14x4Z/14x5Z	HFBR-24x6Z	62.5/125	HFBR-0414Z
125	700	HFBR-14x4Z/14x5Z	HFBR-24x6Z	62.5/125	HFBR-0416Z
155	600	HFBR-14x4Z/14x5Z	HFBR-24x6Z	62.5/125	HFBR-0416Z
160	500	HFBR-14x4Z/14x5Z	HFBR-24x6Z	62.5/125	HFBR-0416Z

For additional information on specific links see the following individual link descriptions. Distances measured over temperature range from 0 to +70 °C. The HFBR-1415Z can be used for increased power budget or for lower driving current for the same Data-Rates and Link-Distances.

Applications Support Guide

This section gives the designer information necessary to use the HFBR-0400Z series components to make a functional fiber optic transceiver.

Avago Technologies offers a wide selection of evaluation kits for hands-on experience with fiber optic products as well as a wide range of application notes complete with circuit diagrams and board layouts.

Furthermore, Avago Technologies application support group is always ready to assist with any design consideration.

Application Literature

Title	Description
HFBR-0400Z Series Reliability Data	Transmitter & Receiver Reliability Data
Application Bulletin 78	Low Cost Fiber Optic Links for Digital Applications up to 155 MBd
Application Note 1038	Complete Fiber Solutions for IEEE 802.3 FOIRL, 10Base-FB and 10Base-FL
Application Note 1065	Complete Solutions for IEEE 802.5J Fiberoptic Token Ring
Application Note 1073	HFBR-0219 Test Fixture for 1x9 Fiber Optic Transceivers
Application Note 1086	Optical Fiber Interconnections in Telecommunication Products
Application Note 1121	DC to 32 MBd Fiberoptic Solutions
Application Note 1122	2 to 70 MBd Fiberoptic Solutions
Application Note 1123	20 to 160 MBd Fiberoptic Solutions
Application Note 1137	Generic Printed Circuit Layout Rules
Application Note 1383	Cost Effective Fiber and Media Conversion for 100Base-SX

HFBR-0400Z Series Evaluation Kits

HFBR-0410Z ST Evaluation Kit

Contains the following:

- One HFBR-1412Z transmitter
- One HFBR-2412Z five megabaud TTL receiver
- Three meters of ST connected 62.5/125 μm fiber optic cable with low cost plastic ferrules.
- Related literature

HFBR-0414Z ST Evaluation Kit

Includes additional components to interface to the transmitter and receiver as well as the PCB to reduce design time. Contains the following:

- One HFBR-1414TZ transmitter
- One HFBR-2416TZ receiver
- Three meters of ST connected 62.5/125 μm fiber optic cable
- Printed circuit board
- ML-4622 CP Data Quantizer
- 74ACT11000N LED Driver
- LT1016CN8 Comparator
- 4.7 μH Inductor
- Related literature

HFBR-0400Z SMA Evaluation Kit

Contains the following:

- One HFBR-1402Z transmitter
- One HFBR-2402Z five megabaud TTL receiver
- Two meters of SMA connected 1000 μm plastic optical fiber
- Related literature

HFBR-0416Z Evaluation Kit

Contains the following:

- One fully assembled 1x9 transceiver board for 155 MBd evaluation including:
 - HFBR-1414Z transmitter
 - HFBR-2416Z receiver
 - circuitry
- Related literature

Package and Handling Information

Package Information

All HFBR-0400Z Series transmitters and receivers are housed in a low-cost, dual-inline package that is made of high strength, heat resistant, chemically resistant, and UL 94V-O flame retardant ULTEM® plastic (UL File #E121562). The transmitters are easily identified by the light grey color connector port. The receivers are easily identified by the dark grey color connector port. (Black color for conductive port). The package is designed for auto-insertion and wave soldering so it is ideal for high volume production applications.

Handling and Design Information

Each part comes with a protective port cap or plug covering the optics. These caps/plugs will vary by port style. When soldering, it is advisable to leave the protective cap on the unit to keep the optics clean. Good system performance requires clean port optics and cable ferrules to avoid obstructing the optical path.

Clean compressed air often is sufficient to remove particles of dirt; methanol on a cotton swab also works well.

Recommended Chemicals for Cleaning/Degreasing HFBR-0400Z Products

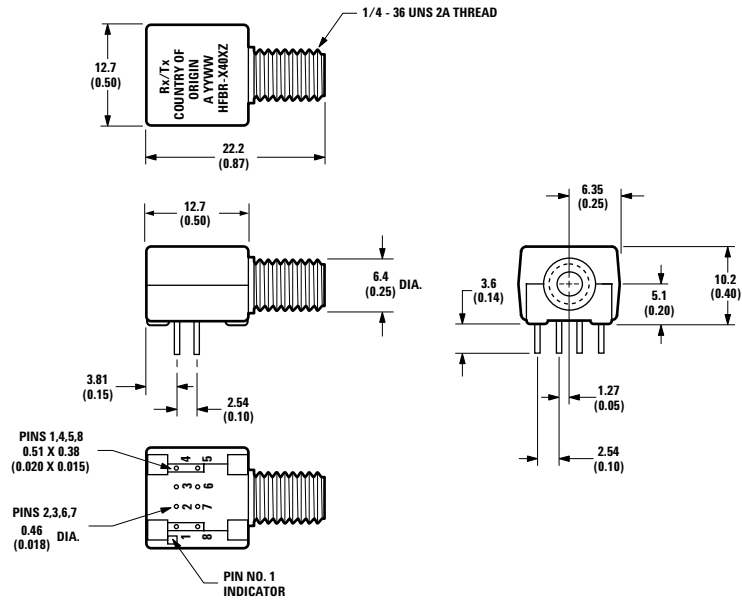
Alcohols: methyl, isopropyl, isobutyl.

Aliphatics: hexane, heptane, Other: soap solution, naphtha.

Do not use partially halogenated hydrocarbons such as 1,1,1 trichloroethane, ketones such as MEK, acetone, chloroform, ethyl acetate, methylene dichloride, phenol, methylene chloride, or N-methylpyrrolidone. Also, Avago Technologies does not recommend the use of cleaners that use halogenated hydrocarbons because of their potential environmental harm.

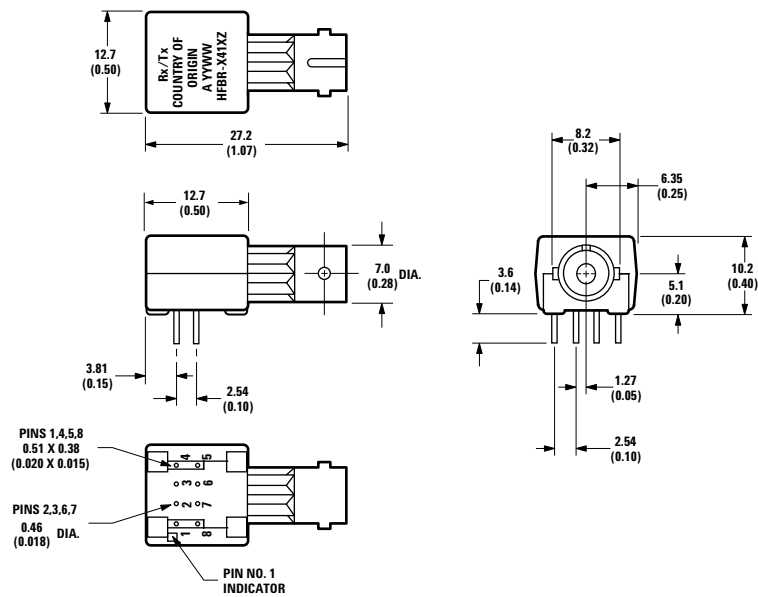
Mechanical Dimensions - SMA Port

HFBR-x40xZ



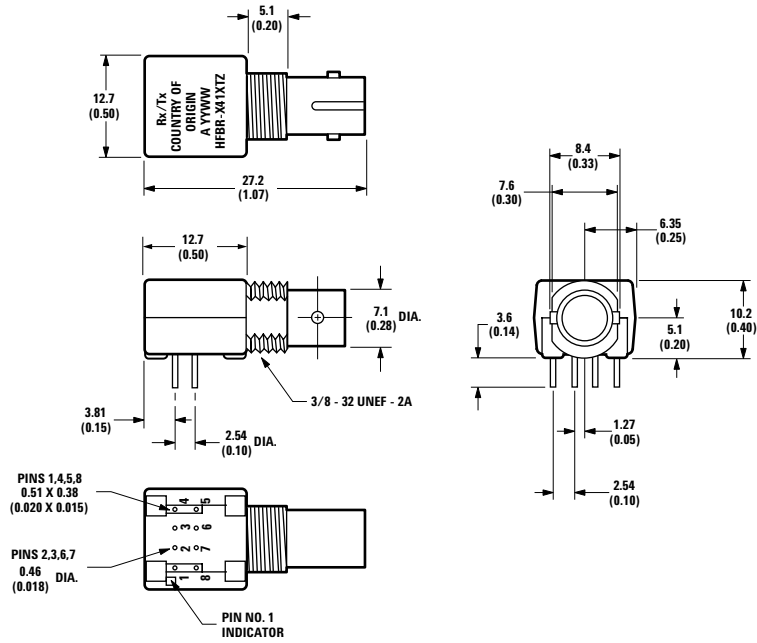
Mechanical Dimensions - ST Port

HFBR-x41xZ



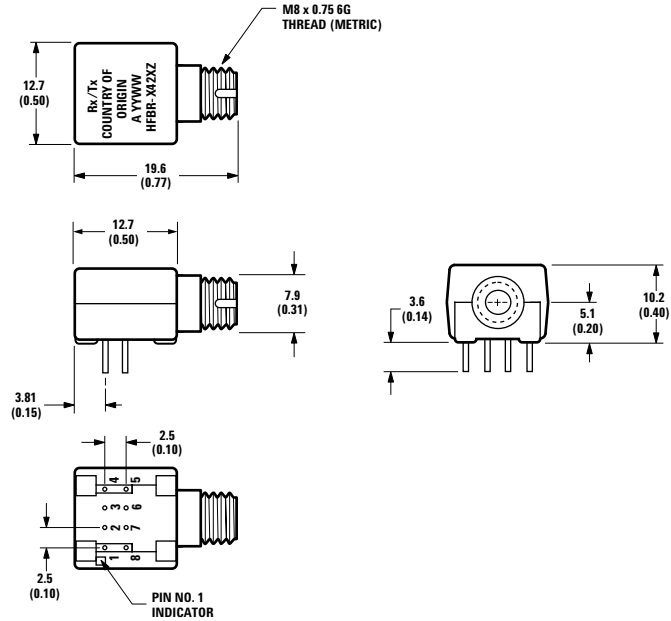
Mechanical Dimensions - Threaded ST Port

HFBR-x41xTZ



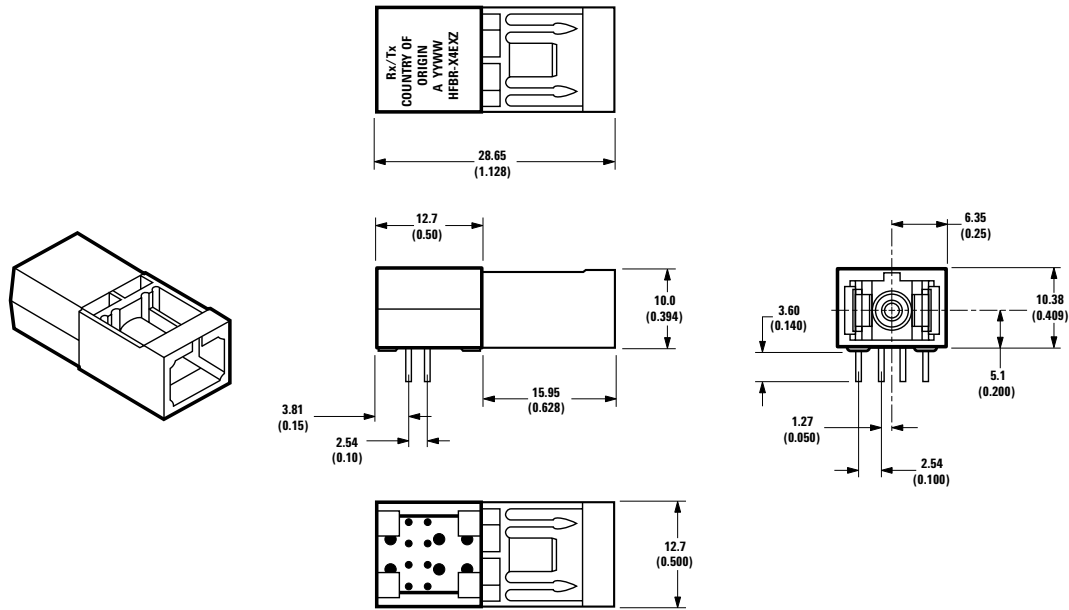
Mechanical Dimensions - FC Port

HFBR-x42xZ



Mechanical Dimensions - SC Port

HFBR-x4ExZ



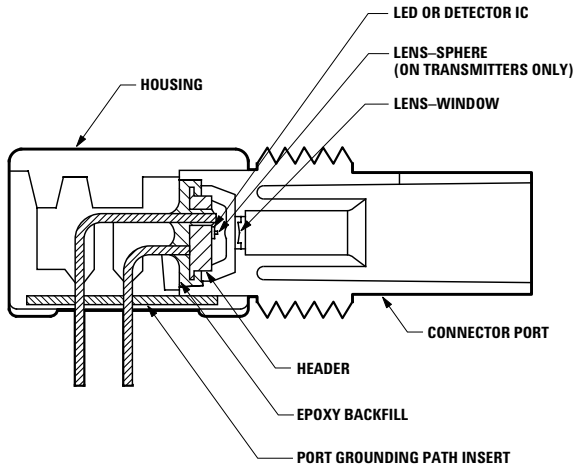
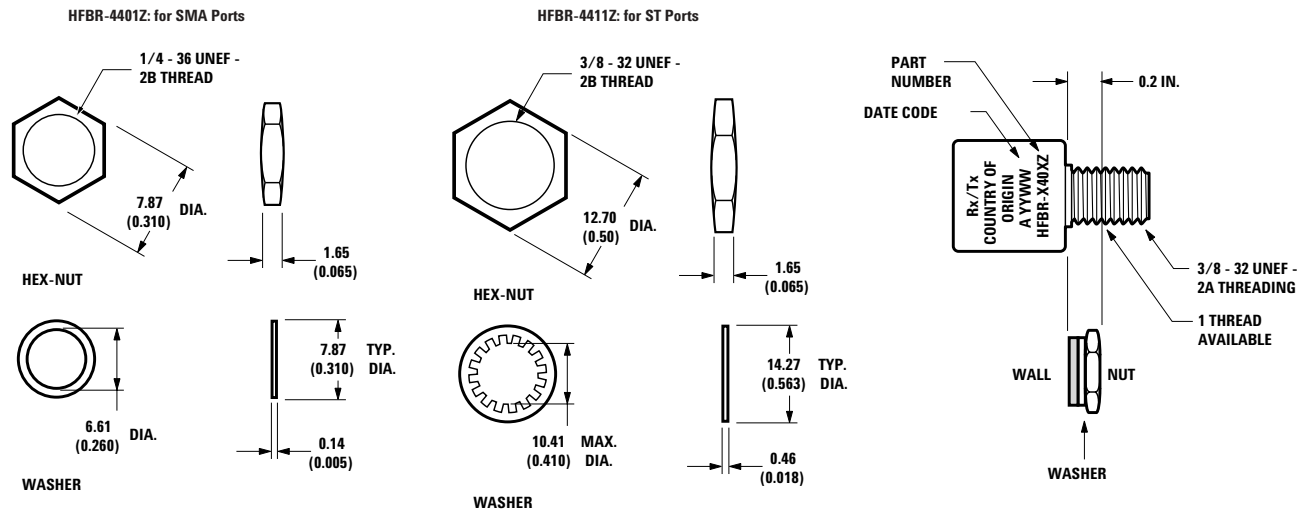


Figure 1. HFBR-0400Z ST Series Cross-Sectional View.

Panel Mount Hardware



(Each HFBR-4401Z and HFBR-4411Z kit consists of 100 nuts and 100 washers).

Port Cap Hardware

HFBR-4402Z: 500 SMA Port Caps
 HFBR-4120Z: 500 ST Port Plugs (120 psi)

Options

In addition to the various port styles available for the HFBR- 0400Z series products, there are also several extra options that can be ordered. To order an option, simply place the corresponding option number at the end of the part number. See page 2 for available options.

Option T (Threaded Port Option)

- Allows ST style port components to be panel mounted.
- Compatible with all current makes of ST® multimode connectors
- Mechanical dimensions are compliant with MIL-STD-83522/13
- Maximum wall thickness when using nuts and washers from the HFBR-4411Z hardware kit is 2.8 mm (0.11 inch)
- Available on all ST ports

Option C (Conductive Port Receiver Option)

- Designed to withstand electrostatic discharge (ESD) of 25 kV to the port
- Significantly reduces effect of electromagnetic interference (EMI) on receiver sensitivity
- Allows designer to separate the signal and conductive port grounds
- Recommended for use in noisy environments
- Available on SMA and threaded ST port style receivers only

Option M (Metal Port Option)

- Nickel plated aluminum connector receptacle
- Designed to withstand electrostatic discharge (ESD) of 15 kV to the port
- Significantly reduces effect of electromagnetic interference (EMI) on receiver sensitivity
- Allows designer to separate the signal and metal port grounds

Typical Link Data

HFBR-0400Z Series

Description

The following technical data is taken from 4 popular links using the HFBR-0400Z series: the 5 MBd link, Ethernet 20 MBd link, Token Ring 32 MBd link, and the corresponds to transceiver solutions combining the HFBR-0400Z series components and various recommended transceiver design circuits using off-the-shelf electrical components. This data is meant to be regarded as an example of typical link performance for a given design and does not call out any link limitations. Please refer to the appropriate application note given for each link to obtain more information.

5 MBd Link (HFBR-14xxZ/24x2Z)

Link Performance -40 °C to +85 °C unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	Reference
Optical Power Budget with 50/125 μm fiber	OPB ₅₀	4.2	9.6		dB	HFBR-14x4Z/24x2Z NA = 0.2	Note 1
Optical Power Budget with 62.5/125 μm fiber	OPB _{62.5}	8.0	15		dB	HFBR-14x4Z/24x2Z NA = 0.27	Note 1
Optical Power Budget with 100/140 μm fiber	OPB ₁₀₀	8.0	15		dB	HFBR-14x2Z/24x2Z NA = 0.30	Note 1
Optical Power Budget with 200 μm fiber	OPB ₂₀₀	12	20		dB	HFBR-14x2Z/24x2Z NA = 0.37	Note 1
Date Rate Synchronous		dc		5	MBd		Note 2
Asynchronous		dc		2.5	MBd		Note 3, Fig 7
Propagation Delay LOW to HIGH	t_{PLH}		72		ns	$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$ $P_R = -21\text{ dBm peak}$	Figs 6, 7, 8
Propagation Delay HIGH to LOW	t_{PHL}		46		ns		
System Pulse Width Distortion	$t_{PLH} - t_{PHL}$		26		ns	Fiber cable length = 1 m	
Bit Error Rate	BER			10^{-9}		Data rate <5 Bd $P_R > -24\text{ dBm peak}$	

Notes:

- OPB at $T_A = -40$ to $+85\text{ }^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5.0\text{ V dc}$, IF ON = 60 mA. $P_R = -24\text{ dBm peak}$.
- Synchronous data rate limit is based on these assumptions: a) 50% duty factor modulation, e.g., Manchester I or BiPhase Manchester II; b) continuous data; c) PLL Phase Lock Loop demodulation; d) TTL threshold.
- Asynchronous data rate limit is based on these assumptions: a) NRZ data; b) arbitrary timing-no duty factor restriction; c) TTL threshold.

5 MBd Logic Link Design

If resistor R1 in Figure 2 is 70.4 Ω, a forward current I_F of 48 mA is applied to the HFBR-14x4Z LED transmitter. With I_F = 48 mA the HFBR-14x4Z/24x2Z logic link is guaranteed to work with 62.5/125 μm fiber optic cable over the entire range of 0 to 1750 meters at a data rate of dc to 5 MBd, with arbitrary data format and pulse width distortion typically less than 25%. By setting R₁ = 115 Ω, the transmitter can be driven with I_F = 30 mA, if it is desired to economize on power or achieve lower pulse distortion.

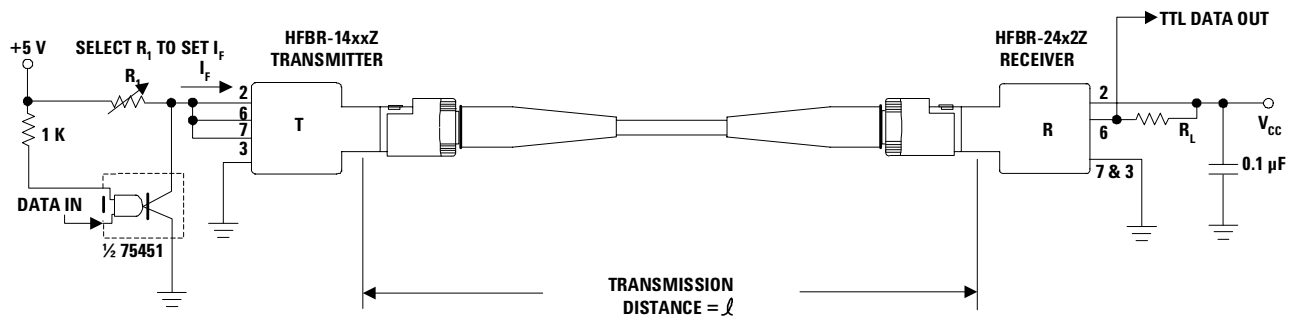
The following example will illustrate the technique for selecting the appropriate value of I_F and R₁.

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} = \frac{5V - 1.5V}{15 \text{ mA}}$$

$$R_1 = 233 \Omega$$

Maximum distance required = 400 meters. From Figure 3 the drive current should be 15 mA. From the transmitter data V_F = 1.5 V (max.) at I_F = 15 mA as shown in Figure 9.

The curves in Figures 3, 4, and 5 are constructed assuming no inline splice or any additional system loss. Should the link consists of any in-line splices, these curves can still be used to calculate link limits provided they are shifted by the additional system loss expressed in dB. For example, Figure 3 indicates that with 48 mA of transmitter drive current, a 1.75 km link distance is achievable with 62.5/125 μm fiber which has a maximum attenuation of 4 dB/km. With 2 dB of additional system loss, a 1.25 km link distance is still achievable.



NOTE:
IT IS ESSENTIAL THAT A BYPASS CAPACITOR (0.01 μF TO 0.1 μF CERAMIC) BE CONNECTED FROM PIN 2 TO PIN 7 OF THE RECEIVER. TOTAL LEAD LENGTH BETWEEN BOTH ENDS OF THE CAPACITOR AND THE PINS SHOULD NOT EXCEED 20 MM.

Figure 2. Typical Circuit Configuration.

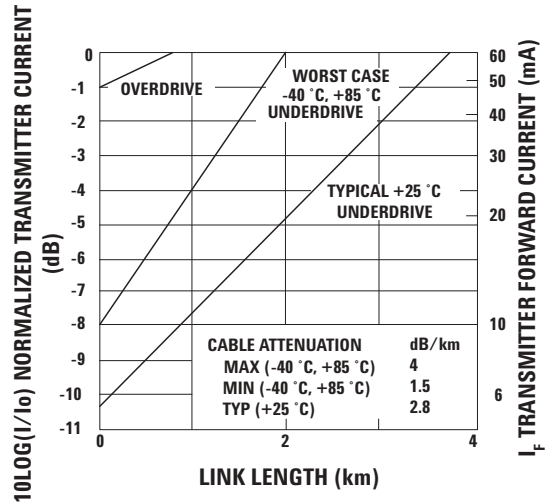


Figure 3. HFBR-1414Z/HFBR-2412Z Link Design Limits with 62.5/125 μ m Cable.

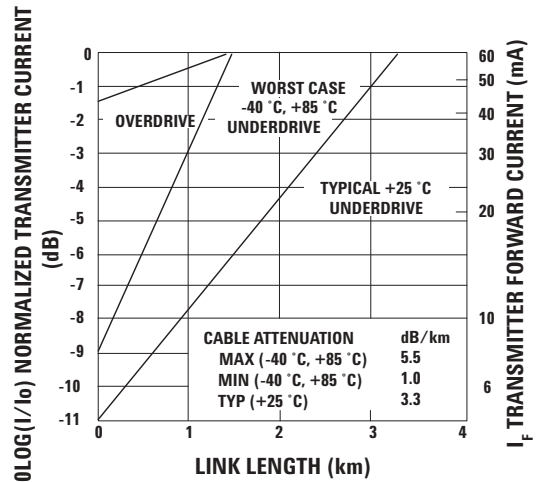


Figure 4. HFBR-14x2Z/HFBR-24x2Z Link Design Limits with 100/140 μ m Cable.

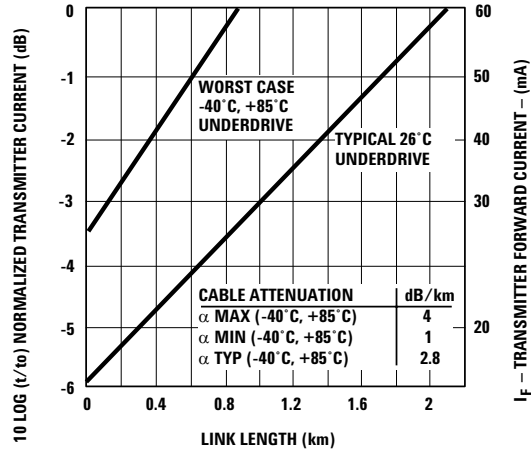


Figure 5. HFBR-14x4Z/HFBR-24x2Z Link Design Limits with 50/125 μ m Cable.

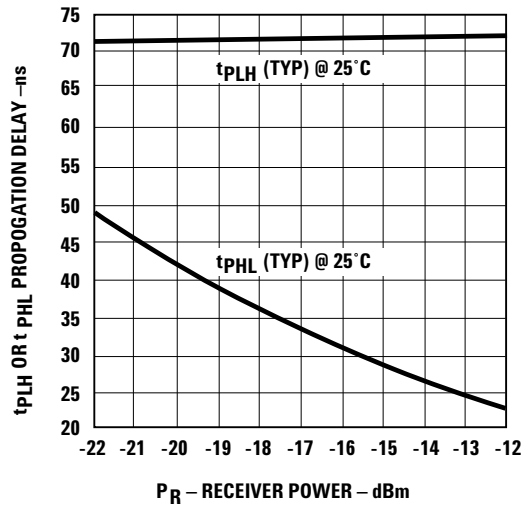


Figure 6. Propagation Delay through System with One Meter of Cable.

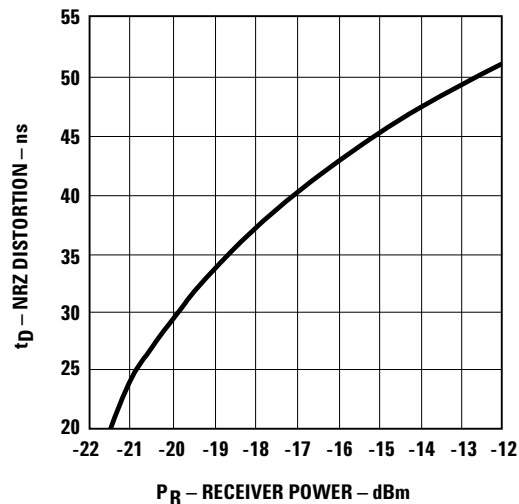


Figure 7. Typical Distortion of Pseudo Random Data at 5 Mb/s.

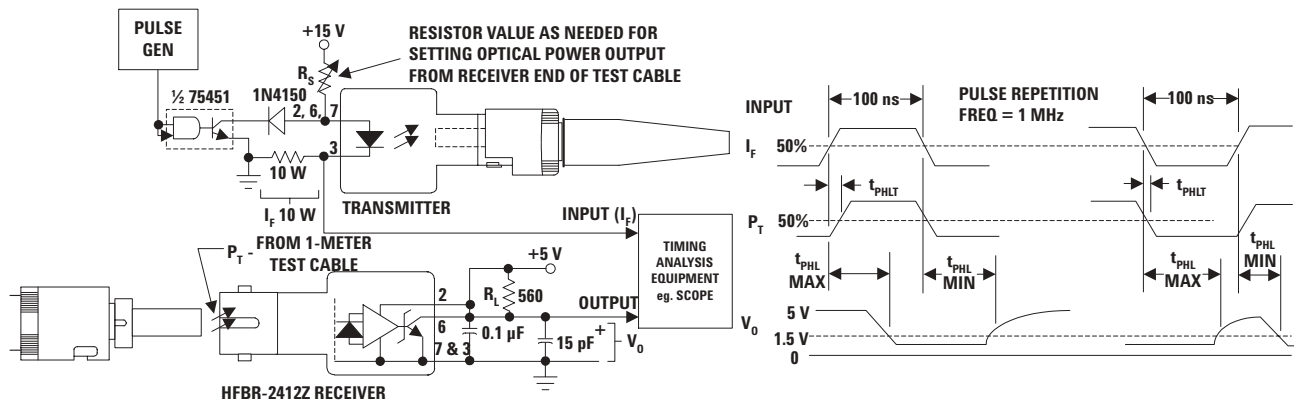


Figure 8. System Propagation Delay Test Circuit and Waveform Timing Definitions.

Ethernet 20 MBd Link (HFBR-14x4Z/24x6Z)

(refer to Application Note 1038 for details)

Typical Link Performance

Parameter	Symbol	Typ [1, 2]	Units	Conditions
Receiver Sensitivity		-34.4	dBm average	20 MBd D2D2 hexadecimal data 2 km 62.5/125 μ m fiber
Link Jitter		7.56 7.03	ns pk-pk ns pk-pk	ECL Out Receiver TTL Out Receiver
Transmitter Jitter		0.763	ns pk-pk	20 MBd D2D2 hexadecimal data
Optical Power	P_T	-15.2	dBm average	20 MBd D2D2 hexadecimal data Peak $I_{E,ON} = 60$ mA
LED Rise Time	t_r	1.30	ns	1 MHz square wave input
LED Fall Time	t_f	3.08	ns	
Mean Difference	$ t_r - t_f $	1.77	ns	
Bit Error Rate	BER	10^{-10}		
Output Eye Opening		36.7	ns	At AUI receiver output
Data Format 50% Duty Factor		20	MBd	

Notes:

1. Typical data at $T_A = +25$ °C, $V_{CC} = 5.0$ V dc.
2. Typical performance of circuits shown in Figure 1 and Figure 3 of AN-1038 (see applications support section).

Token Ring 32 MBd Link (HFBR-14x4Z/24x6Z)

(refer to Application Note 1065 for details)

Typical Link Performance

Parameter	Symbol	Typ [1, 2]	Units	Conditions
Receiver Sensitivity		-34.1	dBm average	32 MBd D2D2 hexadecimal data 2 km 62.5/125 μ m fiber
Link Jitter		6.91 5.52	ns pk-pk ns pk-pk	ECL Out Receiver TTL Out Receiver
Transmitter Jitter		0.823	ns pk-pk	32 MBd D2D2 hexadecimal data
Optical Power Logic Level "0"	P _{T ON}	-12.2	dBm peak	Transmitter TTL in I _{F ON} = 60 mA, I _{F OFF} = 1 mA
Optical Power Logic Level "1"	P _{T OFF}	-82.2		
LED Rise Time	t _r	1.3	ns	1 MHz square wave input
LED Fall Time	t _f	3.08	ns	
Mean Difference	t _r - t _f	1.77	ns	
Bit Error Rate	BER	10 ⁻¹⁰		
Data Format 50% Duty Factor		32	MBd	

Notes:

1. Typical data at T_A = +25 °C, V_{CC} = 5.0 V dc.
2. Typical performance of circuits shown in Figure 1 and Figure 3 of AN-1065 (see applications support section)

155 MBd Link (HFBR-14x4Z/24x6Z)

(refer to Application Bulletin 78 for details)

Typical Link Performance

Parameter	Symbol	Min	Typ [1, 2]	Max	Units	Conditions	Ref
Optical Power Budget with 50/125 μ m fiber	OPB ₅₀	7.9	13.9		dB	NA = 0.2	Note 2
Optical Power Budget with 62.5/125 μ m fiber	OPB ₆₂	11.7	17.7		dB	NA = 0.27	
Optical Power Budget with 100/140 μ m fiber	OPB ₁₀₀	11.7	17.7		dB	NA = 0.30	
Optical Power Budget with 200 μ m HCS fiber	OPB ₂₀₀	16.0	22.0		dB	NA = 0.35	
Data Format 20% to 80% Duty Factor		1		175	MBd		
System Pulse Width Distortion	t _{PLH} - t _{PHL}		1		ns	PR = -7 dBm peak 1 m 62.5/125 μ m fiber	
Bit Error Rate	BER		10 ⁻⁹			Data rate < 100 MBaud PR > -31 dBm peak	Note 2

Notes:

1. Typical data at T_A = +25 °C, V_{CC} = 5.0 V dc, PECL serial interface.
2. Typical OPB was determined at a probability of error (BER) of 10⁻⁹. Lower probabilities of error can be achieved with short fibers that have less optical loss.

HFBR-14x2Z/14x4Z Low-Cost High-Speed Transmitters

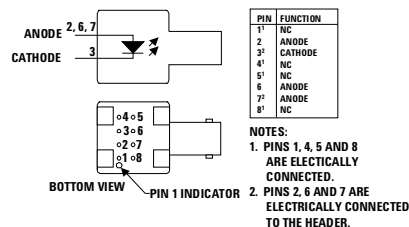
Description

The HFBR-14xxZ fiber optic transmitter contains an 820 nm AlGaAs emitter capable of efficiently launching optical power into four different optical fiber sizes: 50/125 μm , 62.5/125 μm , 100/140 μm , and 200 μm HCS[®]. This allows the designer flexibility in choosing the fiber size. The HFBR-14xxZ is designed to operate with the Avago Technologies HFBR-24xxZ fiber optic receivers.

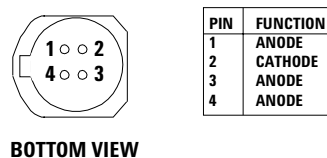
The HFBR-14xxZ transmitter's high coupling efficiency allows the emitter to be driven at low current levels resulting in low power consumption and increased reliability of the transmitter. The HFBR-14x4Z high power transmitter is optimized for small size fiber and typically can launch -15.8 dBm optical power at 60 mA into 50/125 μm fiber and -12 dBm into 62.5/125 μm fiber. The HFBR-14x2Z standard transmitter typically can launch -12 dBm of optical power at 60 mA into 100/140 μm fiber cable. It is ideal for large size fiber such as 100/140 μm . The high launched optical power level is useful for systems where star couplers, taps, or inline connectors create large fixed losses.

Consistent coupling efficiency is assured by the double-lens optical system (Figure 1). Power coupled into any of the three fiber types varies less than 5 dB from part to part at a given drive current and temperature. Consistent coupling efficiency reduces receiver dynamic range requirements which allows for longer link lengths.

Housed Product



Unhoused Product



Regulatory Compliance - Targeted Specifications

Feature	Test Method	Performance
Electrostatic Discharge (ESD)	MIL-STD-883 Method 3015	Class 1B (>500, <1000 V) - Human Body Model

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min	Max	Units	Reference
Storage Temperature	T_S	-55	+85	$^{\circ}\text{C}$	
Operating Temperature	T_A	-40	+85	$^{\circ}\text{C}$	
Lead Soldering Cycle					
Temp			+260	$^{\circ}\text{C}$	
Time			10	sec	
Forward Input Current					
Peak	I_{FPK}		200	mA	Note 1
dc	I_{Fdc}		100	V	
Reverse Input Voltage	VBR		1.8	V	

Electrical/Optical Specifications -40 °C to +85 °C unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Min	Typ ²	Max	Units	Conditions	Reference
Forward Voltage	V _F	1.48	1.70 1.84	2.09	V	IF = 60 mA dc IF = 100 mA dc	Figure 9
Forward Voltage Temperature Coefficient	ΔV _F /ΔT		-0.22 -0.18		mV/°C	IF = 60 mA dc IF = 100 mA dc	Figure 9
Reverse Input Voltage	V _{BR}	1.8	3.8		V	IF = 100 μA dc	
Peak Emission Wavelength	λ _p	792	820	865	nm		
Diode Capacitance	C _T		55		pF	V = 0, f = 1 MHz	
Optical Power Temperature Coefficient	ΔP _T /ΔT		-0.006 -0.010		dB/°C	I = 60 mA dc I = 100 mA dc	
Thermal Resistance	θ _{JA}		260		°C/W		Notes 3, 8
14x2Z Numerical Aperture	NA		0.49				
14x4Z Numerical Aperture	NA		0.31				
14x2Z Optical Port Diameter	D		290		μm		Note 4
14x4Z Optical Port Diameter	D		150		μm		Note 4

HFBR-14x2Z Output Power Measured Out of 1 Meter of Cable

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Units	Conditions	Reference
50/125 μm Fiber Cable	P _{T50}	-21.8	-18.8	-16.8	dBm peak	T _A = +25 °C, I _F = 60mA dc	Notes 5, 6, 9
		-22.8		-15.8			
		-20.3	-16.8	-14.4		T _A = +25 °C, I _F = 100mA dc	
		-21.9		-13.8			
62.5/125 μm Fiber Cable	P _{T62}	-19.0	-16.0	-14.0	dBm peak	T _A = +25 °C, I _F = 60mA dc	
		-20.0		-13.0			
		-17.5	-14.0	-11.6		T _A = +25 °C, I _F = 100mA dc	
		-19.1		-11.0			
100/140 μm Fiber Cable	P _{T100}	-15.0	-12.0	-9.5	dBm peak	T _A = +25 °C, I _F = 60mA dc	
		-16.0		-8.5			
		-13.5	-10.0	-7.1		T _A = +25 °C, I _F = 100mA dc	
		-15.1		-6.5			
200 μm HCS Fiber Cable	P _{T200}	-9.5	-6.5	-3.0	dBm peak	T _A = +25 °C, I _F = 60mA dc	
		-10.5		-2.0			
		-8.0	-4.5	-0.6		T _A = +25 °C, I _F = 100mA dc	
		-9.6		0.0			

CAUTION: The small junction sizes inherent to the design of these components increase the components' susceptibility to damage from electrostatic discharge (ESD). It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of these components to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

HFBR-14x4Z Output Power Measured out of 1 Meter of Cable

Parameter	Symbol	Min	Typ ²	Max	Units	Conditions	Reference
50/125 μm Fiber Cable NA = 0.2	P_{T50}	-18.8	-15.8	-13.8	dBm peak	$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 60\text{mA dc}$	Notes 5, 6, 9
		-19.8		-12.8			
		-17.3	-13.8	-11.4		$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 100\text{ mA dc}$	
		-18.9		-10.8			
62.5/125 μm Fiber Cable NA = 0.275	P_{T62}	-15.0	-12.0	-10.0	dBm peak	$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 60\text{mA dc}$	
		-16.0		-9.0			
		-13.5	-10.0	-7.6		$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 100\text{ mA dc}$	
		-15.1		-7.0			
100/140 μm Fiber Cable NA = 0.3	P_{T100}	-11.5	-8.5	-5.5	dBm peak	$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 60\text{mA dc}$	
		-12.5		-4.5			
		-10.0	-6.5	-3.1		$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 100\text{ mA dc}$	
		-11.6		-2.5			
200 μm HCS Fiber Cable NA = 0.37	P_{T200}	-7.5	-4.5	-0.5	dBm peak	$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 60\text{mA dc}$	
		-8.5		0.5			
		-6.0	-2.5	1.9		$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 100\text{ mA dc}$	
		-7.6		2.5			

HFBR-14x5Z Output Power Measured out of 1 Meter of Cable

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Units	Conditions
200 μm Fiber Cable NA = 0.37	PT200	-6.0	-3.6	0.0	dBm peak	$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 60\text{mA}$
		-7.0		1.0	dBm peak	$T_A = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $85\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 60\text{mA}$
62.5/125 μm Fiber Cable NA = 0.275	PT62	-12.0	-10.5	-8.0	dBm peak	$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 60\text{mA}$
		-13.0		-7.0	dBm peak	$T_A = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $85\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 60\text{mA}$
50/125 μm Fiber Cable NA = 0.2	PT50	-16.5	-14.3	-11.5	dBm peak	$T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 60\text{mA}$
		-17.5		-10.5	dBm peak	$T_A = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $85\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 60\text{mA}$

14x2Z/14x4Z/14x5Z Dynamic Characteristics

Parameter	Symbol	Min	Typ ²	Max	Units	Conditions	Reference
Rise Time, Fall Time (10% to 90%)	t_r , t_f		4.0	6.5	nsec No pre-bias	$I_F = 60\text{ mA}$ Figure 12	Note 7
Rise Time, Fall Time (10% to 90%)	t_r , t_f		3.0		nsec	$I_F = 10\text{ to }100\text{ mA}$	Note 7, Figure 11
Pulse Width Distortion	PWD		0.5		nsec		Figure 11

Notes:

- For $I_{FPK} > 100\text{ mA}$, the time duration should not exceed 2 ns.
- Typical data at $T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$.
- Thermal resistance is measured with the transmitter coupled to a connector assembly and mounted on a printed circuit board.
- D is measured at the plane of the fiber face and defines a diameter where the optical power density is within 10 dB of the maximum.
- P_T is measured with a large area detector at the end of 1 meter of mode stripped cable, with an ST® precision ceramic ferrule (MILSTD- 83522/13) for HFBR-1412Z/1414Z, and with an SMA 905 precision ceramic ferrule for HFBR-1402Z/1404Z.
- When changing mW to dBm, the optical power is referenced to 1 mW (1000 mW). Optical Power P (dBm) = $10 \log P (\text{mW})/1000\text{ mW}$.
- Pre-bias is recommended if signal rate $>10\text{ MBd}$, see recommended drive circuit in Figure 11.
- Pins 2, 6 and 7 are welded to the anode header connection to minimize the thermal resistance from junction to ambient. To further reduce the thermal resistance, the anode trace should be made as large as is consistent with good RF circuit design.
- Fiber NA is measured at the end of 2 meters of mode stripped fiber, using the far-field pattern. NA is defined as the sine of the half angle, determined at 5% of the peak intensity point. When using other manufacturer's fiber cable, results will vary due to differing NA values and specification methods.

All HFBR-14XXZ LED transmitters are classified as IEC 825-1 Accessible Emission Limit (AEL) Class 1 based upon the current proposed draft scheduled to go in to effect on January 1, 1997. AEL Class 1 LED devices are considered eye safe. Contact your Avago Technologies sales representative for more information.

CAUTION: The small junction sizes inherent to the design of these components increase the components' susceptibility to damage from electrostatic discharge (ESD). It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of these components to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

Recommended Drive Circuits

The circuit used to supply current to the LED transmitter can significantly influence the optical switching characteristics of the LED. The optical rise/fall times and propagation delays can be improved by using the appropriate circuit techniques. The LED drive circuit shown in Figure 11 uses frequency compensation to reduce the typical rise/fall times of the LED and a small pre-bias voltage to minimize propagation delay differences that cause pulse-width distortion. The circuit will typically produce rise/fall

times of 3 ns, and a total jitter including pulse-width distortion of less than 1 ns. This circuit is recommended for applications requiring low edge jitter or high-speed data transmission at signal rates of up to 155 MBd. Component values for this circuit can be calculated for different LED drive currents using the equations shown below. For additional details about LED drive circuits, the reader is encouraged to read Avago Technologies Application Bulletin 78 and Application Note 1038.

$$R_Y = \frac{(V_{CC} - V_F) + 3.97(V_{CC} - V_F - 1.6V)}{I_{FON} (A)}$$

$$R_{X1} = \frac{1}{2} \left(\frac{R_Y}{3.97} \right)$$

$$R_{EQ2} (\Omega) = R_{X1} - 1$$

$$R_{X2} = R_{X3} = R_{X4} = 3(R_{EQ2})$$

$$C(pF) = \frac{2000 \text{ ps}}{R_{X1}(\Omega)}$$

Example for $I_{FON} = 100\text{mA}$:
 V_F can be obtained from Figure 9 (=1.84 V).

$$R_Y = \frac{(5 - 1.84) + 3.97(5 - 1.84 - 1.6)}{0.100}$$

$$R_Y = \frac{3.16 + 6.19}{0.100} = 93.5 \Omega$$

$$R_{X1} = \frac{1}{2} \left(\frac{93.5}{3.97} \right) = 11.8 \Omega$$

$$R_{EQ2} = 11.8 - 1 = 10.8 \Omega$$

$$R_{X2} = R_{X3} = R_{X4} = 3(10.8) = 32.4 \Omega$$

$$C = \frac{2000 \text{ ps}}{11.8 \Omega} = 169 \text{ pF}$$

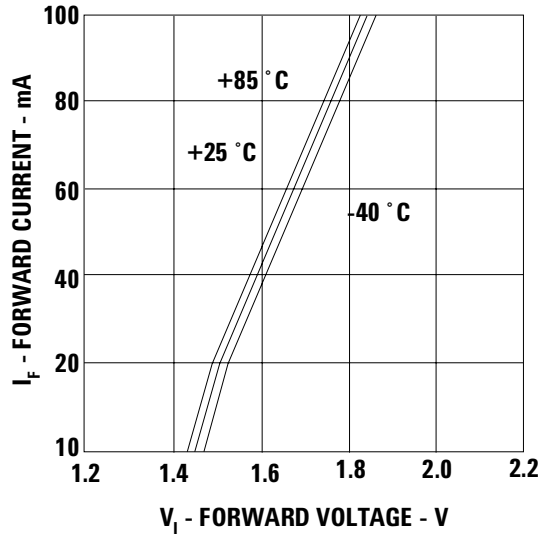


Figure 9. Forward Voltage and Current Characteristics.

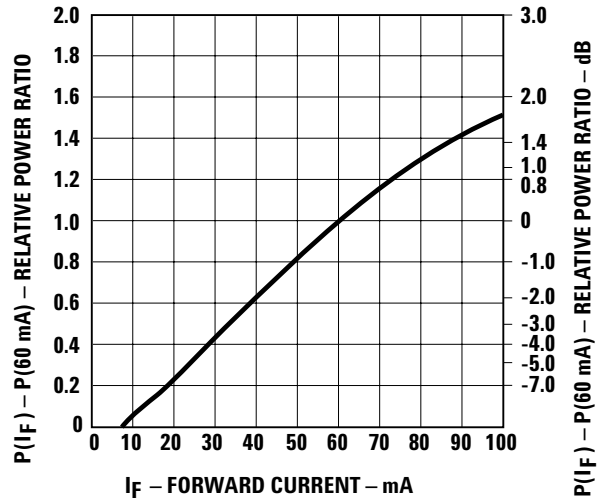


Figure 10. Normalized Transmitter Output vs. Forward Current.

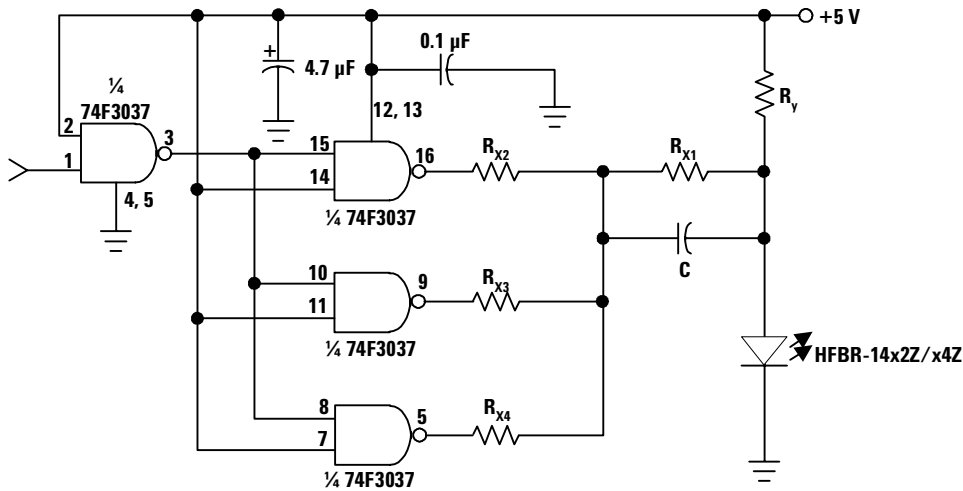


Figure 11. Recommended Drive Circuit.

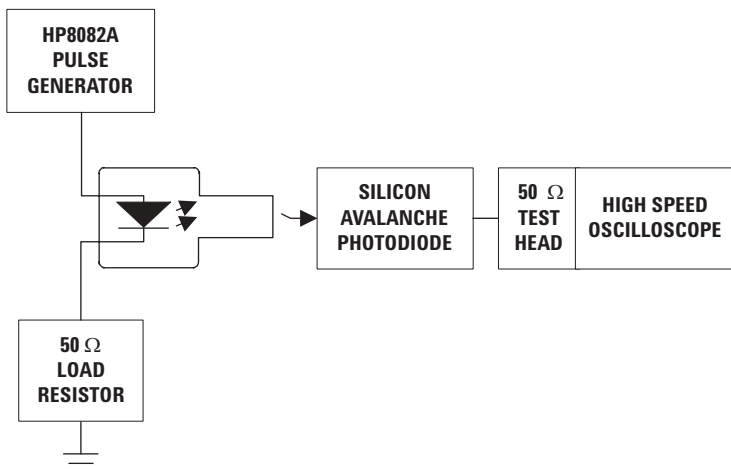


Figure 12. Test Circuit for Measuring t_r , t_f .

HFBR-24x2Z Low-Cost 5 MBd Receiver

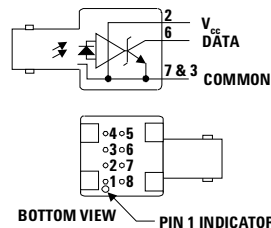
Description

The HFBR-24x2Z fiber optic receiver is designed to operate with the Avago Technologies HFBR-14xxZ fiber optic transmitter and 50/125 μm , 62.5/125 μm , 100/140 μm , and 200 μm HCS® fiber optic cable. Consistent coupling into the receiver is assured by the lensed optical system (Figure 1). Response does not vary with fiber size $\leq 0.100 \mu\text{m}$.

The HFBR-24x2Z receiver incorporates an integrated photo IC containing a photodetector and dc amplifier driving an opencollector Schottky output transistor. The HFBR-24x2Z is designed for direct interfacing to popular logic families. The absence of an internal pull-up resistor allows the open-collector output to be used with logic families such as CMOS requiring voltage excursions much higher than V_{CC} .

Both the open-collector “Data” output Pin 6 and V_{CC} Pin 2 are referenced to “Com” Pin 3, 7. The “Data” output allows busing, strobing and wired “OR” circuit configurations. The transmitter is designed to operate from a single +5 V supply. It is essential that a bypass capacitor (0.1 mF ceramic) be connected from Pin 2 (V_{CC}) to Pin 3 (circuit common) of the receiver.

Housed Product

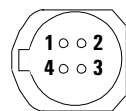


PIN	FUNCTION
1 ¹	NC
2	V_{CC} (5 V)
3 ²	COMMON
4 ¹	NC
5 ¹	NC
6	DATA
7 ²	COMMON
8 ¹	NC

NOTES:

1. PINS 1, 4, 5 AND 8 ARE ELECTRICALLY CONNECTED
2. PINS 3 AND 7 ARE ELECTRICALLY CONNECTED TO HEADER

Unhoused Product



BOTTOM VIEW

PIN	FUNCTION
1	V_{CC} (5 V)
2	COMMON
3	DATA
4	COMMON

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min	Max	Units	Reference
Storage Temperature	T_s	-55	+85	$^{\circ}\text{C}$	
Operating Temperature	T_A	-40	+85	$^{\circ}\text{C}$	
Lead Soldering Cycle					Note 1
Temp			+260	$^{\circ}\text{C}$	
Time			10	sec	
Supply Voltage	V_{CC}	-0.5	7.0	V	
Output Current	I_o		25	mA	
Output Voltage	V_o	-0.5	18.0	V	
Output Collector Power Dissipation	$P_{O AV}$		40	mW	
Fan Out (TTL)	N		5		Note 2

Electrical/Optical Characteristics -40 °C to + 85 °C unless otherwise specifiedFiber sizes with core diameter $\leq 100 \mu\text{m}$ and $\text{NA} \leq 0.35$, $4.75 \text{ V} \leq V_{\text{CC}} \leq 5.25 \text{ V}$

Parameter	Symbol	Min	Typ ³	Max	Units	Conditions	Reference
High Level Output Current	I_{OH}		5	250	μA	$V_{\text{O}} = 18$ $P_{\text{R}} < -40 \text{ dBm}$	
Low Level Output Voltage	V_{OL}		0.4	0.5	V	$I_{\text{O}} = 8 \text{ mA}$ $P_{\text{R}} > -24 \text{ dBm}$	
High Level Supply Current	I_{CCH}		3.5	6.3	mA	$V_{\text{CC}} = 5.25 \text{ V}$ $P_{\text{R}} < -40 \text{ dBm}$	
Low Level Supply Current	I_{CCL}		6.2	10	mA	$V_{\text{CC}} = 5.25 \text{ V}$ $P_{\text{R}} > -24 \text{ dBm}$	
Equivalent NA	NA		0.50				
Optical Port Diameter	D		400		μm		Note 4

Dynamic Characteristics-40 °C to +85 °C unless otherwise specified; $4.75 \text{ V} \leq V_{\text{CC}} \leq 5.25 \text{ V}$; $\text{BER} \leq 10^{-9}$

Parameter	Symbol	Min	Typ ³	Max	Units	Conditions	Reference
Peak Optical Input Power Logic Level HIGH	P_{RH}			-40 0.1	dBm pk $\mu\text{W pk}$	$I_{\text{P}} = 820 \text{ nm}$	Note 5
Peak Optical Input Power Logic Level LOW	P_{RL}	-25.4 2.9		-9.2 120	dBm pk $\mu\text{W pk}$	$T_{\text{A}} = +25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_{\text{OL}} = 8\text{mA}$	Note 5
		-24.0 4.0		-10.0 100	dBm pk $\mu\text{W pk}$	$I_{\text{OL}} = 8\text{mA}$	
Propagation Delay LOW to HIGH	t_{PLHR}		65		ns	$T_{\text{A}} = +25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{R}} = -21 \text{ dBm}$, Data Rate = 5 MBd	Note 6
Propagation Delay HIGH to LOW	t_{PHLR}		49		ns		

Notes:

- 2.0 mm from where leads enter case.
- 8 mA load (5 x 1.6 mA), $R_{\text{L}} = 560 \Omega$.
- Typical data at $T_{\text{A}} = +25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{CC}} = 5.0 \text{ Vdc}$.
- D is the effective diameter of the detector image on the plane of the fiber face. The numerical value is the product of the actual detector diameter and the lens magnification.
- Measured at the end of 100/140 μm fiber optic cable with large area detector.
- Propagation delay through the system is the result of several sequentially-occurring phenomena. Consequently it is a combination of data-rate-limiting effects and of transmission-time effects. Because of this, the data-rate limit of the system must be described in terms of time differentials between delays imposed on falling and rising edges.
- As the cable length is increased, the propagation delays increase at 5 ns per meter of length. Data rate, as limited by pulse width distortion, is not affected by increasing cable length if the optical power level at the receiver is maintained.

CAUTION: The small junction sizes inherent to the design of these components increase the components' susceptibility to damage from electrostatic discharge (ESD). It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of these components to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

HFBR-24x6Z Low-Cost 125 MHz Receiver

Description

The HFBR-24x6Z fiber optic receiver is designed to operate with the Avago Technologies HFBR-14xxZ fiber optic transmitters and 50/ 125 μm , 62.5/125 μm , 100/ 140 μm and 200 μm HCS® fiber optic cable. Consistent coupling into the receiver is assured by the lensed optical system (Figure 1). Response does not vary with fiber size for core diameters of 100 μm or less.

The receiver output is an analog signal which allows follow-on circuitry to be optimized for a variety of distance/data rate requirements. Low-cost external components can be used to convert the analog output to logic compatible signal levels for various data formats and data rates up to 175 MBd. This distance/data rate trade-off results in increased optical power budget at lower data rates which can be used for additional distance or splices.

The HFBR-24x6Z receiver contains a PIN photodiode and low noise transimpedance preamplifier integrated circuit. The HFBR-24x6Z receives an optical signal and converts it to an analog voltage. The output is a buffered emitter follower. Because the signal amplitude from the HFBR-24x6Z receiver is much larger than from a simple PIN photodiode, it is less susceptible to EMI,

especially at high signaling rates. For very noisy environments, the conductive or metal port option is recommended. A receiver dynamic range of 23 dB over temperature is achievable (assuming 10-9 BER).

The frequency response is typically dc to 125 MHz. Although the HFBR-24x6Z is an analog receiver, it is compatible with digital systems. Please refer to Application Bulletin 78 for simple and inexpensive circuits that operate at 155 MBd or higher.

The recommended ac coupled receiver circuit is shown in Figure 14. It is essential that a 10 ohm resistor be connected between pin 6 and the power supply, and a 0.1 mF ceramic bypass capacitor be connected between the power supply and ground. In addition, pin 6 should be filtered to protect the receiver from noisy host systems. Refer to AN 1038, 1065, or AB 78 for details.

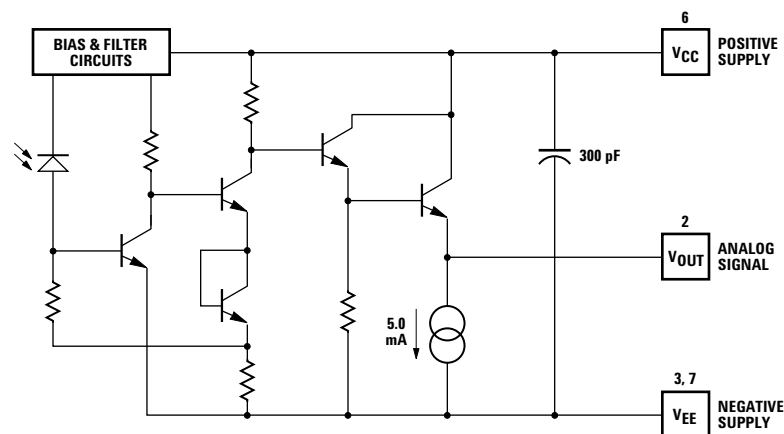
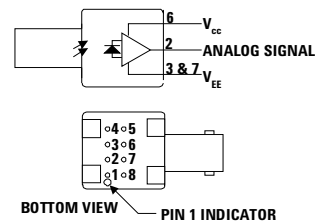


Figure 13. Simplified Schematic Diagram.

CAUTION: The small junction sizes inherent to the design of these components increase the components' susceptibility to damage from electrostatic discharge (ESD). It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of these components to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

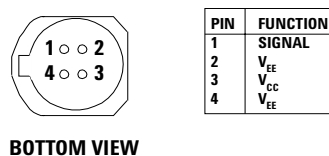
Housed Product



PIN	FUNCTION
1*	NC
2	SIGNAL
3*	V _{EE}
4*	NC
5*	NC
6	V _{CC}
7*	V _{EE}
8*	NC

- NOTES:
 1. PINS 1, 4, 5 AND 8 ARE ISOLATED FROM THE INTERNAL CIRCUITRY, BUT ARE ELECTRICALLY CONNECTED TO EACH OTHER.
 2. PINS 3 AND 7 ARE ELECTRICALLY CONNECTED TO HEADER

Unhoused Product



PIN	FUNCTION
1	SIGNAL
2	V _{EE}
3	V _{CC}
4	V _{EE}

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min	Max	Units	Reference
Storage Temperature	T_S	-55	+85	°C	
Operating Temperature	T_A	-40	+85	°C	
Lead Soldering Cycle Temp			+260	°C	Note 1
Lead Soldering Cycle Time			10	sec	
Supply Voltage	V_{CC}	-0.5	6.0	V	
Output Current	I_O		25	mA	
Signal Pin Voltage	V_{SIG}	-0.5	V_{CC}	V	

Electrical/Optical Characteristics -40 °C to +85 °C; 4.75 V ≤ Supply Voltage ≤ 5.25 V,
 $R_{LOAD} = 511 \Omega$, Fiber sizes with core diameter ≤ 100 μm, and N.A. ≤ -0.35 unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Min	Typ ²	Max	Units	Conditions	Reference
Responsivity	R_p	5.3	7	9.6	mV/μW	$T_A = +25 \text{ °C @ } 820 \text{ nm, } 50 \text{ MHz}$ @ 820 nm, 50 MHz	Note 3, 4 Figure 18
		4.5		11.5	mV/μW		
RMS Output Noise Voltage	V_{NO}		0.40	0.59	mV	Bandwidth filtered @ 75 MHz $P_R = 0 \text{ μW}$ Unfiltered bandwidth $P_R = 0 \text{ μW}$	Note 5 Figure 15
				0.70	mV		
Equivalent Input Optical Noise Power (RMS)	P_N		-43.0 0.050	-41.4 0.065	dBm μW	Bandwidth Filtered @ 75MHz	
Optical Input Power (Overdrive)	P_R			-7.6 175	dBm pk μW pk	$T_A = +25 \text{ °C}$	Note 6 Figure 16
				-8.2 150	dBm pk μW pk		
Output Impedance	Z_O		30		W	Test Frequency = 50 MHz	
dc Output Voltage	$V_{O \text{ dc}}$	-4.2	-3.1	-2.4	V	$P_R = 0 \text{ μW}$	
Power Supply Current	I_{EE}		9	15	mA	$R_{LOAD} = 510 \text{ W}$	
Equivalent NA	NA		0.35				
Equivalent Diameter	D		324		μm		Note 7

CAUTION: The small junction sizes inherent to the design of these components increase the components' susceptibility to damage from electrostatic discharge (ESD). It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of these components to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

Dynamic Characteristics

-40 °C to +85 °C; 4.75 V ≤ Supply Voltage ≤ 5.25 V; R_{LOAD} = 511 Ω, C_{LOAD} = 5 pF unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Min	Typ ²	Max	Units	Conditions	Reference
Rise/Fall Time 10% to 90%	t _r , t _f		3.3	6.3	ns	P _R = 100 μW peak	Figure 17
Pulse Width Distortion	PWD		0.4	2.5	ns	P _R = 150 μW peak	Note 8, Figure 16
Overshoot			2		%	P _R = 5 μW peak, t _r = 1.5 ns	Note 9
Bandwidth (Electrical)	BW		125		MHz	-3 dB Electrical	
Bandwidth - Rise Time Product			0.41		Hz • s	Note 10	

Notes:

- 2.0 mm from where leads enter case.
- Typical specifications are for operation at T_A = +25 °C and V_{CC} = +5 V dc.
- For 200 μm HCS fibers, typical responsivity will be 6 mV/mW. Other parameters will change as well.
- Pin #2 should be ac coupled to a load ³ 510 ohm. Load capacitance must be less than 5 pF.
- Measured with a 3 pole Bessel filter with a 75 MHz, -3 dB bandwidth. Recommended receiver filters for various bandwidths are provided in Application Bulletin 78.
- Overdrive is defined at PWD = 2.5 ns.
- D is the effective diameter of the detector image on the plane of the fiber face. The numerical value is the product of the actual detector diameter and the lens magnification.
- Measured with a 10 ns pulse width, 50% duty cycle, at the 50% amplitude point of the waveform.
- Percent overshoot is defined as:

$$\left(\frac{V_{PK} - V_{100\%}}{V_{100\%}} \right) \times 100\%$$

- The conversion factor for the rise time to bandwidth is 0.41 since the HFBR-24x6Z has a second order bandwidth limiting characteristic.

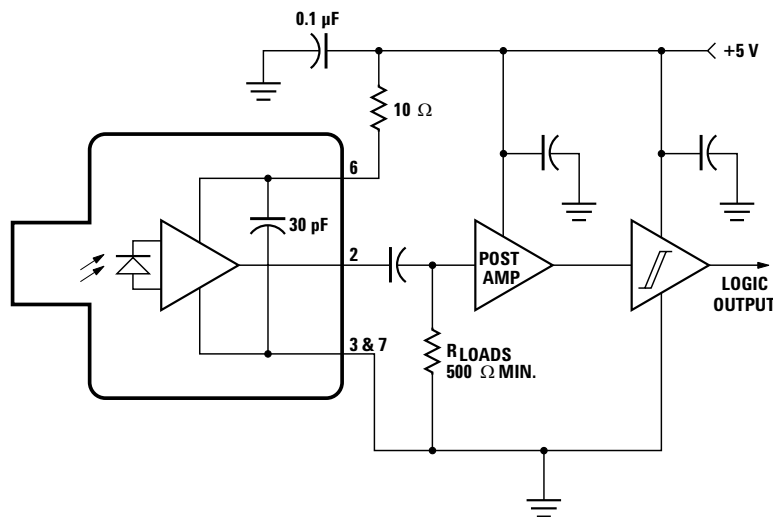


Figure 14. Recommended ac Coupled Receiver Circuit. (See AB 78 and AN 1038 for more information.)

CAUTION: The small junction sizes inherent to the design of these components increase the components' susceptibility to damage from electrostatic discharge (ESD). It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of these components to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

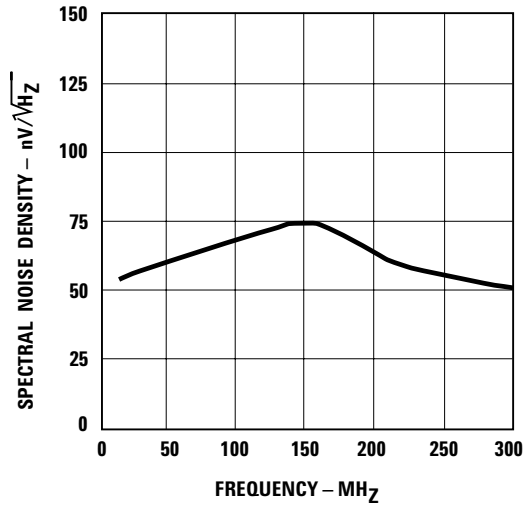


Figure 15. Typical Spectral Noise Density vs. Frequency.

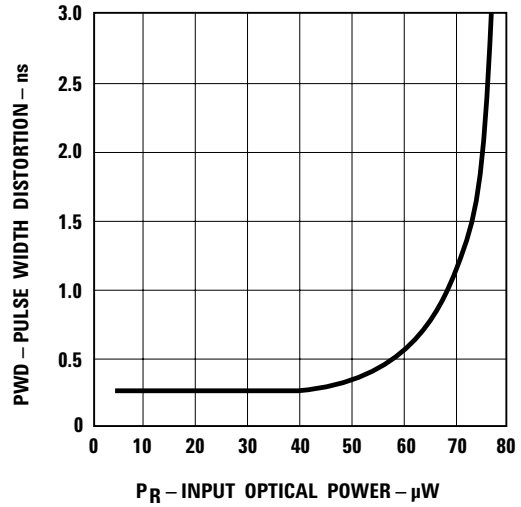


Figure 16. Typical Pulse Width Distortion vs. Peak Input Power.

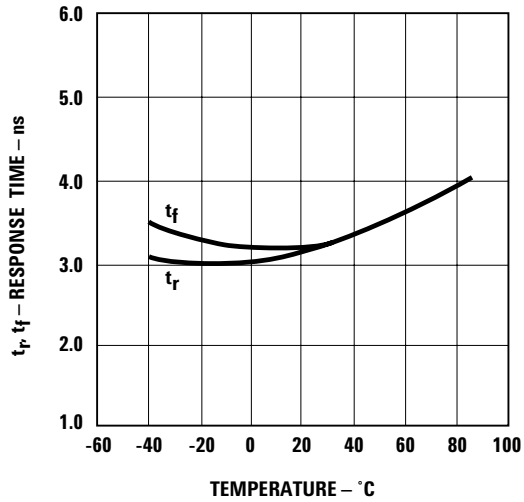


Figure 17. Typical Rise and Fall Times vs. Temperature.

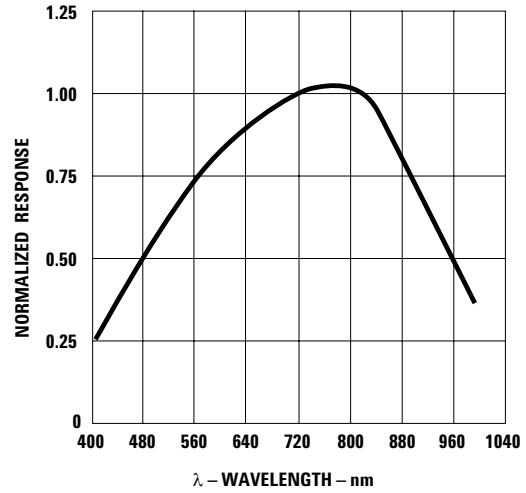


Figure 18. Receiver Spectral Response Normalized to 820 nm.

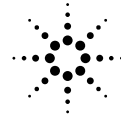
For product information and a complete list of distributors, please go to our web site: www.avagotech.com

Avago, Avago Technologies, and the A logo are trademarks of Avago Technologies, Limited in the United States and other countries.
Data subject to change. Copyright © 2007 Avago Technologies Limited. All rights reserved. Obsoletes AV01-0264EN
AV02-0176EN - March 14, 2007



Anexo D

Datasheet – Transmissor HFBR-2505A e Receptor
HFBR-1505A



Fiber Optic Transmitters and Receivers for Fieldbus Applications

Technical Data

HFBR-1505A/2505A
(SMA Tx/Rx for SERCOS)
HFBR-1515B/2515B
(ST® Tx/Rx for PROFIBUS)
HFBR-1505C/2505A
(SMA Tx/Rx for INTERBUS-S)

Features

- Meets 2/4 MBd Industrial SERCOS, 1.5 MBd PROFIBUS and INTERBUS-S Standard
- SMA and ST® Ports
- 650 nm Wavelength Technology
- Specified for Use with 1 mm Plastic Optical Fiber and 200 µm Hard Clad Silica
- Auto-Insertable and Wave Solderable
- DC – 10 MBd

Applications

- Industrial Control Data Links
- Factory Automation Data Links
- Voltage Isolation Applications
- PLCs
- Motor Drives
- Automotive
- Sensor, Meter and Actuator Interfaces

Description

SERCOS

SERCOS, an acronym for **SERIAL Realtime COmmunications System**, is a standard digital interface for communication in industrial CNC applications. The standard defines two data rates: 2 MBd and 4 MBd and was formed to allow data transfer between numerical controls and drives via fiber-optic rings, with voltage isolation and noise immunity. The HFBR-1505A/2505A products comply with SERCOS specifications for optical characteristics and connector style, and can also be used for data rates up to 10 MBd. The international standard is IEC 1491.

PROFIBUS

PROFIBUS, an acronym of **PROcess FIeld BUS**, is an open fieldbus standard defined for data rates ranging from 9.6 kBd to 12 MBd in selectable steps for wire and optical fiber. PROFIBUS is a German national DIN 19245 standard and a European CENELEC standard EN 50170. The ST® connector is the standard optical port of the PROFIBUS optical fiber version. The HFBR-1515B/2515B complies fully to the technical guideline using Plastic Optical Fiber up to 1.5 MBd, and can also



be used for data rates up to 10 MBd. Please contact Agilent regarding any future plans for a 12 MBd device.

INTERBUS-S

INTERBUS-S, a special open Sensor/Actuator Bus, is finding a broad acceptance in the factory automation industry. The HFBR-1505C was specially designed for this application and is recommended as a powerful transmitter for use with 1 mm POF and 200 µm HCS® fiber. The optical transmission guideline is a supplement of the German National DIN E 19258 standard draft. On the European level, prEN 50254 is the draft of the INTERBUS-S fieldbus. The HFBR-1505C transmitter can be used in conjunction with the HFBR-2505A receiver.

Package Information

All HFBR-X5X5X series transmitters and receivers are housed in a low-cost, dual-in-line

package that is made of high strength, heat resistant, chemically resistant and UL V-O flame retardant plastic. The transmitters are easily identified by the light grey colored connector port. The receivers are easily identified by the dark grey colored connector port. The package is designed for auto-insertion and wave soldering so it is ideal for high volume production applications.

Handling and Design Information

When soldering, it is advisable to

leave the protective cap on the unit to keep the optics clean. Good system performance requires clean port optics and cable ferrules to avoid obstructing the optical path. Clean compressed air often is sufficient to remove particles of dirt; methanol on a cotton swab also works well.

Recommended Chemicals for Cleaning/Degreasing X5X5X Products

Alcohols: methyl, isopropyl, isobutyl.

Aliphatics: hexane, heptane.

Other: soap solution, naphtha.

Do not use partially halogenated hydrocarbons such as 1,1,1 trichloroethane, ketones such as MEK, acetone, chloroform, ethyl acetate, methylene dichloride, phenol, methylene chloride or N-methylpyrrolidone. Also, Agilent does not recommend the use of cleaners that use halogenated hydrocarbons because of their potential environmental harm.

CAUTION: The small junction size inherent in the design of these components increases the components' susceptibility to damage from electrostatic discharge (ESD). It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of these components to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

Specified Link Performance

0°C to +70°C, DC to 10 MBd, unless otherwise noted.

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Unit	Condition	Reference
Link Distance with HFBR-1505A/2505A or HFBR-1515B/2515B	1	0.1 0.1	40 200	m m	POF HCS®	Notes 1,2,3,4 Notes 1,2,3,5
Link Distance with HFBR-1505C/2505A	1	0.1 0.1	45 300	m m	POF HCS®	Notes 1,2,3,4 Notes 1,2,3,5
Pulse Width Distortion	PWD	-30	+30	ns	25% to 75% duty cycle	Note 1

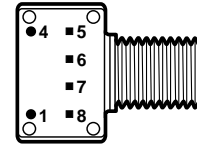
Notes:

1. With recommended Tx and Rx circuits (60 mA nominal drive current).
2. POF HFBR-Exxyy 0.23 dB/m worst case attenuation.
3. HCS® HFBR-H/Vxxyy 10 dB/Rm worst case attenuation.
4. Including a 3 dB optical safety margin accounting for link service lifetime.
5. Including a 2 dB optical safety margin accounting for link service lifetime.

HFBR-15X5X Transmitters

The HFBR-15X5X transmitter incorporates a 650 nm LED in a light gray nonconductive plastic housing. The high light output power enables the use of both

plastic optical fiber (POF) and Hard Clad Silica (HCS®). This transmitter can be operated up to 10 MBd using a simple driver circuit. The HFBR-1505X is compatible with SMA connectors, while the HFBR-1515X mates with ST® connectors.



BOTTOM VIEW,
HFBR-1505X

SEE NOTE 10

PIN	FUNCTION
1	CONNECTED TO PIN 4
4	CONNECTED TO PIN 1
5	GND
6	GND
7	CATHODE
8	ANODE

Absolute Maximum Ratings

Parameter		Symbol	Min.	Max.	Unit	Reference
Storage and Operating Temperature		$T_{S,O}$	-40	85	°C	
Peak Forward Input Current		$I_{F,PK}$		90	mA	Note 6
Average Forward Input Current		$I_{F,AVG}$		60	mA	
Reverse Input Voltage		V_R		3	V	
Lead Soldering Cycle	Temp	T_{SOL}		260	°C	Note 7
	Time			10	s	

Electrical/Optical Characteristics

0°C to +70°C unless otherwise noted.

Parameter	Symbol	Min.	Typ. ^[1]	Max.	Unit	Condition	Ref.
Optical Power Temperature Coefficient	$\Delta P_T/\Delta T$		-0.02		dB/°C		
Forward Voltage	V_F	1.8	2.1	2.65	V	$I_{F,dc} = 60 \text{ mA}$	Fig. 1
Forward Voltage Temperature Coefficient	$\Delta V_F/\Delta T$		-1.8		mV/°C		Fig. 1
Breakdown Voltage	V_{BR}	3.0	13		V	$I_{F,dc} = -10 \mu\text{A}$	
Peak Emission Wavelength	λ_{PK}	640	650	660	nm		Fig. 3
Full Width Half Max	FWHM		21	30	nm		Fig. 3
Diode Capacitance	C_O		60		pF	$V_F = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$	
Thermal Resistance	θ_{JC}		140		°C/W		Notes 4,5
Rise Time (10% to 90%)	t_r		13		ns	10% to 90%,	
Fall Time (90% to 10%)	t_f		10		ns	$I_F = 60 \text{ mA}$	

WARNING: When viewed under some conditions, the optical port may expose the eye beyond the maximum permissible exposure recommended in ANSI Z136.2, 1993. Under most viewing conditions, there is no eye hazard.

Peak Output Power

0°C to +70°C unless otherwise noted.

Model Number	Symbol	Min.	Max.	Unit	Condition	Reference
HFBR-1505A SERCOS	P_T	-10.5	-5.5	dBm	POF, $I_{F,dc} = 35$ mA	Notes 2,3,11 Figure 2
		-7.5	-3.5		POF, $I_{F,dc} = 60$ mA	
		-18.0	-8.5		HCS®, $I_{F,dc} = 60$ mA	
HFBR-1515B PROFIBUS	P_T	-10.5	-5.5	dBm	POF, $I_{F,dc} = 35$ mA	Notes 2,3,11 Figure 2
		-7.5	-3.5		POF, $I_{F,dc} = 60$ mA	
		-18.0	-8.5		HCS®, $I_{F,dc} = 60$ mA	
HFBR-1505C INTERBUS-S	P_T	-6.2	0.0	dBm	POF, $I_{F,dc} = 60$ mA	Notes 3,8,9 Figure 2
		-16.9	-8.5		HCS®, $I_{F,dc} = 60$ mA	

Notes:

1. Typical data at 25°C.
2. Optical power measured at the end of 0.5 meters of 1 mm diameter plastic optical fiber with a large area detector.
3. Minimum and maximum values for P_T over temperature are based on a fixed drive current. The recommended drive circuit has temperature compensation which reduces the variation in P_T over temperature, refer to Figures 4 and 6.
4. Thermal resistance is measured with the transmitter coupled to a connector assembly and fiber, and mounted on a printed circuit board.
5. To further reduce the thermal resistance, the cathode trace should be made as large as is consistent with good RF circuit design.
6. For $I_{F,pk} > 60$ mA, the duty factor must maintain $I_{F,avg} \leq 60$ mA and pulse width ≤ 1 μ s.
7. 1.6 mm below seating plane.
8. Minimum peak output power at 25°C is -5.3 dBm (POF) and -16.0 dBm (HCS®) for 1505C series only.
9. Optical power measured at the end of 1 meter of 1 mm diameter plastic or 200 μ m hard clad silica optical fiber with a large area detector.
10. Pins 1 and 4 are for mounting and retaining purposes, but are electrically connected; pins 5 and 6 are electrically isolated. It is recommended that pins 1, 4, 5, and 8 all be connected to ground to reduce coupling of electrical noise.
11. Output power with 200 μ m hard clad silica optical fiber assumes a typical -10.5 dB difference compared to 1 mm plastic optical fiber.

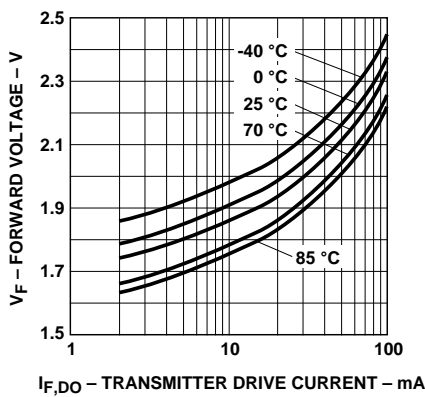


Figure 1. Typical Forward Voltage vs. Drive Current.

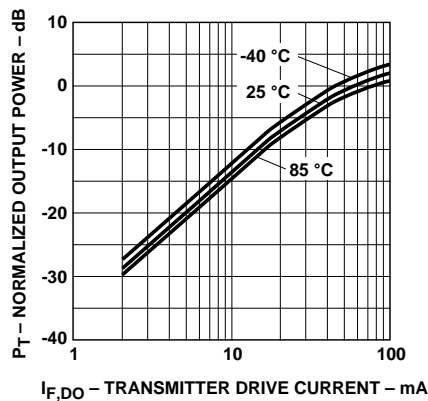


Figure 2. Typical Normalized Optical Power vs. Drive Current.

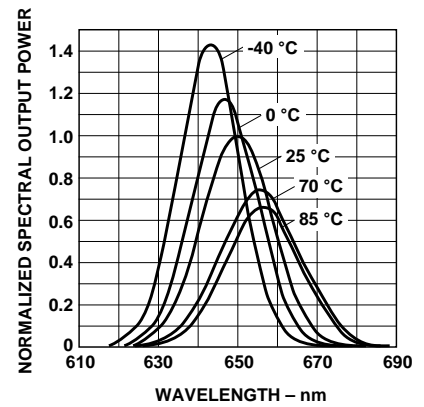


Figure 3. Typical Normalized Optical Spectra.

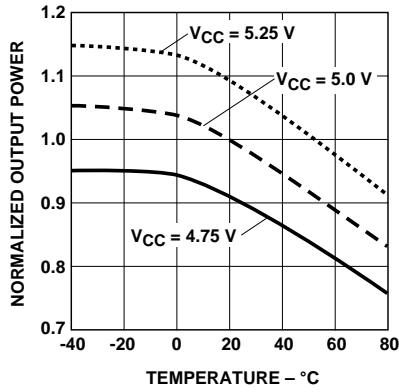


Figure 4. Typical Normalized Optical Power vs. Temperature (in Recommended Drive Circuit).

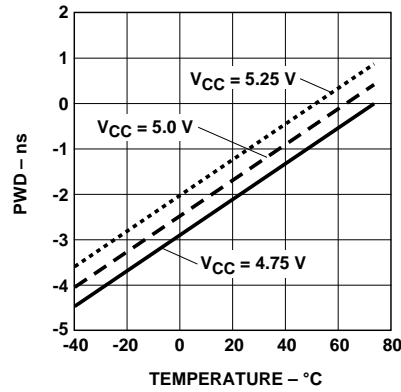


Figure 5. Typical Optical Pulse Width Distortion vs. Temperature and Power Supply Voltage (in Recommended Drive Circuit).

Recommended Drive Circuit for HFBR-15X5X/25X5X

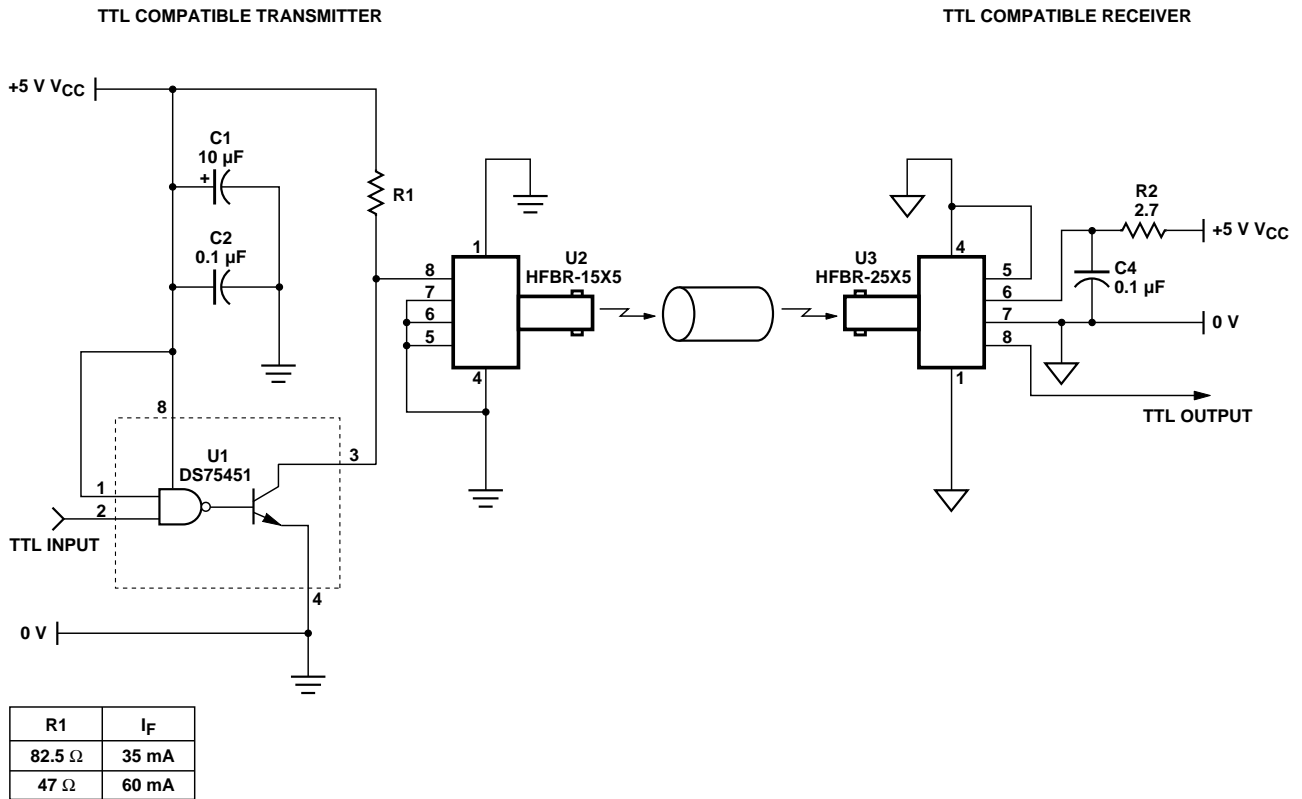
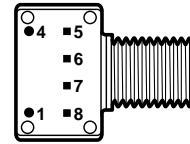


Figure 6. Recommended Transmitter and Receiver Drive Circuit (I_{F, on} = 35 mA or 60 mA Nominal at T_A = 25°C).

HFBR-25X5 Receivers

The HFBR-25X5X receiver consists of a silicon PIN photodiode and digitizing IC to produce a logic compatible output. The IC includes a unique circuit to correct the pulse width distortion of the first bit after a long idle period. This enables operation from DC to 10 MBd

with low PWD for arbitrary data patterns. The receiver output is a “push-pull” stage compatible with TTL and CMOS logic. The receiver housing is a dark grey, conductive plastic. The HFBR-2505X is compatible with SMA connectors, while the HFBR-2515X mates with ST® connectors.



BOTTOM VIEW,
HFBR-2505X

SEE NOTE 4

PIN	FUNCTION
1	CONNECTED TO PIN 4
4	CONNECTED TO PIN 1
5	NO CONNECT
6	V _{CC}
7	GND
8	V _O

Absolute Maximum Ratings

Parameter		Symbol	Min.	Max.	Unit	Reference
Storage and Operating Temperature		T _S	-40	85	°C	
Supply Voltage		V _{CC}	-0.5	+5.5	V	
Average Output Current		I _{O,AVG}	-16	-16	mA	
Output Power Dissipation		P _{OD}		80	mW	
Lead Soldering Cycle	Temp			260	°C	Note 2
	Time			10	s	

Electrical/Optical Characteristics

0°C to +70°C, 4.75 V < V_{CC} < 5.25 V, V_{P-P} Noise ≤ 100 mV, unless otherwise noted.

Parameter	Symbol	Min.	Typ. ^[1]	Max.	Unit	Condition	Ref.
Peak Input Power Level Logic HIGH	P _{RH}			-42 -44	dBm	1mm POF 200 μm HCS®	Notes 3,5
Peak Input Power Level Logic LOW	P _{RL}	-20 -22		-0 -2	dBm	1 mm POF, 200 μm HCS® PWD < 30 ns	Note 3 Figs. 7,8, 9,10
Supply Current	I _{CC}		27	45	mA	V _O = Open	
High Level Output Voltage	V _{OH}	4.2	4.7		V	I _O = -40 μA	
Low Level Output Voltage	V _{OH}		0.22	0.4	V	I _O = +1.6 mA	
Output Rise Time	t _r		12	30	ns	C _L = 10 pF	Note 3
Output Fall Time	t _f		10	30	ns	C _L = 10 pF	Note 3

Notes:

- Typical data are at 25°C, V_{CC} = 5.0 V.
- 1.6 mm below seating plane.
- In recommended receiver circuit, with an optical signal from the recommended transmitter circuit.
- Pins 1 and 4 are electrically connected to the conductive housing and are also used for mounting and retaining purposes. It is required that pin 1 and 4 be connected to ground to maintain conductive housing shield effectiveness.
- BER ≤ 10E-9, includes a 10.8 dB margin below the receiver switching threshold level (signal to noise ratio = 12).

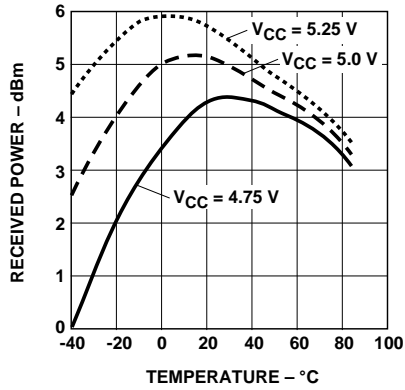


Figure 7. Typical POF Receiver Overdrive $P_{RL,max}$ at 10 MBd vs. Temperature and Power Supply Voltage.

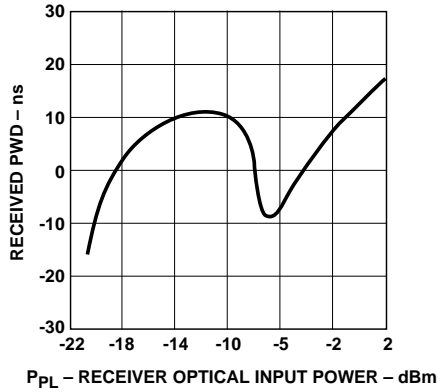


Figure 8. Typical POF Receiver Pulse Width Distortion vs. Optical Power at 10 MBd.

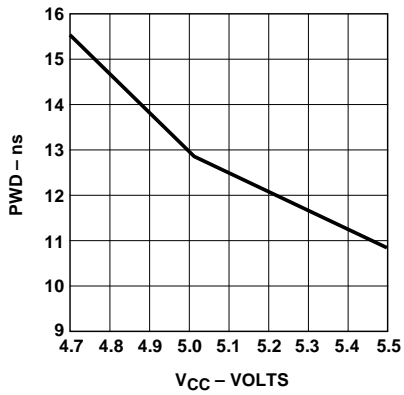


Figure 9. Typical POF Receiver Pulse Width Distortion vs. Power Supply Voltage at High Optical Power, (0 dBm, 10 MBd).

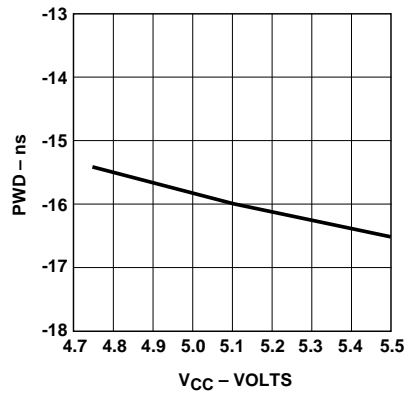
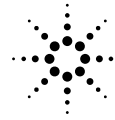
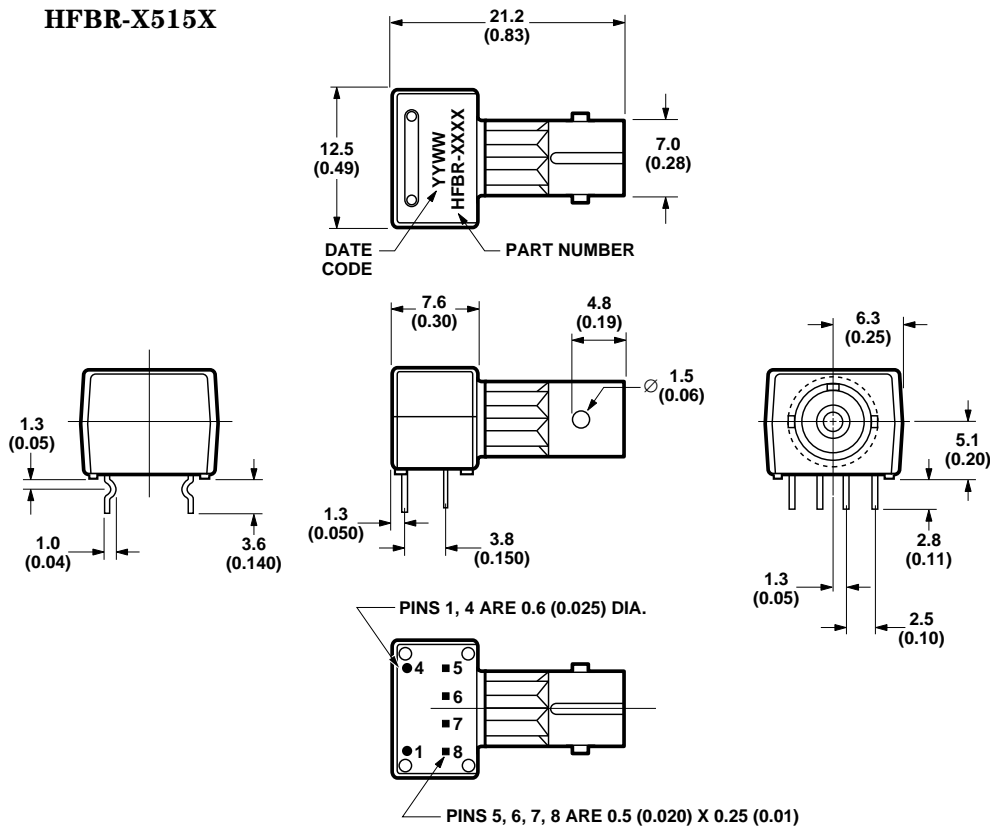


Figure 10. Typical POF Receiver Pulse Width Distortion vs. Power Supply Voltage at Low Optical Power, (-21 dBm, 10 MBd).

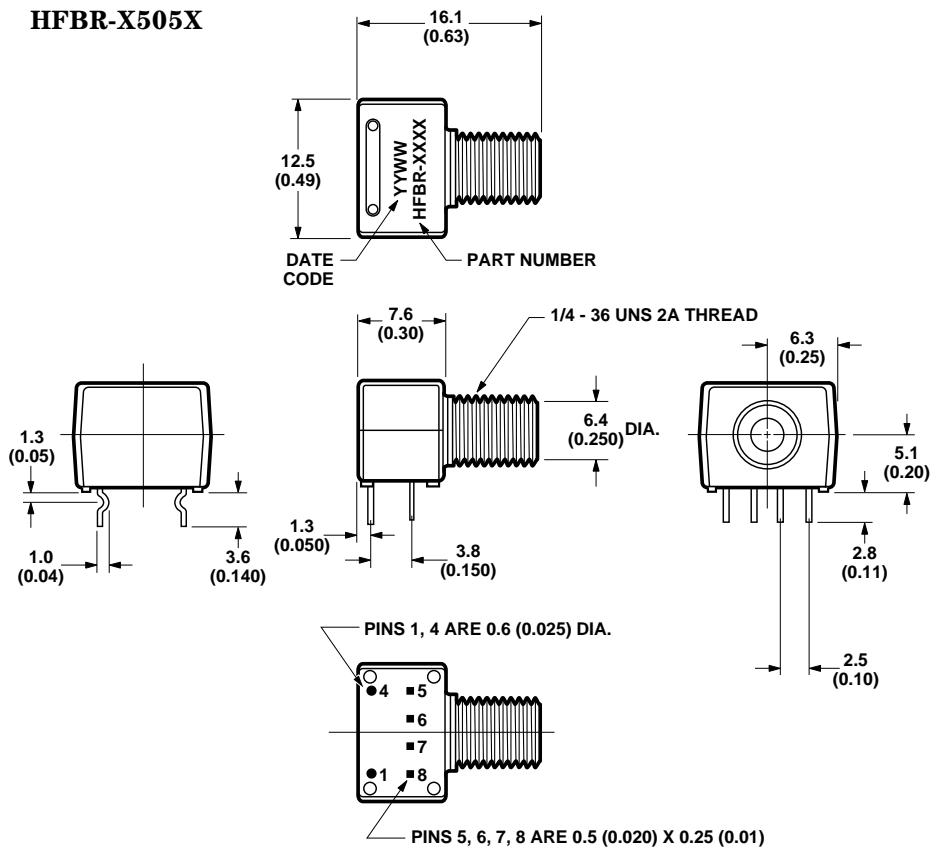


Mechanical Dimensions

HFBR-X515X



HFBR-X505X



Anexo E

Datasheet – LMC555

LMC555

CMOS Timer

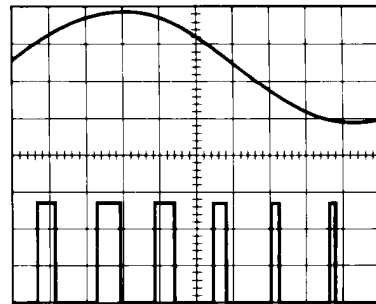
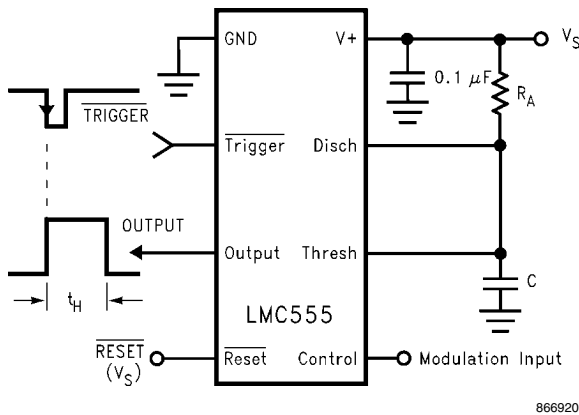
General Description

The LMC555 is a CMOS version of the industry standard 555 series general purpose timers. In addition to the standard package (SOIC, MSOP, and MDIP) the LMC555 is also available in a chip sized package (8 Bump micro SMD) using National's micro SMD package technology. The LMC555 offers the same capability of generating accurate time delays and frequencies as the LM555 but with much lower power dissipation and supply current spikes. When operated as a one-shot, the time delay is precisely controlled by a single external resistor and capacitor. In the stable mode the oscillation frequency and duty cycle are accurately set by two external resistors and one capacitor. The use of National Semiconductor's LMC MOS™ process extends both the frequency range and low supply capability.

Features

- Less than 1 mW typical power dissipation at 5V supply
- 3 MHz astable frequency capability
- 1.5V supply operating voltage guaranteed
- Output fully compatible with TTL and CMOS logic at 5V supply
- Tested to -10 mA, +50 mA output current levels
- Reduced supply current spikes during output transitions
- Extremely low reset, trigger, and threshold currents
- Excellent temperature stability
- Pin-for-pin compatible with 555 series of timers
- Available in 8-pin MSOP Package and 8-Bump micro SMD package

Pulse Width Modulator



866915

866920

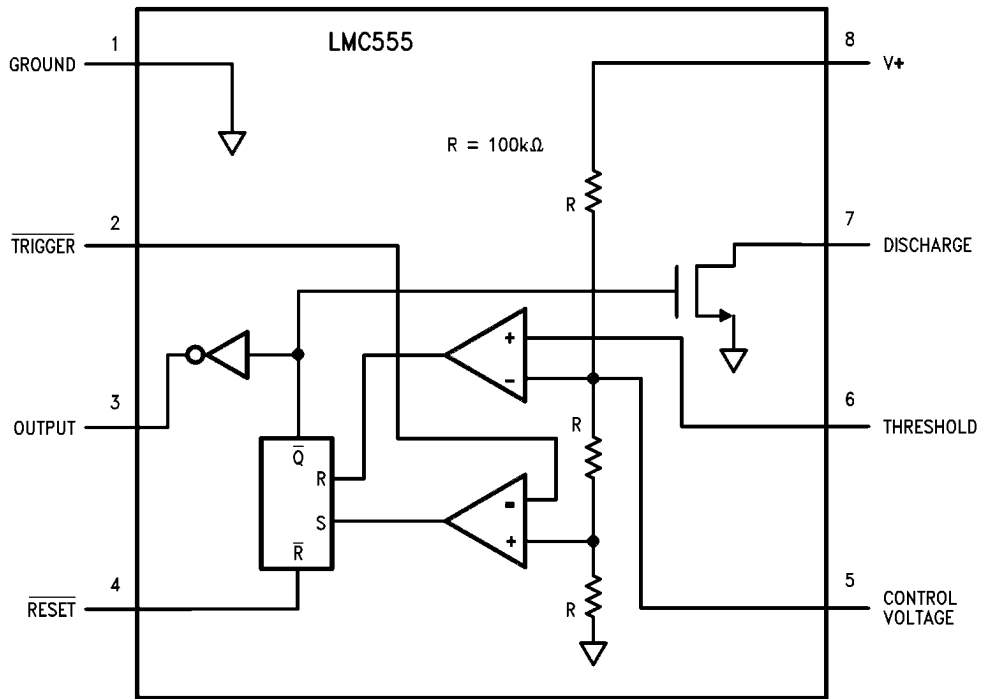
Ordering Information

Package	Temperature Range	Package Marking	Transport Media	NSC Drawing
	Industrial -40°C to +85°C			
8-Pin Small Outline (SO)	LMC555CM	LMC555CM	Rails	M08A
	LMC555CMX		2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin Mini Small Outline (MSOP)	LMC555CMM	ZC5	1k Units Tape and Reel	MUA08A
	LMC555CMMX		3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin Molded Dip (MDIP)	LMC555CN	LMC555CN	Rails	N08E
8-Bump micro SMD NOPB	LMC555CTP	F02	250 Units Tape and Reel	TPA08FGA
	LMC555CTPX		3k Units Tape and Reel	

Note: See Mil-datasheet MNL555-X for specifications on the military device LMC555J/883.

Connection Diagrams

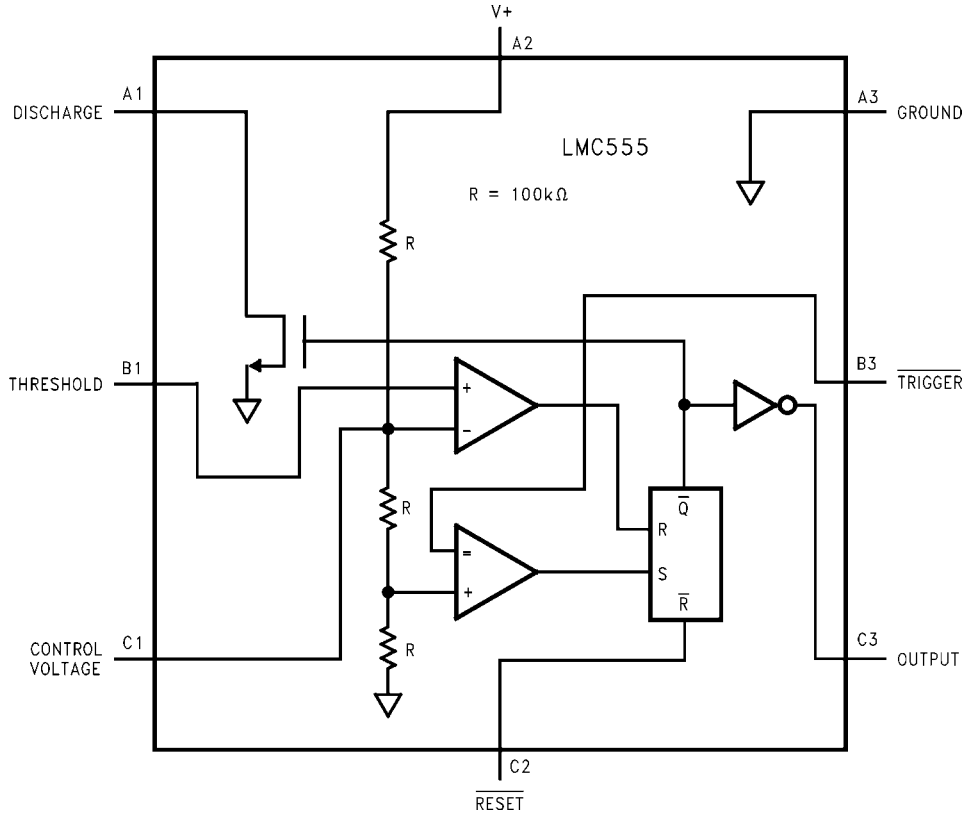
8-Pin SOIC, MSOP, MDIP



Top View

866901

8-Bump micro SMD



Top View
(Bump Side Down)

866909

Absolute Maximum Ratings (Note 2, Note 3)

3)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage, V^+	15V
Input Voltages, V_{TRIG} , V_{RES} , V_{CTRL} , V_{THRESH}	-0.3V to $V_S + 0.3V$
Output Voltages, V_O , V_{DIS}	15V
Output Current I_O , I_{DIS}	100 mA
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Soldering specification for MDIP package:	
Soldering (10 seconds)	260°C
Soldering specification for all other packages:	
see product folder at www.national.com and www.national.com/ms/MS/MS-SOLDERING.pdf	

Operating Ratings (Note 2, Note 3)

Temperature Range	-40°C to +85°C
Thermal Resistance (θ_{JA}) <small>(Note 2)</small>	
SO, 8-Pin Small Outline	169°C/W
MSOP, 8-Pin Mini Small Outline	225°C/W
MDIP, 8-Pin Molded Dip	111°C/W
8-Bump micro SMD	220°C/W
Maximum Allowable Power Dissipation @25°C	
MDIP-8	1126 mW
SO-8	740 mW
MSOP-8	555 mW
8 Bump micro SMD	568 mW

Electrical Characteristics (Note 1, Note 2)

Test Circuit, $T = 25^\circ\text{C}$, all switches open, RESET to V_S unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units (Limits)
I_S	Supply Current	$V_S = 1.5V$ $V_S = 5V$ $V_S = 12V$		50 100 150	150 250 400	μA
V_{CTRL}	Control Voltage	$V_S = 1.5V$ $V_S = 5V$ $V_S = 12V$	0.8 2.9 7.4	1.0 3.3 8.0	1.2 3.8 8.6	V
V_{DIS}	Discharge Saturation Voltage	$V_S = 1.5V$, $I_{DIS} = 1\text{ mA}$ $V_S = 5V$, $I_{DIS} = 10\text{ mA}$		75 150	150 300	mV
V_{OL}	Output Voltage (Low)	$V_S = 1.5V$, $I_O = 1\text{ mA}$ $V_S = 5V$, $I_O = 8\text{ mA}$ $V_S = 12V$, $I_O = 50\text{ mA}$		0.2 0.3 1.0	0.4 0.6 2.0	V
V_{OH}	Output Voltage (High)	$V_S = 1.5V$, $I_O = -0.25\text{ mA}$ $V_S = 5V$, $I_O = -2\text{ mA}$ $V_S = 12V$, $I_O = -10\text{ mA}$	1.0 4.4 10.5	1.25 4.7 11.3		V
V_{TRIG}	Trigger Voltage	$V_S = 1.5V$ $V_S = 12V$	0.4 3.7	0.5 4.0	0.6 4.3	V
I_{TRIG}	Trigger Current	$V_S = 5V$		10		pA
V_{RES}	Reset Voltage	$V_S = 1.5V$ <small>(Note 4)</small> $V_S = 12V$	0.4 0.4	0.7 0.75	1.0 1.1	V
I_{RES}	Reset Current	$V_S = 5V$		10		pA
I_{THRESH}	Threshold Current	$V_S = 5V$		10		pA
I_{DIS}	Discharge Leakage	$V_S = 12V$		1.0	100	nA
t	Timing Accuracy	SW 2, 4 Closed $V_S = 1.5V$ $V_S = 5V$ $V_S = 12V$	0.9 1.0 1.0	1.1 1.1 1.1	1.25 1.20 1.25	ms
$\Delta t/\Delta V_S$	Timing Shift with Supply	$V_S = 5V \pm 1V$		0.3		%/V
$\Delta t/\Delta T$	Timing Shift with Temperature	$V_S = 5V$ $-40^\circ\text{C} \leq T \leq +85^\circ\text{C}$		75		ppm/°C

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units (Limits)
f_A	Astable Frequency	SW 1, 3 Closed, $V_S = 12V$	4.0	4.8	5.6	kHz
f_{MAX}	Maximum Frequency	Max. Freq. Test Circuit, $V_S = 5V$		3.0		MHz
t_R, t_F	Output Rise and Fall Times	Max. Freq. Test Circuit $V_S = 5V, C_L = 10\text{ pF}$		15		ns
t_{PD}	Trigger Propagation Delay	$V_S = 5V$, Measure Delay from Trigger to Output		100		ns

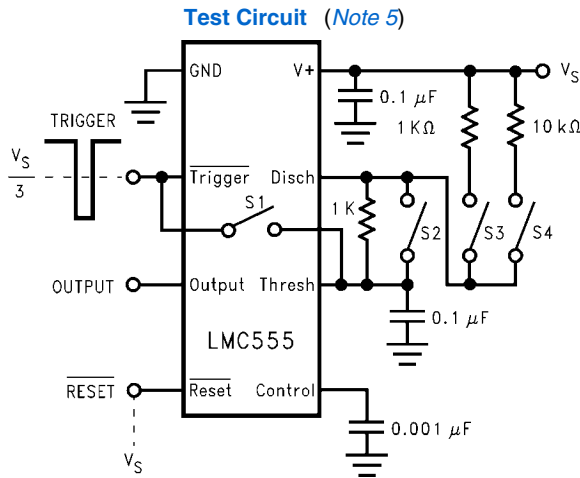
Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

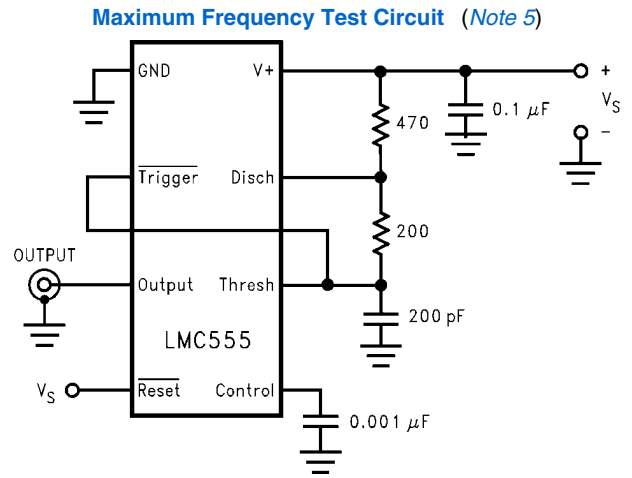
Note 3: See AN-1112 for micro SMD considerations.

Note 4: If the $\overline{\text{RESET}}$ pin is to be used at temperatures of -20°C and below V_S is required to be 2.0V or greater.

Note 5: For device pinout please refer to table 1



866902



866903

TABLE 1. Package Pinout Names vs. Pin Function

Pin Function	Package Pin numbers	
8-Pin SO, MSOP, and MDIP	8-Bump micro SMD	
GND	1	A3
Trigger	2	B3
Output	3	C3
Reset	4	C2
Control Voltage	5	C1
Threshold	6	B1
Discharge	7	A1
V+	8	A2

Application Information

MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (*Figure 1*). The external capacitor is initially held discharged by internal circuitry. Upon application of a negative trigger pulse of less than $1/3 V_S$ to the Trigger terminal, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

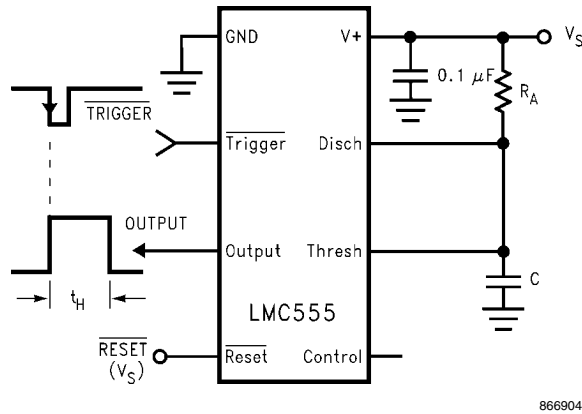
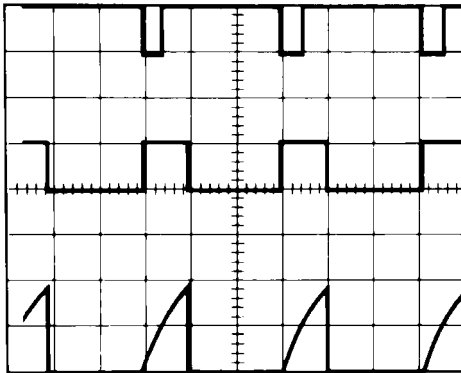


FIGURE 1. Monostable (One-Shot)

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of $t_H = 1.1 R_A C$, which is also the time that the output stays high, at the end of which time the voltage equals $2/3 V_S$. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. *Figure 2* shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.1 ms/Div.
 $R_A = 9.1 k\Omega$
 $C = 0.01 \mu F$

Top Trace: Input 5 V/Div.
 Middle Trace: Output 5 V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2 V/Div.

FIGURE 2. Monostable Waveforms

Reset overrides Trigger, which can override threshold. Therefore the trigger pulse must be shorter than the desired t_H . The minimum pulse width for the Trigger is 20ns, and it is 400ns for the Reset. During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the cir-

cuit so long as the trigger input is returned high at least 10 μs before the end of the timing interval. However the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal. The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not use, it is recommended that it be connected to V_+ to avoid any possibility of false triggering. *Figure 3* is a nomograph for easy determination of RC values for various time delays.

Note: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

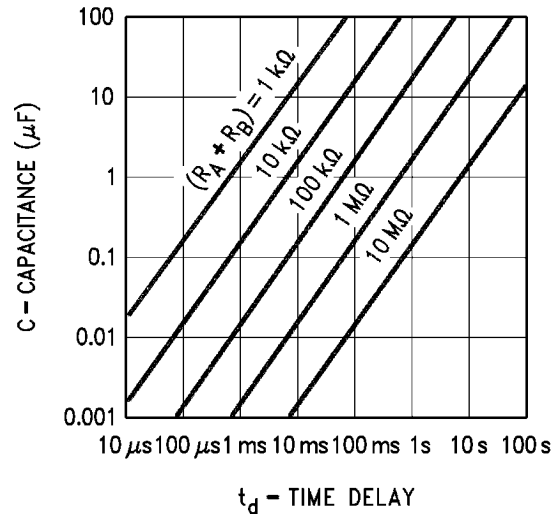


FIGURE 3. Time Delay

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in *Figure 4* (Trigger and Threshold terminals connected together) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through $R_A + R_B$ and discharges through R_B . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

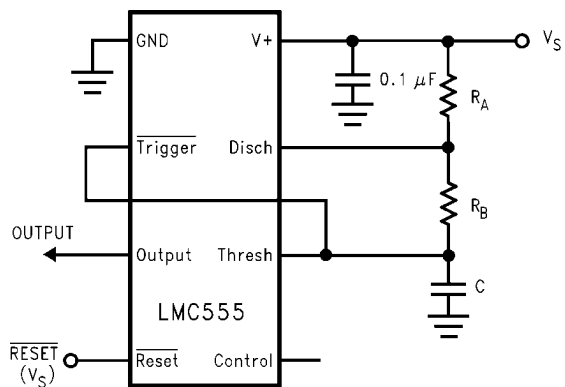
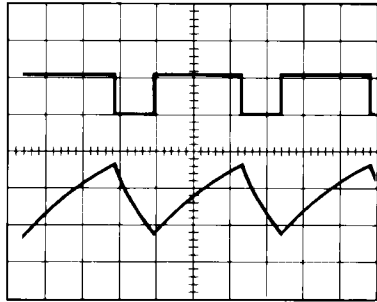


FIGURE 4. Astable (Variable Duty Cycle Oscillator)

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between $1/3 V_S$ and $2/3 V_S$. As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

Figure 5 shows the waveform generated in this mode of operation.



866912

$V_{CC} = 5V$ Top Trace: Output 5 V/Div.
 TIME = 20 μs /Div. Bottom Trace: Capacitor Voltage 1 V/Div.
 $R_A = 3.9 k\Omega$
 $R_B = 9 k\Omega$
 $C = 0.01 \mu F$

FIGURE 5. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B)C$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B)C$$

Thus the total period is:

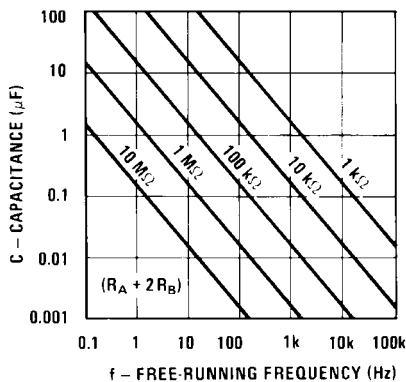
$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B)C$$

The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC Values. The duty cycle, as a fraction of total period that the output is low, is:

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

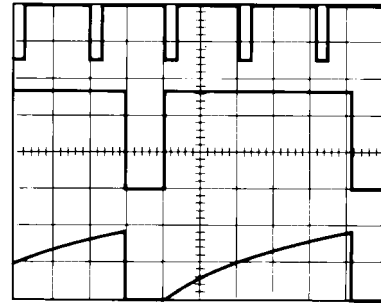


866913

FIGURE 6. Free Running Frequency

FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of Figure 1 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 7 shows the waveforms generated in a divide by three circuit.



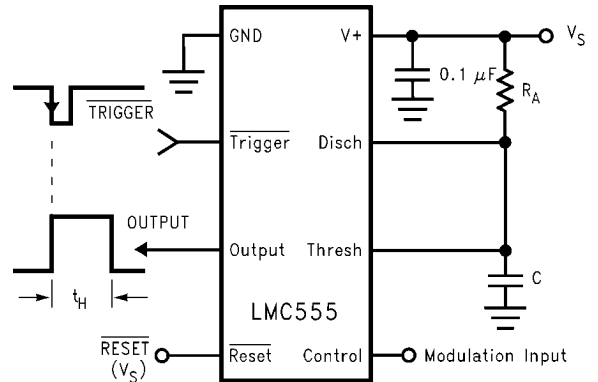
866914

$V_{CC} = 5V$ Top Trace: Input 4 V/Div.
 TIME = 20 μs /Div. Middle Trace: Output 2 V/Div.
 $R_A = 9.1 k\Omega$ Bottom Trace: Capacitor 2 V/Div.
 $C = 0.01 \mu F$

FIGURE 7. Frequency Divider Waveforms

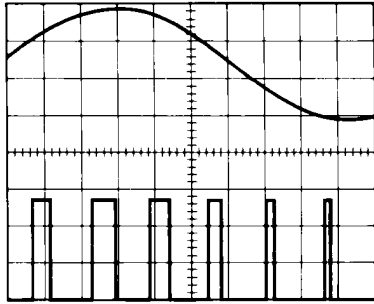
PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to the Control Voltage Terminal. Figure 8 shows the circuit, and in Figure 9 are some waveform examples.



866920

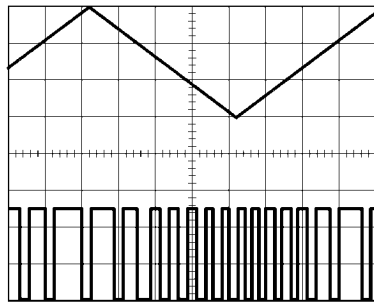
FIGURE 8. Pulse Width Modulator



866915

$V_{CC} = 5V$
 Top Trace: Modulation 1 V/Div.
 TIME = 0.2 ms/Div. Bottom Trace: Output Voltage 2 V/Div.
 $R_A = 9.1 k\Omega$
 $C = 0.01 \mu F$

FIGURE 9. Pulse Width Modulator Waveforms



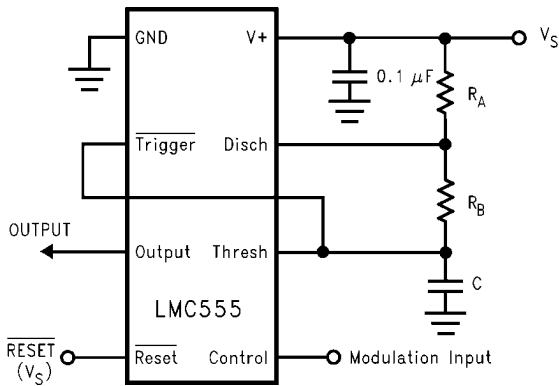
866916

$V_{CC} = 5V$
 Top Trace: Modulation Input 1 V/Div.
 TIME = 0.1 ms/Div. Bottom Trace: Output Voltage 2 V/Div.
 $R_A = 3.9 k\Omega$
 $R_B = 3 k\Omega$
 $C = 0.01 \mu F$

FIGURE 11. Pulse Position Modulator Waveforms

PULSE POSITION MODULATOR

This application uses the timer connected for astable operation, as in Figure 10, with a modulating signal again applied to the control voltage terminal. The pulse position varies with the modulating signal, since the threshold voltage and hence the time delay is varied. Figure 11 shows the waveforms generated for a triangle wave modulation signal.



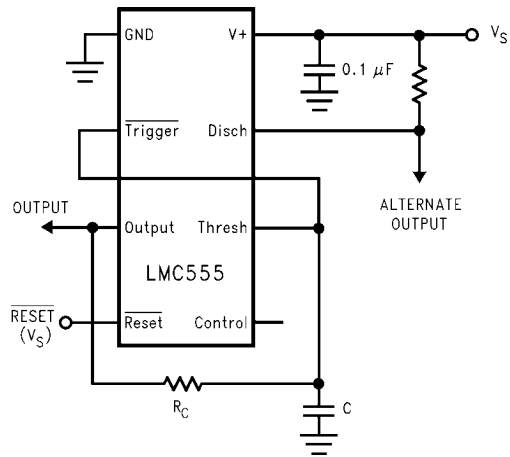
866921

FIGURE 10. Pulse Position Modulator

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

The frequency of oscillation is

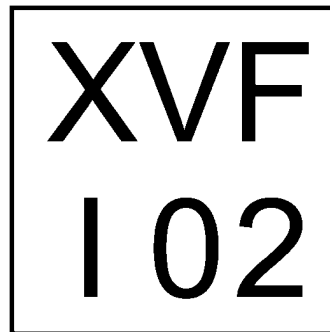
$$f = 1/(1.4 R_C C)$$



866906

FIGURE 12. 50% Duty Cycle Oscillator

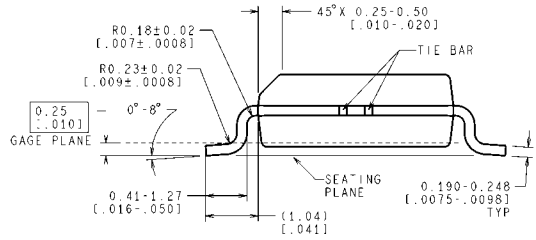
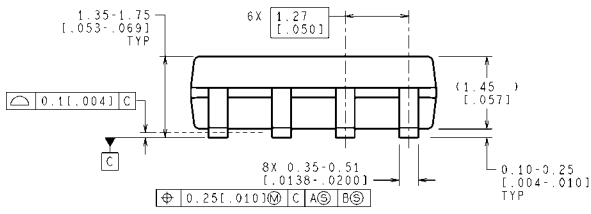
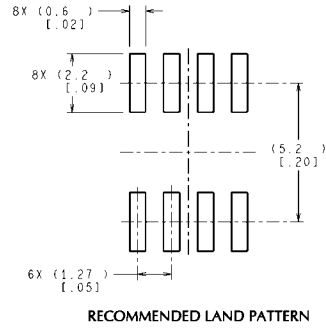
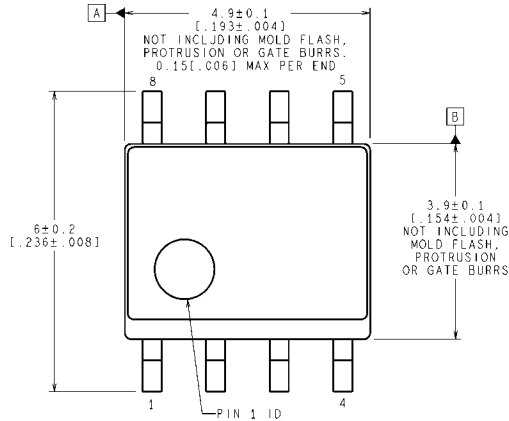
**micro SMD Marking Orientation
 Top View**



X = 1 Digit Date Code
 V = 1 Digit Die Run
 I = Pin 1 Designator

866926

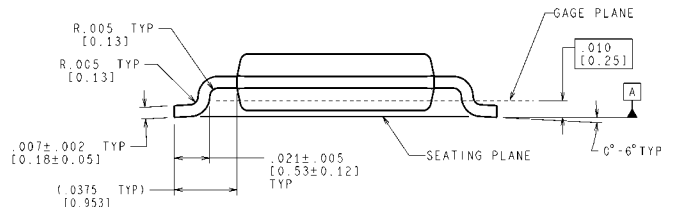
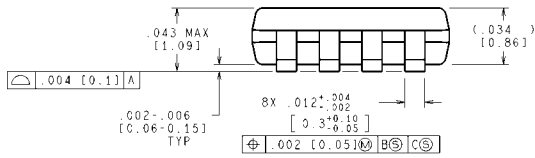
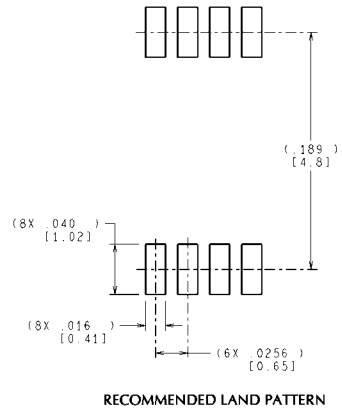
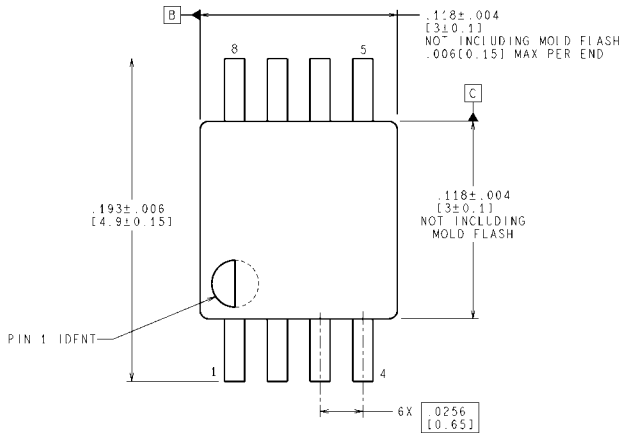
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



CONTROLLING DIMENSION IS MILLIMETER
VALUES IN [] ARE INCHES
DIMENSIONS IN () FOR REFERENCE ONLY

M08A (Rev M)

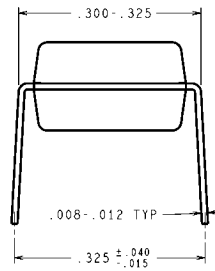
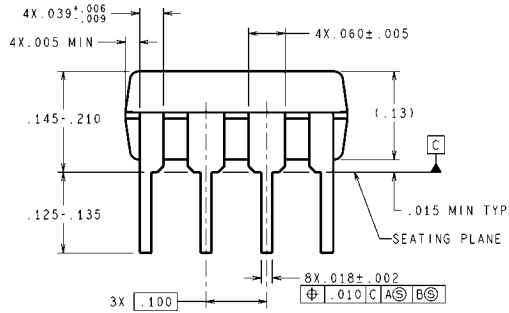
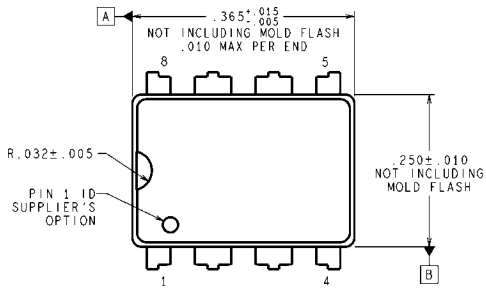
**Molded Small Outline (SO) Package (M)
NS Package Number M08A**



CONTROLLING DIMENSION IS INCH
VALUES IN [] ARE MILLIMETERS

MUA08A (Rev F)

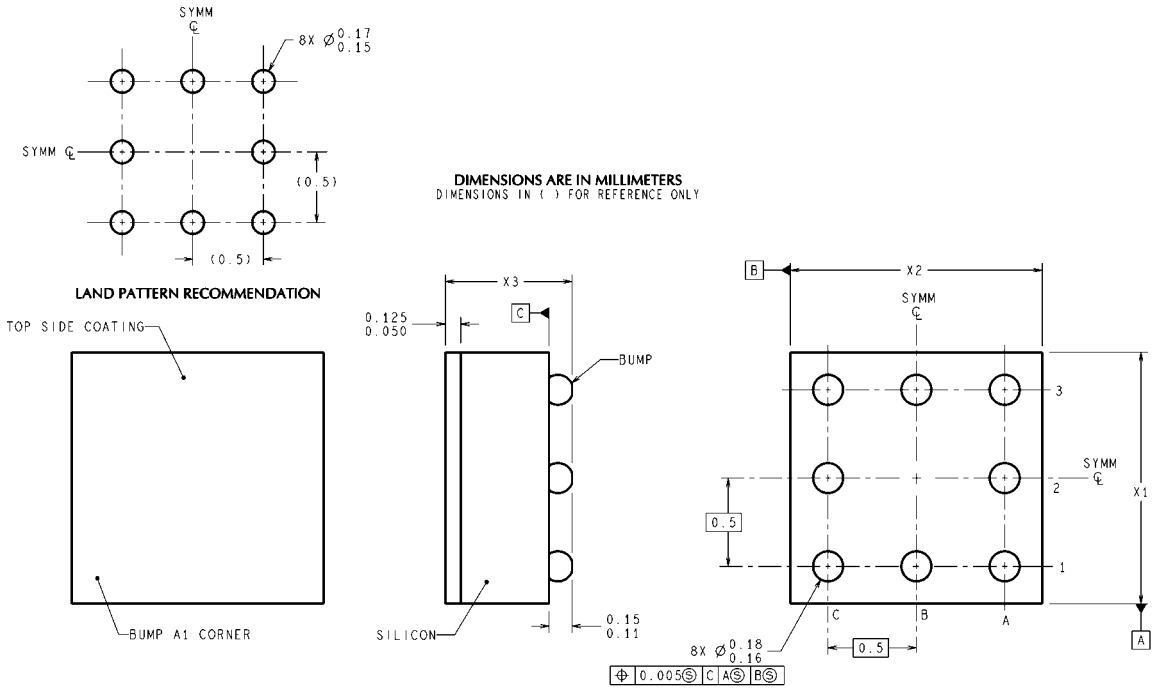
**8-Pin (0.118" Wide) Molded Mini Small Outline Package
NS Package Number MUA08A**



DIMENSIONS ARE IN INCHES
DIMENSIONS IN () FOR REFERENCE ONLY

Molded Dual-in-line Package (N)
NS Package Number N08E

N08E (Rev G)



NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. EPOXY COATING
2. FOR SOLDER BUMP COMPOSITION, SEE "SOLDER INFORMATION" IN THE PACKAGING SECTION OF THE NATIONAL SEMICONDUCTOR WEB PAGE (www.national.com).
3. RECOMMEND NON-SOLDER MASK DEFINED LANDING PAD.
4. PIN A1 IS ESTABLISHED BY LOWER LEFT CORNER WITH RESPECT TO TEXT ORIENTATION.
5. XXX IN DRAWING NUMBER REPRESENTS PACKAGE SIZE VARIATION WHERE X1 IS PACKAGE WIDTH, X2 IS PACKAGE LENGTH AND X3 IS PACKAGE HEIGHT.
6. REFERENCE JEDEC REGISTRATION MO-211, VARIATION BC.

8-Bump micro SMD Package
NS Package Number TPA08FGA
 $X_1 = 1.412$ $X_2 = 1.438$ $X_3 = 0.500$

Notes

Notes

For more National Semiconductor product information and proven design tools, visit the following Web sites at:
www.national.com

Products		Design Support	
Amplifiers	www.national.com/amplifiers	WEBENCH® Tools	www.national.com/webench
Audio	www.national.com/audio	App Notes	www.national.com/appnotes
Clock and Timing	www.national.com/timing	Reference Designs	www.national.com/refdesigns
Data Converters	www.national.com/adc	Samples	www.national.com/samples
Interface	www.national.com/interface	Eval Boards	www.national.com/evalboards
LVDS	www.national.com/lvds	Packaging	www.national.com/packaging
Power Management	www.national.com/power	Green Compliance	www.national.com/quality/green
Switching Regulators	www.national.com/switchers	Distributors	www.national.com/contacts
LDOs	www.national.com/ldo	Quality and Reliability	www.national.com/quality
LED Lighting	www.national.com/led	Feedback/Support	www.national.com/feedback
Voltage References	www.national.com/vref	Design Made Easy	www.national.com/easy
PowerWise® Solutions	www.national.com/powerwise	Applications & Markets	www.national.com/solutions
Serial Digital Interface (SDI)	www.national.com/sdi	Mil/Aero	www.national.com/milaero
Temperature Sensors	www.national.com/tempensors	SolarMagic™	www.national.com/solarmagic
PLL/VCO	www.national.com/wireless	PowerWise® Design University	www.national.com/training

THE CONTENTS OF THIS DOCUMENT ARE PROVIDED IN CONNECTION WITH NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION ("NATIONAL") PRODUCTS. NATIONAL MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES WITH RESPECT TO THE ACCURACY OR COMPLETENESS OF THE CONTENTS OF THIS PUBLICATION AND RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES TO SPECIFICATIONS AND PRODUCT DESCRIPTIONS AT ANY TIME WITHOUT NOTICE. NO LICENSE, WHETHER EXPRESS, IMPLIED, ARISING BY ESTOPPEL OR OTHERWISE, TO ANY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS IS GRANTED BY THIS DOCUMENT.

TESTING AND OTHER QUALITY CONTROLS ARE USED TO THE EXTENT NATIONAL DEEMS NECESSARY TO SUPPORT NATIONAL'S PRODUCT WARRANTY. EXCEPT WHERE MANDATED BY GOVERNMENT REQUIREMENTS, TESTING OF ALL PARAMETERS OF EACH PRODUCT IS NOT NECESSARILY PERFORMED. NATIONAL ASSUMES NO LIABILITY FOR APPLICATIONS ASSISTANCE OR BUYER PRODUCT DESIGN. BUYERS ARE RESPONSIBLE FOR THEIR PRODUCTS AND APPLICATIONS USING NATIONAL COMPONENTS. PRIOR TO USING OR DISTRIBUTING ANY PRODUCTS THAT INCLUDE NATIONAL COMPONENTS, BUYERS SHOULD PROVIDE ADEQUATE DESIGN, TESTING AND OPERATING SAFEGUARDS.

EXCEPT AS PROVIDED IN NATIONAL'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE FOR SUCH PRODUCTS, NATIONAL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER, AND NATIONAL DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY RELATING TO THE SALE AND/OR USE OF NATIONAL PRODUCTS INCLUDING LIABILITY OR WARRANTIES RELATING TO FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, MERCHANTABILITY, OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS PRIOR WRITTEN APPROVAL OF THE CHIEF EXECUTIVE OFFICER AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

Life support devices or systems are devices which (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling can be reasonably expected to result in a significant injury to the user. A critical component is any component in a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor and the National Semiconductor logo are registered trademarks of National Semiconductor Corporation. All other brand or product names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.

Copyright© 2010 National Semiconductor Corporation

For the most current product information visit us at www.national.com



**National Semiconductor
Americas Technical
Support Center**
Email: support@nsc.com
Tel: 1-800-272-9959

**National Semiconductor Europe
Technical Support Center**
Email: europe.support@nsc.com

**National Semiconductor Asia
Pacific Technical Support Center**
Email: ap.support@nsc.com

**National Semiconductor Japan
Technical Support Center**
Email: jpn.feedback@nsc.com

Anexo F

Conector/Ligador - Dimensões

SMA 905 Fiber Connectors

NEW
versions

Custom-Drilled Connectors Available
Call Tech Support



SMA Multimode

Strain Relief Boot
Stainless Steel Ferrule

CT042 Crimp Tool is Required
for Ø3 mm Tubing

SMA Main Body

SMA-style connectors are most commonly used with multimode fibers since the ferrule is an ideal choice for large-core fibers (see pages 1053 - 1062 for our selection of these fibers). Thorlabs stocks a complete selection of SMA connectors with ferrule sizes to accommodate all of our fiber cladding sizes from Ø125 µm to Ø1250 µm. Each connector includes a fiber connector cap.

NEW

NEW

ITEM #	\$	£	€	RMB	DRILLED SIZE	DIAMETER TOLERANCE
10125A	\$ 9.20	£ 6.62	€ 8.00	¥ 73.32	Ø128 µm	+5/-0 µm
10140A	\$ 9.65	£ 6.95	€ 8.40	¥ 76.91	Ø144 µm	+5/-0 µm
10230A	\$ 9.65	£ 6.95	€ 8.40	¥ 76.91	Ø231 µm	+10/-0 µm
10250A	\$ 9.65	£ 6.95	€ 8.40	¥ 76.91	Ø250 µm	+15/-0 µm
10260A	\$ 9.65	£ 6.95	€ 8.40	¥ 76.91	Ø260 µm	+13/-0 µm
10270A	\$ 9.65	£ 6.95	€ 8.40	¥ 76.91	Ø270 µm	+15/-0 µm
10340A	\$ 9.65	£ 6.95	€ 8.40	¥ 76.91	Ø340 µm	+15/-0 µm
10410A	\$ 9.65	£ 6.95	€ 8.40	¥ 76.91	Ø410 µm	+15/-0 µm
10440A	\$ 9.65	£ 6.95	€ 8.40	¥ 76.91	Ø440 µm	+15/-0 µm
10450A	\$ 9.65	£ 6.95	€ 8.40	¥ 76.91	Ø450 µm	+15/-0 µm
10510A	\$ 9.76	£ 7.03	€ 8.49	¥ 77.79	Ø510 µm	+15/-0 µm
10610A	\$ 9.76	£ 7.03	€ 8.49	¥ 77.79	Ø612 µm	+15/-0 µm
10640A	\$ 9.76	£ 7.03	€ 8.49	¥ 77.79	Ø641 µm	+15/-0 µm
10670A	\$ 9.76	£ 7.03	€ 8.49	¥ 77.79	Ø670 µm	+15/-0 µm
10770A	\$ 9.76	£ 7.03	€ 8.49	¥ 77.79	Ø770 µm	+15/-0 µm
10850A	\$ 9.76	£ 7.03	€ 8.49	¥ 77.79	Ø850 µm	+15/-0 µm
11040A	\$ 10.20	£ 7.34	€ 8.87	¥ 81.29	Ø1040 µm	+15/-0 µm
11050A	\$ 10.50	£ 7.56	€ 9.14	¥ 83.69	Ø1055 µm	+15/-0 µm
11275A	\$ 10.50	£ 7.56	€ 9.14	¥ 83.69	Ø1275 µm	+15/-0 µm

ST Fiber Connectors



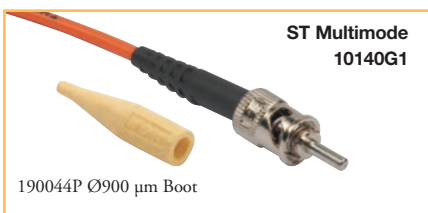
ST Single Mode
30126B1

190044P Ø900 µm Boot

CT042 Crimp Tool is Required for Ø3 mm Tubing

This ST single mode connector features a ceramic ferrule with a pre-radiused tip (20 mm) to minimize back reflections and is packaged with a strain relief boot for Ø3 mm tubing.

ITEM #	\$	£	€	RMB	DESCRIPTION
30126B1	\$ 8.67	£ 6.24	€ 7.54	¥ 69.10	Ceramic Ferrule, ST/PC, Ø125 µm Cladding
190044P	\$ 10.50	£ 7.56	€ 9.14	¥ 83.69	Ø900 µm Yellow Strain Relief Boots, 25/Pack



ST Multimode
10140G1

190044P Ø900 µm Boot

CT042 Crimp Tool is Required for Ø3 mm Tubing

This ST connector is designed for multimode applications. The stainless steel ferrule connector can be customized to accept fiber cladding diameters up to Ø1 mm, please contact Tech Support for details.

ITEM #	\$	£	€	RMB	DESCRIPTION
10140G1	\$ 11.20	£ 8.06	€ 9.74	¥ 89.26	Stainless Steel Ferrule, ST, Ø140 µm Cladding
190044P	\$ 10.50	£ 7.56	€ 9.14	¥ 83.69	Ø900 µm Yellow Strain Relief Boots, 25/Pack

LC Fiber Connector



LC Single Mode

The LC connector was developed to meet the need for small and easier to use fiber optic connectors by reducing the space required on panels by 50%.

ITEM #	\$	£	€	RMB	DESCRIPTION
86024-5500	\$ 10.20	£ 7.34	€ 8.87	¥ 81.29	LC, Ø900 µm Tubing, Ø126 µm Cladding

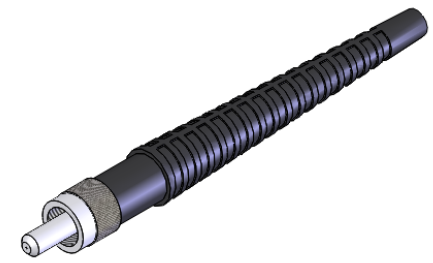
Connector Crimp Tool

One tool can be used for crimping SMA, FC, SC, and ST connectors. Connectors with Ø3 mm or greater tubing require the use of a crimp tool, while Ø900 µm tubing or smaller does not need to be crimped.

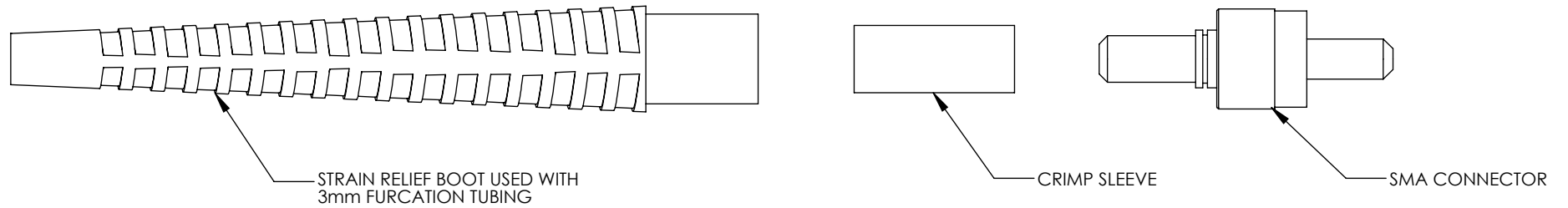
ITEM #	\$	£	€	RMB	DESCRIPTION
CT042	\$ 99.00	£ 71.28	€ 86.13	¥ 789.03	Crimp Tool



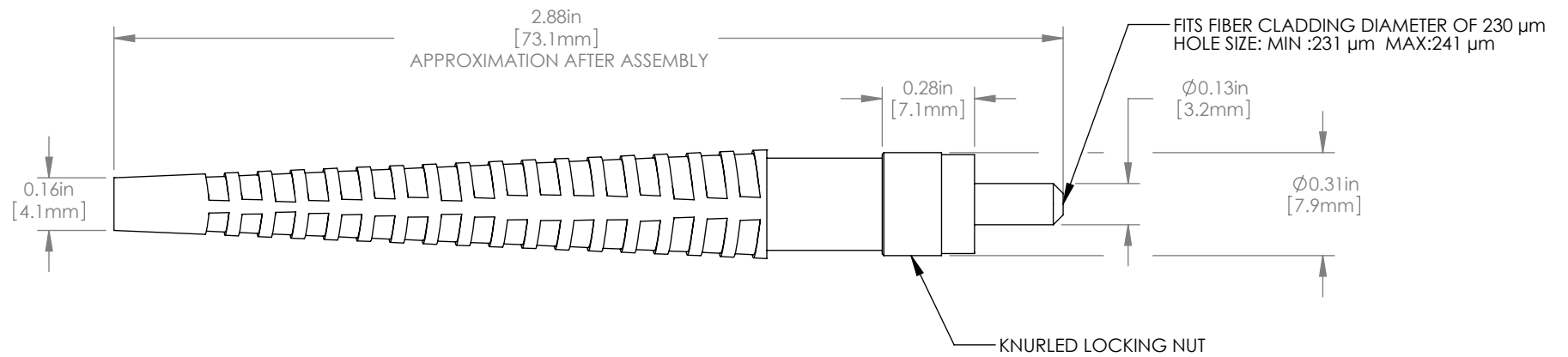
CT042



EXPLODED VIEW



ASSEMBLED VIEW



FOR INFORMATION ONLY
NOT FOR MANUFACTURING PURPOSES

DRAWING PROJECTION			THORLABS www.thorlabs.com	
NAME	DATE	230um SMA CONNECTOR		
DRAWN KH	06/JUL/11	MATERIAL	N/A	REV A
APPROVAL KB	06/JUL/11	ITEM #	10230A	APPROX WEIGHT 0.01kg
COPYRIGHT © 2010 BY THORLABS				
VALUES IN PARENTHESIS ARE CALCULATED AND MAY CONTAIN ROUND OFF ERRORS				

CHAPTERS

Fiber Patch Cables

Bare Fiber

Fiber Optomechanics

Fiber Components

Test and Measurement

SECTIONS

Collimators

Couplers

WDMs

RGB Combiner

Circulators

Fiber Isolators

Faraday Mirrors

Fiber Attenuators

Polarization Controllers

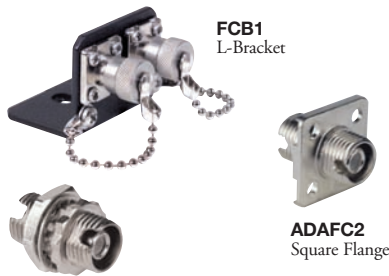
Optical Switches

Mating Sleeves

Terminating Connectors

Termination

FC/PC to FC/PC Mating Sleeves



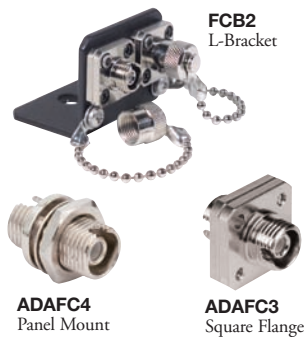
ADAFC1 Panel Mount



- **FCB1:** Two FC/PC mating sleeves premounted on an L-bracket that can be easily mounted onto a TR series post. (Wide key: 2.2 mm)
- **ADAFC1:** Use this as a panel mount (D hole) or as a floating style adapter to connect two FC single or multimode cables. (Wide key: 2.2 mm)
- **ADAFC2:** This FC/PC to FC/PC adapter has a square flange and is intended for panel mounting. The flange has two clearance holes located diagonally on a 9.50 mm square, while two additional holes are M2 x 0.4 tapped. (Wide key: 2.2 mm)

ITEM #	\$	£	€	RMB	DESCRIPTION
FCB1	\$ 54.70	£ 39.38	€ 47.59	¥ 435.96	FC/PC to FC/PC Dual Mating Sleeve L-Bracket
ADAFC1	\$ 9.60	£ 6.91	€ 8.35	¥ 76.51	FC/PC to FC/PC D Hole Mating Sleeve
ADAFC2	\$ 10.70	£ 7.70	€ 9.31	¥ 85.28	FC/PC to FC/PC Square Mating Sleeve

FC/APC to FC/APC Mating Sleeves



- **FCB2:** Two FC/APC mating sleeves premounted on an L-bracket that can be easily mounted onto a TR series post. (Narrow key: 2.0 mm)
- **ADAFC4:** Mount this mating sleeve in the D-hole of a standard rack mount panel or use it as a floating style adapter to connect two FC/APC single mode cables. (Narrow key: 2.0 mm)
- **ADAFC3:** For use with angle-polished FC cables. This adapter can be used as a floating style or as a panel mount (D hole) to connect two single mode APC cables. (Narrow key: 2.0 mm)

ITEM #	\$	£	€	RMB	DESCRIPTION
FCB2	\$ 74.90	£ 53.93	€ 65.16	¥ 596.95	FC/APC to FC/APC Dual Mating Sleeve L-Bracket
ADAFC4	\$ 14.30	£ 10.30	€ 12.44	¥ 113.97	FC/APC to FC/APC D Hole Mating Sleeve
ADAFC3	\$ 20.80	£ 14.98	€ 18.10	¥ 165.78	FC/APC to FC/APC Square Mating Sleeve

FC to FC PM Mating Sleeves



ADAFC2-PMW Panel Mount PM FC to PM FC 2.1 mm Key Slot

ADAFC2-PMN Panel Mount PM FC to PM FC 2.0 mm Key Slot

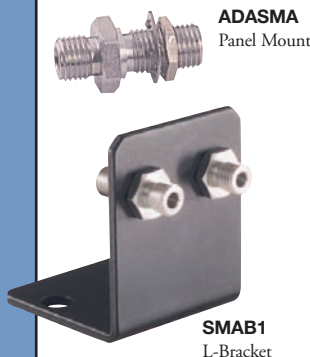
Features

- Compatible with FC/PC and FC/APC Connectors
- Monolithic Design Ensures Optimal Performance for PM-PM Interfaces
- Wide (2.09-2.14 mm) and Narrow (1.97-2.02 mm) Key Versions

The ADAFC2-PMN and ADAFC2-PMW mating sleeves have a monolithic construction and square flange that allows them to be attached to a panel. They are ideal for joining polarization-maintaining fibers with FC/PC or FC/APC connectors. ADAFC2-PMN has a 2.0 mm (narrow) keyway, while the ADAFC2-PMW has a 2.1 mm (wide) keyway.

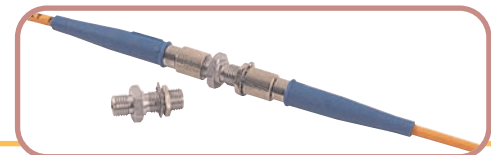
ITEM #	\$	£	€	RMB	DESCRIPTION
ADAFC2-PMN	\$ 48.00	£ 34.56	€ 41.76	¥ 382.56	PM FC Adapter Narrow (2.0 mm) Key
ADAFC2-PMW	\$ 48.00	£ 34.56	€ 41.76	¥ 382.56	PM FC Adapter Wide (2.1 mm) Key

SMA to SMA Mating Sleeves



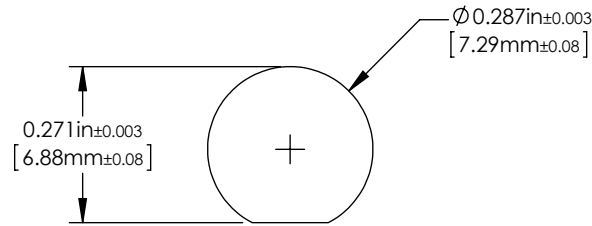
ADASMA Panel Mount

SMAB1 L-Bracket

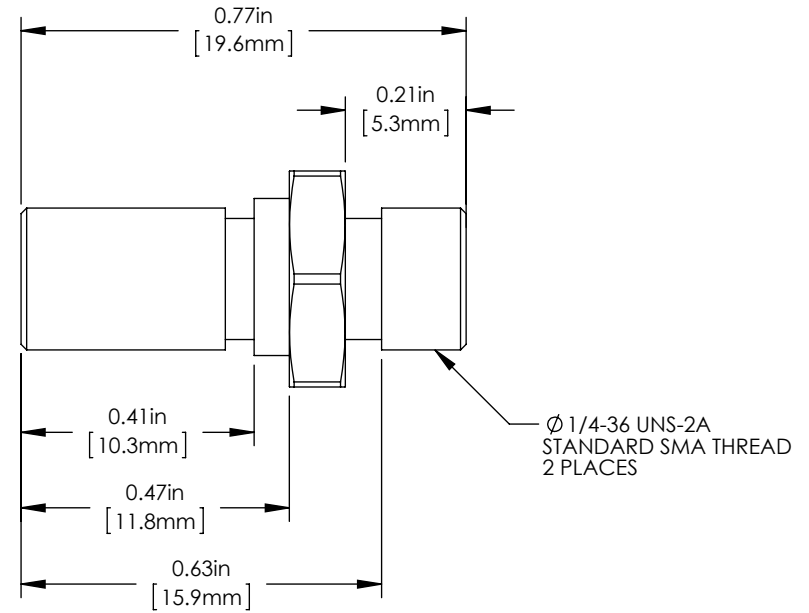
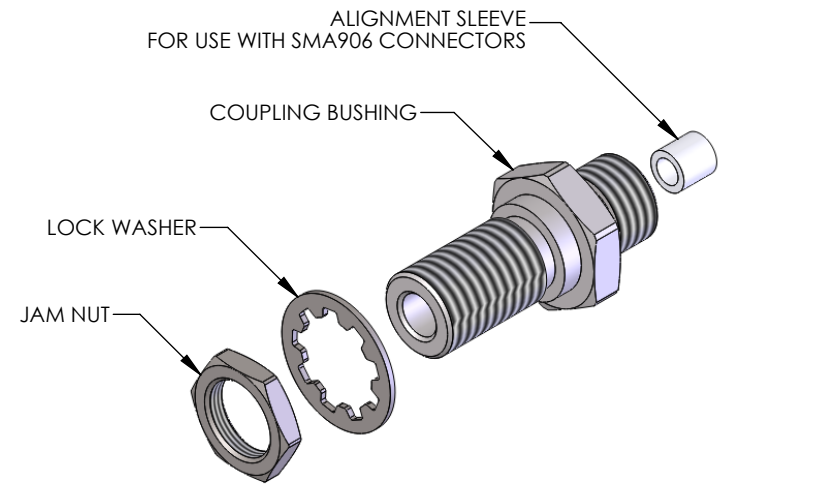
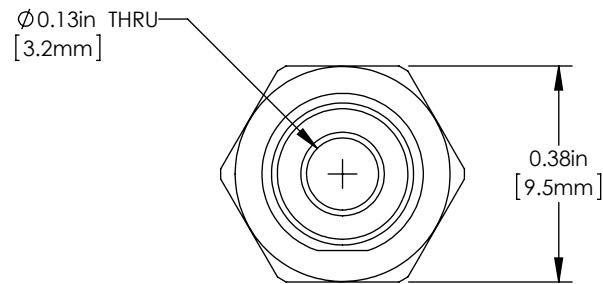


- The ADASMA Mating Sleeve and SMAB1 Dual L-Bracket are designed to connect SMA-terminated fibers. Although the ADASMA is compatible with SMA905-style connectors, an adapter is included that allows the mating sleeve to be used with SMA906-connectorized fibers.
- The SMAB1 Dual L-Bracket consists of two ADASMA mating sleeves that have been premounted on an L-bracket. The bracket can be mounted on a TR Series Post (See Page 93).

ITEM #	\$	£	€	RMB	DESCRIPTION
ADASMA	\$ 17.30	£ 12.46	€ 15.05	¥ 137.88	SMA to SMA Mating Sleeve
SMAB1	\$ 39.50	£ 28.44	€ 34.37	¥ 314.82	SMA to SMA Dual L-Bracket Mating Sleeve



SUGGESTED CLEARANCE HOLE



- INCLUDED BUT NOT SHOWN:
- 1 PIECE SHOWN, SOLD IN PACKS OF 10
 - INCLUDED BUT NOT SHOWN, PROTECTIVE DUST CAP

FOR INFORMATION ONLY
NOT FOR MANUFACTURING PURPOSES

DRAWING PROJECTION			THORLABS www.thorlabs.com	
NAME	DATE	SMA TO SMA FIBER ADAPTER (10/PKG)		
DRAWN	JW	12/JUL/13	MATERIAL	
APPROVAL	KH	15/JUL/13	303 STAINLESS STEEL	REV A
COPYRIGHT © 2013 BY THORLABS				
VALUES IN PARENTHESIS ARE CALCULATED AND MAY CONTAIN ROUND OFF ERRORS			ITEM #	APPROX WEIGHT
			ADASMA-10	0.04 kg

Anexo G

Diapositivos da apresentação oral



• U  C •
 Departamento de Engenharia Mecânica Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Metrologia da detonação com recurso a fibras ópticas

Autor:
Alexandre Neves Anastácio

Orientador:
Professor Doutor José Leandro de Andrade Campos

22 de Setembro, 2013

Enquadramento

2

Recuperação e desenvolvimento de um sistema simples para detetar sinais ópticos provenientes de uma frente de detonação através de:

- ▣ Recolha do impulso luminoso com fibras ópticas
- ▣ Conversão elétrica desse impulso com sensores opto-electrónicos
- ▣ Registo num osciloscópio

O sistema deverá permitir medir a velocidade e a pressão da detonação.

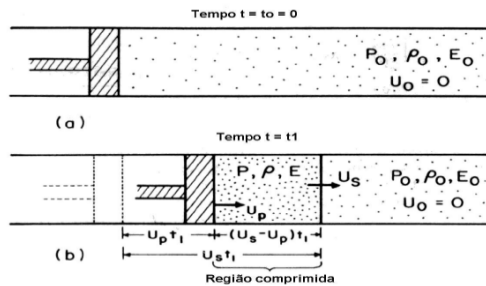
A velocidade de detonação é medida através da medição dos tempos, entre impulsos luminosos ocorridos em espaçamentos pre-conhecidos.

A pressão é medida pelo intervalo de tempo existente numa placa de material conhecido, que é atravessada por um choque induzido pela detonação.

Detonação, modelo monodimensional

3

- Chapman e Jouguet (CJ) consideram a detonação como uma descontinuidade plana, caracterizada por uma reação química instantânea provocada por uma variação abrupta da pressão que a precede. O conjunto choque-reação é que é a detonação.
- Zedovitch, Von Neuman e Doring (ZND) clarificaram este conceito, precisando de que a energia libertada pela reação química não era imediata, mas sim devido à compressão do material reactivo a pressões maiores do que a pressão de detonação CJ.



Detonação, modelo nomodimensional

4

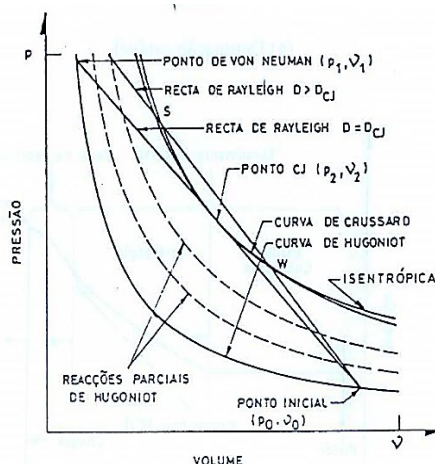
- Considerando a conservação de massa, energia e momento linear é possível definir as seguintes relações para o modelo de um choque monodimensional num material inerte (Relações de Hugoniot):

Massa: $(p - p_0) = \rho_0 U_s U_p$

Momento: $\rho_0 U_s = \rho(U_s - U_p)$

Energia: $(e - e_0) = \frac{1}{2}(p + p_0)(v_0 - v)$

- Os pontos inicial, CJ e ZND são colineares entre si, formam uma reta designada "Recta de Rayleigh", para se obter um regime de detonação permanente.



Radiação de corpo negro

5

□ Corpo negro absorve toda a radiação eletromagnética e emite a máxima radiação que qualquer outro corpo à mesma temperatura.

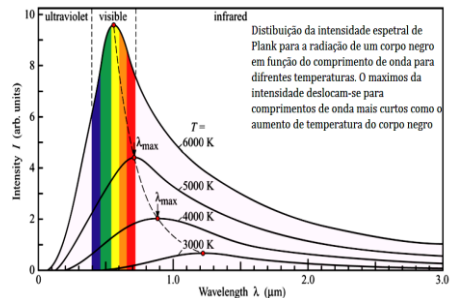
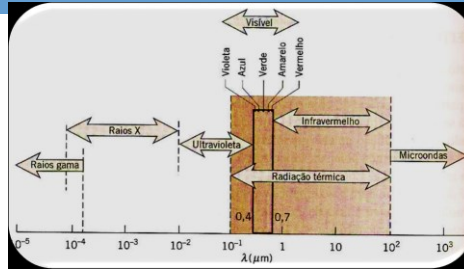
□ A Lei de Plank exprime que a distribuição espectral do poder emissivo hemisférico espectral, dado como função da temperatura absoluta e do comprimento de onda:

$$w_{\lambda b}(\lambda, T) = \pi \times i_{\lambda b}(\lambda, T) = \frac{2 \times \pi \times C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)}$$

$$C_1 = 3.74177 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 / \text{m}^2$$

$$C_2 = 1.43878 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

$T \rightarrow$ Temperatura absoluta [K]



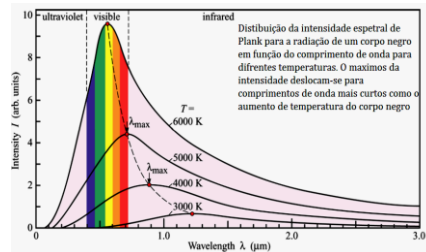
Radiação térmica

6

Radiação Térmica

- A lei de Wien relaciona o comprimento de onda com o máximo poder emissivo, para uma dada temperatura de corpo negro.
- Assim a mudança dos valores máximos do poder emissivo varia em função da temperatura, ocorrendo para comprimentos de onda mais curtos quando ocorre o aumento da temperatura (linha a tracejado).

$$\lambda_{\max} T = C_3 \quad C_3 = 2,8977685 \times 10^{-3} \text{ m.K}$$



□ A lei de Stefan-Boltzmann define que o poder emissivo hemisférico total de uma superfície, por unidade de área de um corpo negro e por unidade de tempo, é diretamente proporcional à quarta potência da temperatura.

$$w_b = \int_0^{\infty} w_{\lambda b}(\lambda, T) \partial\lambda = \int_0^{\infty} \pi i_{\lambda b}(\lambda, T) \partial\lambda = \sigma T^4$$

onde :

$$\sigma = \frac{2 C_1 \pi^5}{15 C_2^4} \quad 0040 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

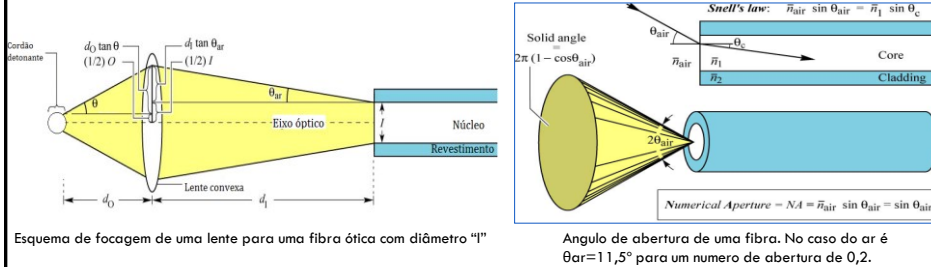
Aplicação da Radiação Térmica

7

- Quando se calcula a radiação que incide na fibra ótica, pode-se verificar que se a potência não chegar para acionar o sensor, este “fica escuro”. Valor corrente:

$$w = F_{\text{g}} \varepsilon \sigma T^4 \approx 153 \mu\text{W}$$

- Há então necessidade de colocar um concentrador de radiação, lente convexa, para aumentar a potência luminosa incidente na fibra.
- O acréscimo de radiação deve-se ao **aumento do fator de forma ou ao aumento do ângulo sólido**.



Pesquisa de componentes

8

- A pesquisa dos componentes foi efetuada em diversos websites de fornecedores, **RS Components, Digi-Key, Farnell e Edmundoptics e Thorlabs**
 - Sensor de radiação
 - Receptores
 - Transmissores (emissores)
 - Fibra ótica
 - Conectores SMA
 - Ligadores SMA

Caraterísticas dos componentes

9

Fibras ópticas

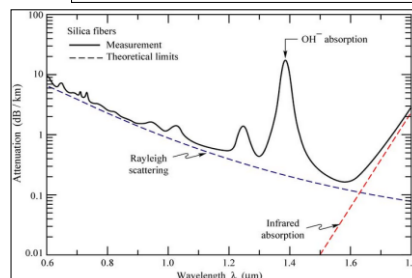
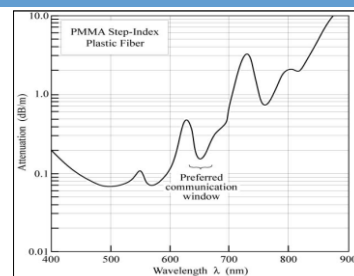
- As fibras ópticas são distinguidas por as seguinte cateterísticas:
 - Material do núcleo
 - Sílica (vidro)
 - PMMA (plásticas)
 - Modo de propagação da radiação
 - Monomodais - transmitem num comprimento onda definido λ
(distinguem-se por possuir núcleo de reduzidas dimensões 8 μm)
 - Multimodais - transmitem em vários comprimento onda
(distinguem-se por possuir núcleo de grandes dimensões 250 μm)

Caraterísticas dos componentes

10

Atenuação das fibras ópticas

- Os limites teóricos da atenuação para uma fibra ótica de sílica, são dados por :
 - Dispersão Rayleigh na região de curto comprimento de onda ;
 - Pelas vibrações moleculares (absorção de infravermelho).
- Dois tipos de materiais são utilizados nas fibras ópticas: PMMA e sílica.
- As fibras de PMMA (polimetacrilato) tem uma janela de transmissão adequada para comprimentos de onda na ordem dos 650 nm.
- A fibras de Silica têm 3 janelas de transmissão de dados para comprimentos de onda de 820 nm, 1330 nm e 1550 nm



Caraterísticas dos componentes

11

- Os **receptores** são utilizados para detetar a radiação proveniente da fibra óptica, estes são divididos em duas grandes famílias, os fotodíodos e os foto-transístores.
- **Fotodíodo**
 - É um dispositivo que converte a luz recebida numa determinada quantidade de corrente elétrica ou tensão.
 - Permite uma linearidade entre a intensidade de iluminação e tensão ou corrente gerada.
- **Foto-transistor**
 - É uma combinação entre dois díodos de junção assim como o transistor convencional, porém associado ao efeito do transistor aparece o efeito fotoelétrico.
 - Ao detetar a incidência de luz fornecem um “ganho” (amplificam a corrente).

Caraterísticas dos componentes

12

Receptores

- São utilizados em redes de telecomunicação e automação.
- Os receptores tem a função de detetar a radiação que a fibra emite, convertendo-a num sinal elétrico.
- Os sensores são diferenciados pela sua sensibilidade de pico, para comprimentos de onda de 650 e 820 nm.
- Podem ser analógicos (resposta proporcional à intensidade de luz recebida) ou digitais (resposta varia entre 0 e 5 Volts)
- Gráfico de resposta em função do comprimento de onda

Transmissores (emissores)

- Os transmissores são necessários para calibrar e medir a atenuação das linhas de transmissão do sistema.
- Emitem radiação nos mesmos comprimentos de onda que os receptores correspondentes detetam.
- São escolhidos consoante o receptor selecionado.

Componentes selecionados

13

- Os receptores escolhidos de sensibilidade máxima 820 nm foram o HFBR-2406 Z analógico e o HFBR-2402 Z digital.

Página Principal > Displays y Optoelectrónica > Componentes de Fibra Óptica > Receptores de Fibra Óptica

HFBR-2402

Preço unitário Unidade	
Ainda não está identificado na RS Online, pelo que pode não estar vendo os preços acordados com a sua empresa. Iniciar sessão	
Quantidade	Preço unitário
1	14,73 €
5	14,19 €
20	12,92 €
50	12,18 €
100	11,25 €

A imagem representada pode não ser a do produto

Página Principal > Displays y Optoelectrónica > Componentes de Fibra Óptica > Receptores de Fibra Óptica

HFBR-2406 125MHz fibre optic rx, sma

Preço unitário Unidade	
Ainda não está identificado na RS Online, pelo que pode não estar vendo os preços acordados com a sua empresa. Iniciar sessão	
Quantidade	Preço unitário
1	18,35 €
5	17,69 €
20	16,09 €
50	15,15 €
100	13,73 €

A imagem representada pode não ser a do produto

- O transmissor correspondente escolhido foi o HFBR-1404

Página Principal > Displays y Optoelectrónica > Componentes de Fibra Óptica > Transmisores de Fibra Óptica

HFBR-1404 160MBd fibre optic tx, sma

Preço unitário Unidade		Código RS	236-787
Ainda não está identificado na RS Online, pelo que pode não estar vendo os preços acordados com a sua empresa. Iniciar sessão		Fabricante	Avago Technologies
		Referência do fabricante	HFBR-1404Z
		Estado RoHS	Conforme
		Comentários de clientes	(0) Adicionar um comentário
		Em stock, com entrega em 24 horas para encomendas realizadas antes das 18:00.	

A imagem representada pode não ser a do produto

Componentes selecionados

14

- O receptor escolhido de sensibilidade máxima 650 nm foi o HFBR-2505 A digital.

HFBR-2505A 10MBd fibre optic rx, sma

Preço unitário Unidade		Código RS	236-701
Ainda não está identificado na RS Online, pelo que pode não estar vendo os preços acordados com a sua empresa. Iniciar sessão		Fabricante	Avago Technologies
		Referência do fabricante	HFBR-2505AZ
		Estado RoHS	Conforme
		Comentários de clientes	(0) Adicionar um comentário

A imagem representada pode não ser a do produto

- O transmissor correspondente escolhido foi o HFBR-1505

Página Principal > Displays y Optoelectrónica > Componentes de Fibra Óptica > Transmisores de Fibra Óptica

HFBR-1505A 10MBd fibre optic tx, sma

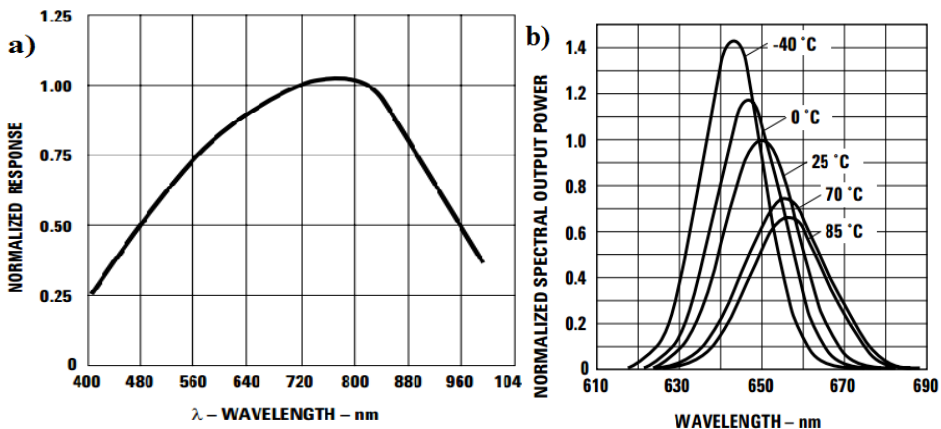
Preço unitário Unidade		Código RS	236-593
Ainda não está identificado na RS Online, pelo que pode não estar vendo os preços acordados com a sua empresa. Iniciar sessão		Fabricante	Avago Technologies
		Referência do fabricante	HFBR-1505AZ
		Estado RoHS	Conforme
		Comentários de clientes	(0) Adicionar um comentário

A imagem representada pode não ser a do produto

Componentes selecionados

15

- a) Gráfico de resposta espectral normalizada a 820 nm do receptor HFBR-2406 Z
- b) Gráfico de resposta espectral normalizada a 650 nm do receptor HFBR-2505 A



Componentes selecionados

16

- O cabo de fibra ótica de PMMA com terminais SMA do tipo multimodo escolhido tem um comprimento de 25 metros.

Página Principal > Cabos > Cabos para Redes y Comunicación > Latiguillos para Fibra Óptica

Latiguillo fibr óptica SMA-SMA,200um 25m

Preço unitário	Unidad
117,87 €	1

Fora de Stock. Disponível em 07/04/2014

Encomenda pendente
Adicione o produto à encomenda e enviar-lhe-emos assim que estiver disponível.

Disponível em laboratório estavam:

- Cabos de fibra ótica, de PMMA e sílica, com terminais SMA do tipo multimodo.
- Um cabo de fibra ótica Toray, de PMMA com um diâmetro de 250 μm .

Componentes selecionados

17

- Os conetores SMA são necessários para alinhar a fibra ótica “Toray” já existente, sendo esta uma fibra que não possui revestimento exterior;
- Os conetores SMA são utilizados na conexão do Recetor;
- Conetores SMA foram escolhido no site da Thorlabs;

SMA905 Connectors: Multimode, Stainless Steel Ferrule



»Fiber Components »Matting Sleeves/Connectors »SMA to SMA Matting Sleeve » ADASMA-10

ADASMA-10 - SMA to SMA Mating Sleeve, 10 Pack



Artikelnummer: ADASMA-10 - [Stellen Sie eine technische Frage](#)
 Gewicht: 0.01 kg / Each
 Verfügbarkeit: Today
 RoHS:
 Preis ohne MwSt.: 128,06 €
 In den Warenkorb: Menge:

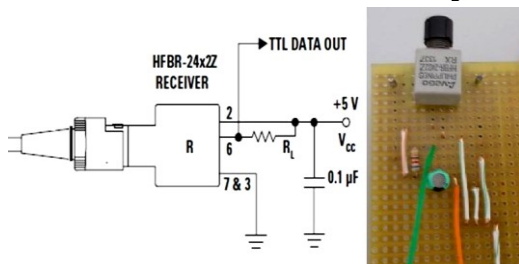
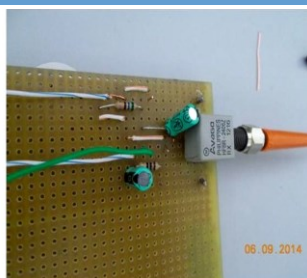
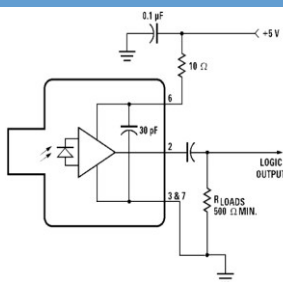
[Zoomen](#)
[Complete Product Details](#)

- Os ligadores SMA-SMA são necessários para conectar a fibra ótica “toray” com outra fibra, para diminuir as perdas pelo revestimento desta
- Os Ligadores foram escolhido no site da Thorlabs para conexão SMA-SMA

Montagem de equipamento (circuitos elétricos)

18

Receptor HFBR-2406 Z



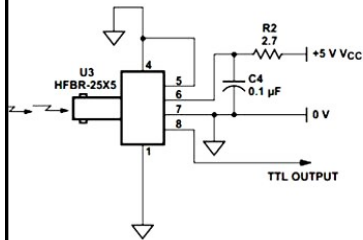
Receptor HFBR-2402 Z

Montagem de equipamento (circuitos elétricos)

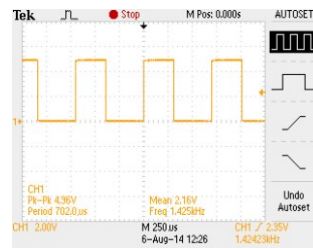
19

Receptor HFBR-2505

TTL COMPATIBLE RECEIVER



Sinal detetado pelo receptor

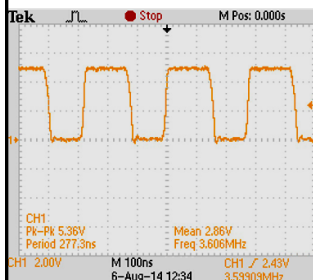
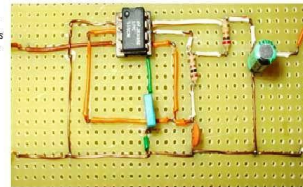
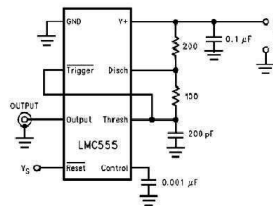


Montagem de equipamento (circuitos elétricos)

20

Foi necessário acoplar nos circuitos elétricos dos transmissores um gerador de sinal de onda (SWG) para que se possa ter pulsos luminosos de curta duração.

O SWG utilizado possui um circuito integrado LMC555.

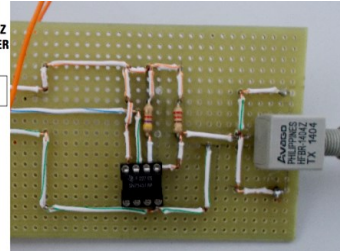
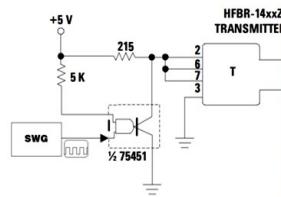


Este circuito gera um pulso de tensão entre 0 e 5 Volts com uma frequência de 3.59 MHz.

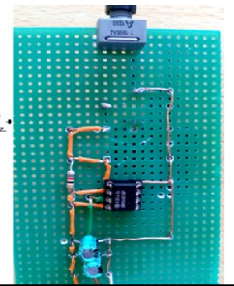
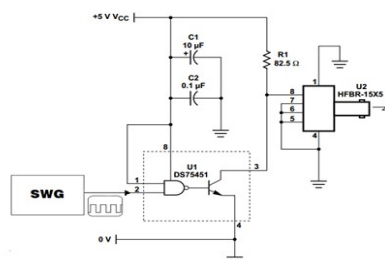
Montagem de equipamento (circuitos elétricos)

21

Transmissor HFBR-1404



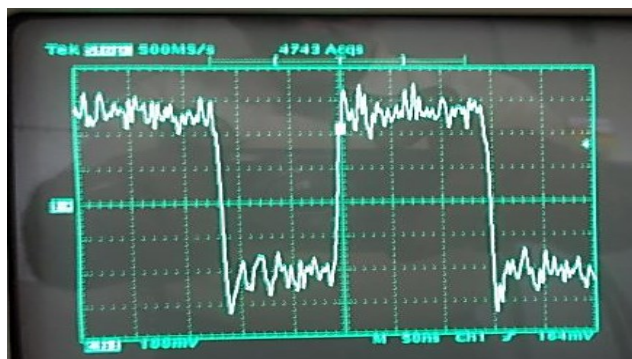
Transmissor HFBR-1505



Montagem de equipamento (circuitos elétricos)

22

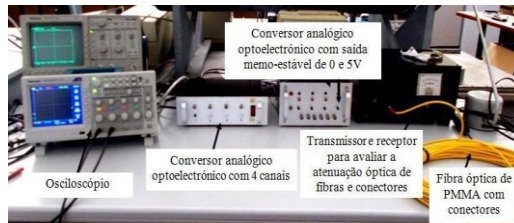
- Sinal detetado pelo receptor HFBR-2406 Z quando ligado ao transmissor HFBR-1404



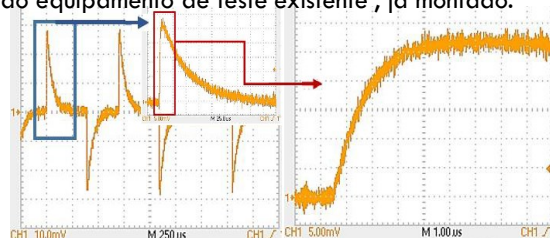
Calibração e teste do equipamento

23

- Equipamento existente em laboratório que constitui o sistema de medição e calibração



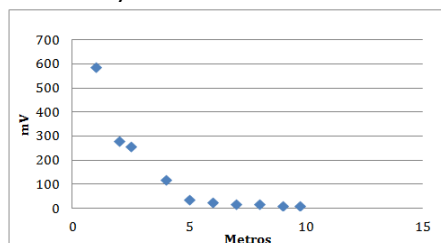
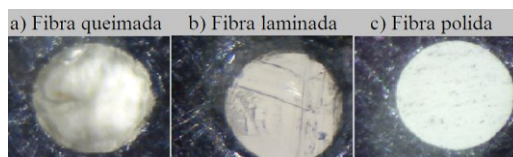
- Calibração do equipamento de teste existente, já montado.



Calibração e teste do equipamento

24

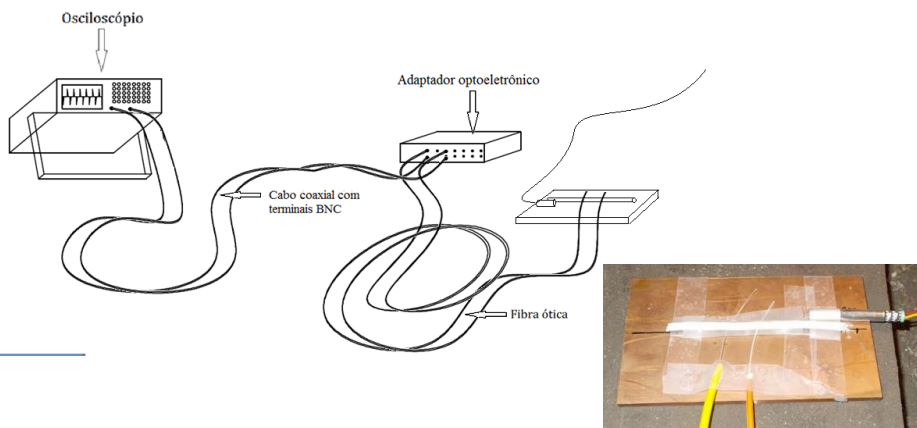
- Foram realizados testes para a validação dos componentes utilizados, como a medição da atenuação das fibras utilizadas e a validação do conetores embutidos na fibra Toray.
- Secção das fibras ópticas embutidas no conector SMA preparadas por diferentes métodos.
- Gráfico da potência emitida pela fibra "toray" consoante o aumento do seu comprimento.
- Medição da atenuação e perdas no revestimento da fibra Toray, para um mesmo tipo de processo de conexão SMA.



Medidas experimentais da detonação

25

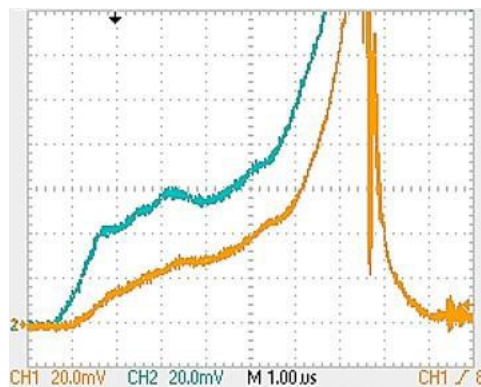
- Montagem utilizada para verificar qual das fibras ópticas de PMMA e sílica sofria menor atenuação, e qual o tempo de subida dos receptores.



Medidas experimentais da detonação

26

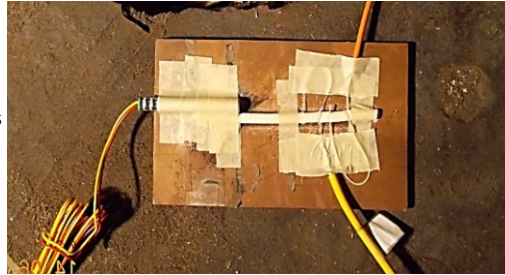
- A fibra óptica que melhor transmitiria a radiação emitida durante o fenômeno da detonação, foi a fibra de PMMA (traço azul), transmitindo assim melhor a radiação que as fibras de sílica (traço a amarelo).



Medidas experimentais da detonação

27

- Utilizando o mesmo método de montagem, mas colocando as fibras numa nova configuração (PMMA e sílica)

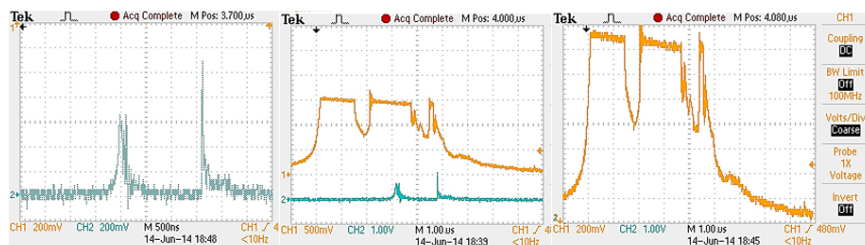


- Esta configuração permite medir o tempo entre emissões e o tempo de resposta dos sensores porque a fibra é embutida várias vezes no cordão.

Medidas experimentais da detonação

28

- O sinal obtido pelas fibras de PMMA (traço amarelo) comprova que a potência atingida por este tipo de fibras é maior do que as de sílica (traço azul).

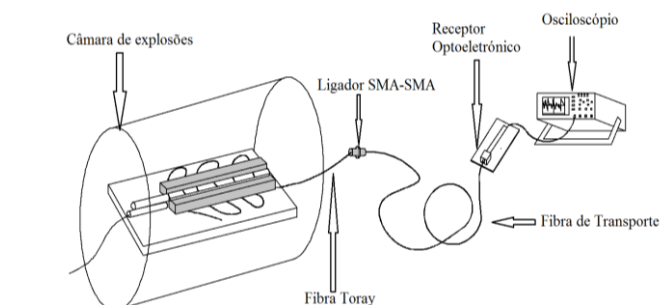


- A fibra de sílica apresenta um sinal curto com dois picos máximos, com uma subida e descida repentina, ou seja, com tempos de subida e descida curtos quando comparada com a fibra de PMMA.
- A fibra de PMMA arde saturando o sinal obtido (picos horizontais constantes)
- A fibra de sílica não parece ser afetada pelos produtos resultantes da passagem da frente de detonação, como acontece na fibra de PMMA.

Medidas experimentais da detonação

29

- Montagem da fibra óptica Toray, utilizando uma fibra de transporte (fibra da RS-Components) e o ligador SMA-SMA para eliminar as perdas que esta tinha.



- Comprovado que a utilização duas fibras ópticas diferentes apresentava menores perdas foi esta montagem utilizada durante todos os ensaios que envolvessem fibras ópticas Toray.

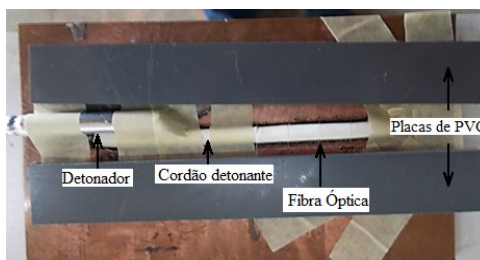
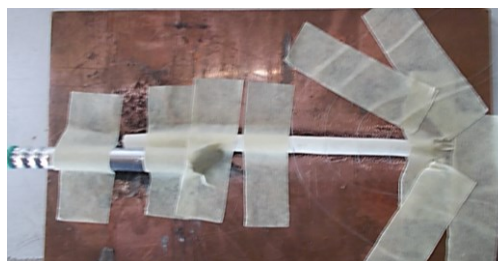
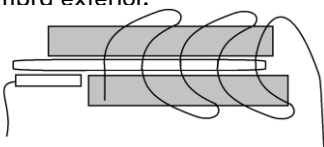
Medidas experimentais da detonação

30

- Foi necessário eliminar a saturação do sinal obtido.
- Este ocorre devido à emissão dos produtos resultantes da detonação do cordão detonante e da combustão da fibra.

Soluções:

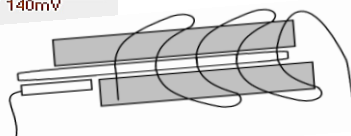
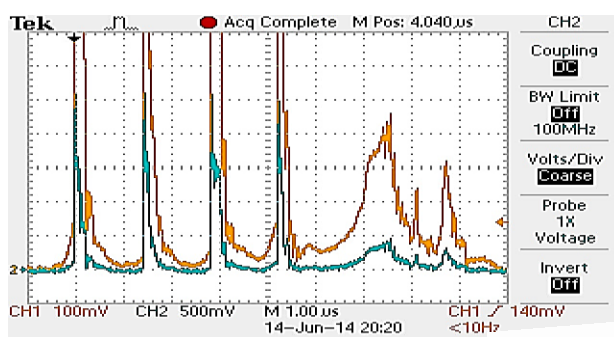
- Incliná-la no sentido da frente de detonação (evitando a acção dos produtos de detonação).
- Colocar placas de PVC envolvendo a fibra exterior.



Medidas experimentais da detonação

31

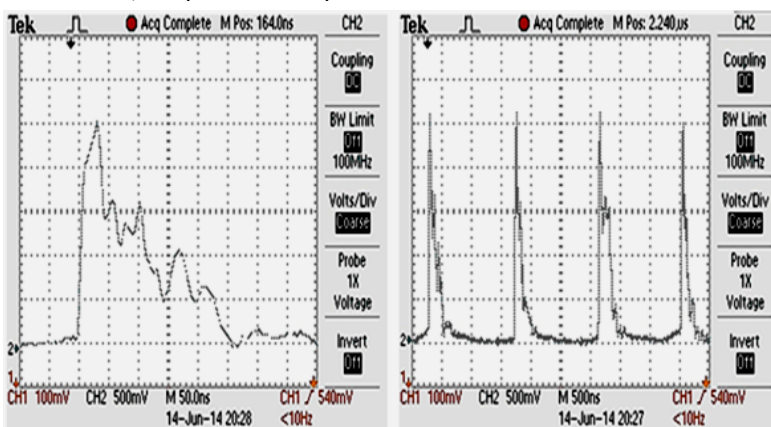
- Registos obtidos do sinal elétrico num ensaio com a montagem (fibra de transporte e Fibra Toray) embutida 4 vezes no cordão.



Medidas experimentais da detonação

32

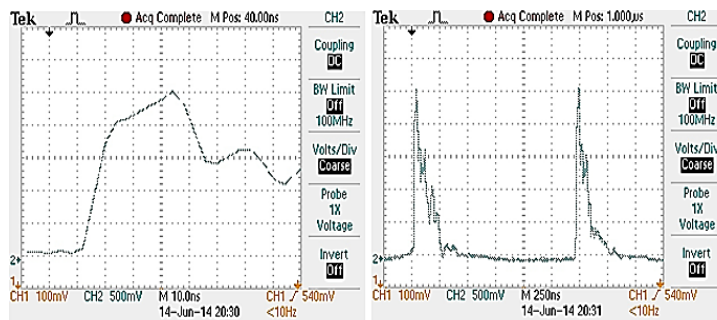
- O gráfico da direita mostra as quatro emissões de luz ocorridas pela passagem da frente de detonação, nos diferentes embutimentos da fibra no cordão, comprovando os pulsos luminosos.



Medidas experimentais da detonação

33

- O tempo de subida do receptor analógico utilizado é de 10 ns
- Deve-se medir os tempos entre emissões através das subidas verticais dos sinais
- A utilização futura de receptores digitais permite diminuir o erro de medida por terem um tempo de subida na ordem dos 3 ns



Discussão de resultados e conclusões

34

- No caso dos receptores analógicos ficou demonstrado que o receptor de sensibilidade máxima de 820 nm capta num espetro de radiação de 400 a 900 nm.
- Para fazer um bom conector SMA é necessário assegurar que a fibra está centrada no conector e que esta possui um bom acabamento na extremidade.
- Provou-se que é possível medir de forma precisa a velocidade de detonação com recurso a uma única fibra óptica embutida no cordão PETN.
- É desaconselhável usar este método de medida sem as placas de PVC para fibras plásticas porque estas impedem a fibra óptica de arder.

Discussão de resultados e conclusões

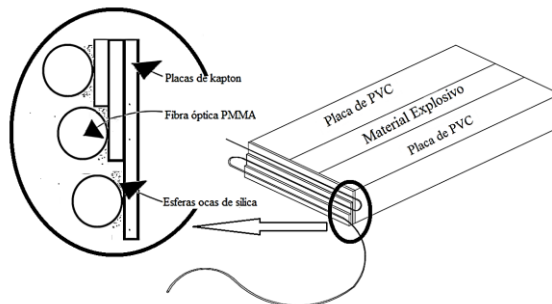
35

- A inclinação da fibra óptica no sentido da propagação da detonação foi outro fator determinante para o sucesso do método.
- O tempo de resposta do receptor digital é de 3 ns enquanto que o analógico é de 10 ns, logo quando é necessário uma maior precisão nos resultados deverá ser utilizado o receptor digital.
- Comprovou-se que é mais fiável e simples obter a velocidade de detonação com a utilização de receptores opto-eletronicos e a junção de duas fibras ópticas.

Trabalho futuro – medida da pressão de detonação

36

- A medida é baseada no intervalo de tempo que um material conhecido leva a ser atravessado por um choque induzido pela detonação de uma explosivo.
- Medição da pressão de detonação com folhas de kapton e esferas ocas de vidro.



- É necessário um osciloscópio com uma maior resolução temporal.

Obrigado pela atenção