



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0414089-3 B1

(22) Data do Depósito: 03/09/2004

(45) Data de Concessão: 24/01/2017



(54) Título: APARELHO PARA MEDIR A VELOCIDADE DAS PARTÍCULAS TRANSPORTADAS POR UM FLUIDO ESCOANDO ATRAVÉS DE UM TUBO

(51) Int.Cl.: G01P 5/26

(30) Prioridade Unionista: 03/09/2003 CA 2,439,242

(73) Titular(es): PHOTON CONTROL INC

(72) Inventor(es): DEREK MONTGOMERY; DARYL JAMES; DAVID YUE YAN

“APARELHO PARA MEDIR A VELOCIDADE DAS PARTÍCULAS
TRANSPORTADAS POR UM FLUIDO ESCOANDO ATRAVÉS DE
UM TUBO”

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

5 A presente invenção refere-se genericamente a dispositivos
de medição, para medir a velocidade do fluido escoando dentro de um tubo
e é tipicamente usada para determinar a taxa de volume do fluxo em
aplicações industriais, tais como o transporte de gás natural. Mais
especificamente, a invenção refere-se a um sistema óptico que focaliza dois
10 feixes de luz dentro do tubo, através de uma janela transparente na parede
de tubo, e detecta o tempo de retardo de vôo da luz dispersa por pequenas
partículas transportadas pelo fluido, quando as partículas passam de um
ponto focal para outro.

Em operações de encanamento e outros processos
15 industriais, os fluxômetros são usados para medir a taxa de fluxo de gases
ou fluidos movendo-se através do encanamento. Há muitos métodos
mecânicos para determinar a taxa de fluxo em tubos, incluindo placas
perfuradas, tubos de Pitot, medidores Venturi, medidores de vórtice,
medidores de efeito corioles, medidores de áreas variáveis, e medidores de
20 turbina, porém, geralmente, eles requerem que estruturas obstrutivas sejam
inseridas dentro do tubo, o que é indesejável em muitas aplicações porque
elas rompem o fluxo de fluido e criam uma queda de pressão. Além disso,
muitos sensores baseados em mecânica requerem que pressões gasosas ou
taxas de fluxo substanciais sejam obtidas para produzir um efeito
25 mensurável. Isto é problemático para algumas aplicações, em que a pressão
do reservatório é muito baixa, tal como produção de metano em leito de
carvão, ou quando o fluido é ventilado para a atmosfera ou um grande vaso
de armazenagem.

São também conhecidos medidores baseados em ultra-som,

que medem o efeito de Doppler da velocidade acústica dos feixes ultrassônicos, que são dirigidos diagonalmente ou ao longo do eixo geométrico do tubo. Muitos medidores ultra-sônicos requerem cavidades nas paredes do tubo para assentar os transdutores ultra-sônicos, o que é indesejável porque os contaminantes tendem a acumular-se nas cavidades. Longas seções de tubo são necessárias para acomodar os trajetos de feixe ultra-sônico, o que pode ser inconveniente e caro, especialmente para grandes diâmetros de tubo.

Outras versões de medidores de fluxo ultra-sônicos lançam ondas ultra-sônicas através da parede do tubo, empregando grampos em transdutores, porém a precisão do desempenho fica em desvantagem em pressões operacionais e baixas taxas de fluxo.

Técnicas ópticas para medir a taxa de fluxo dos fluidos em tubos são também bem conhecidas e geralmente situam-se em duas categorias. Os Anenômetros de Doppler a Laser utilizam um único laser coerente, que é dividido em dois feixes, que são dirigidos para intersectarem-se no ponto de medição. Os feixes de laser intersectantes criam um padrão de luz de interferência de faixas alternantes de luz e escuro, ao longo do eixo geométrico de fluxo do fluido. As partículas passando através da zona de medição espalham a luz, o que cria um sinal óptico variável periódico, cuja frequência de modulação é proporcional à velocidade da partícula. Esta técnica é útil quando medindo fluxos complexos, em que há partículas muito grandes dispersando-se, porém, em razão de a luz ser distribuída através de muitas máximas de intensidade, a eficiência de detecção é baixa e pequenas partículas não dispersam bastante luz para serem medidas eficazmente.

A velocidade dos fluidos pode também ser medida empregando-se uma técnica, geralmente referida como o método Laser-Two-Focus. Este sistema envolve um sistema de suprimento óptico, que

direciona a luz de um ou dois feixes de laser, para formar dois pontos de foco dentro do tubo, separados por uma distância conhecida ao longo do eixo geométrico do tubo. As partículas da corrente de fluido, que passa através dos dois pontos de foco, espalham a luz, que é dirigida para um

5 foto-detector por um sistema de coleta óptico. O sinal resultante consiste de curtos impulsos e, medindo-se o retardo de tempo entre pulsos adjacentes, a velocidade da partícula pode ser determinada. Em razão de a intensidade da luz distribuída ser concentrada em somente dois pontos, a sensibilidade do método Laser-Two-Focus é superior ao sistema Laser Doppler

10 Anemometer. Isto é importante em certos fluidos, tais como gás natural, que contém somente partículas muito pequenas, que são com frequência menores do que 1 micron de diâmetro.

A quantidade de luz dispersa por uma partícula em um dado ângulo depende de muitas variáveis, incluindo o tamanho, formato, qualidade

15 de superfície, transparência/opacidade, índice refrativo e condutividade das partículas. A combinação destes efeitos é muito complexa e teorias generalizadas, tais como a dispersão de Mie and Rayleigh não predizem os resultados mundiais reais precisamente, de modo que estudos empíricos sejam mais frequentemente usados para caracterizar sistemas específicos. A teoria

20 de Mye é útil, entretanto, na obtenção de um entendimento básico de tendências gerais do comportamento da dispersão. Por exemplo, ela prediz que a quantidade de luz dispersa por partículas muito pequenas (aproximando-se do comprimento de onda da luz incidente ou menor) é subtendida na maior parte dentro de um ângulo de dispersão para a frente

25 muito pequeno. A Figura 1 mostra que mais do que 90% da luz dispersa por uma gotícula transparente esférica, com um diâmetro igual a 6 comprimentos de onda de luz incidente, ocorrem dentro de um cone de ângulo para a frente de 10 graus.

A capacidade de um sistema óptico Laser Two Spot para

discriminar a luz dispersa por uma partícula depende não somente da quantidade de luz coletada pela óptica de detecção, mas também de como muita luz não dispersa é evitada de alcançar o detector. Por exemplo, qualquer luz que seja dispersa em um ângulo menor do que o cone de divergência da luz incidente não pode ser eficazmente detectada, porque o detector será cegado pela luz não dispersa. O contraste ou detectabilidade da luz espalhada é fundamentalmente limitado pela relação de contraste da luz dispersa detectada para a luz não dispersa detectada.

Os medidores de fluxo óptico de dois pontos de laser anteriores, tais como descritos pela patente US 6.128.072 por Kiel e outros, otimizam o contraste do sinal de dispersão de luz detectado, mudando o eixo geométrico óptico da óptica de coleta para longe do eixo geométrico de luz incidente. Isto minimiza o desvio do sinal causado pela luz não dispersa, porém somente uma pequena quantidade de luz dispersa é acoplada para dentro da abertura de coleta. Em alguns casos, tais como gás natural, onde o tamanho das partículas dispersando-se naturalmente ocorrentes é muito pequeno, isto pode ser um fator limitante e a relação de sinal para ruído sofrerá devido aos níveis de luz dispersa fracamente detectados.

Os anemômetros de dois pontos de laser são também sabidos caracterizarem o fluxo de partículas relativamente grandes (maiores do que 10 comprimentos de onda de luz incidente), tais como pós particulados ou aerossóis. A patente US 5.561.515 para Hairston e outros mostra um sistema para medir o tamanho e velocidade dos aerossóis ejetados por um bico, empregando-se o método de dois pontos de laser, com a abertura de coleta colinear com o eixo geométrico de feixe incidente. A luz não dispersa é bloqueada por um obscurecimento central, localizado no lado oposto da zona de medição, e a luz dispersa em ângulos maiores, que passa para dentro da abertura de coleta, é focalizada em um foto-detector. Em

razão de as partículas serem relativamente grandes nesta aplicação, a amplitude da luz detectada não é uma grande preocupação, de modo que um grande obscurecimento central possa ser usado sem sacrificar a sensibilidade.

- 5 Os sistemas ópticos descritos por Kiel e outros e Hairston e outros, caracterizam todos sistemas ópticos telecêntricos ou paralelos, que geram feixes de luz de suprimento, que são dirigidos perpendiculares à direção de fluxo. Isto é importante em algumas aplicações, particularmente quando o fluido é um gás sob alta pressão. A maioria dos gases de baixa
10 pressão têm um índice refrativo variando próximo da unidade, porém, em pressões de reservatório elevadas, maior densidade de gás causa um aumento significativo do índice refrativo, que muda o ângulo de refração óptica de qualquer luz passando para dentro do meio. Isto pode causar uma mudança tipo paralaxe no espaçamento entre os pontos de foco, se o eixo geométrico
15 óptico não for perpendicular ao eixo geométrico de fluxo, resultando em um erro de medição.

- Em alguns ambientes de medição de fluxo, tais como poços de gás natural, uma quantidade significativa de água, hidrocarbonetos líquidos, particulados e outros contaminantes pode depositar-se nas janelas ópticas e
20 degradar a eficiência da luz transmitida durante o tempo. Este problema não tem sido eficazmente tratado na técnica anterior para aplicações em que o aparelho de medição óptica é destinado a ser deixado em posição por longos períodos de tempo. As janelas ópticas são usadas em muitas outras aplicações de tubulação, particularmente visores, e há numerosos remédios que foram
25 desenvolvidos para permitir que as janelas sejam limpadas em vez em quando. É desejável, entretanto, desenvolver um sistema óptico que tanto resista a incrustação como seja tolerante às variações da eficiência de transmissão óptica.

Além disso, para muitas aplicações industriais, informações

sobre tamanho e formato das partículas fluindo dentro do tubo são altamente desejáveis para caracterizar e monitorar a qualidade do fluido no processo. Estes dados confirmam, por exemplo, a qualidade do meio de filtragem usado em uma usina de processamento de gás natural, condição das bombas e nível
5 de corrosão dos tubos. Dispositivos a laser especializados para medir o tamanho das partículas são conhecidos, porém seu uso tem sido largamente limitado a ambientes de laboratório controlados e eles não são considerados adequados para aplicações no campo, devido a sua sensibilidade a vibração e desalinhamentos.

10 SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Portanto, é um objetivo da invenção prover um dispositivo para determinar a velocidade de fluxo de um fluido dentro de um tubo, medindo-se o tempo de retardo de vôo da luz dispersa por pequenas partículas transportadas pelo fluido, de dois feixes de luz focalizados de luz alinhada ao
15 longo do eixo geométrico do tubo, com uma distância de separação conhecida entre eles.

É ainda outro objetivo da invenção fornecer um dispositivo medidor de fluxo de fluido, que possa ser inserido em um estreito vão de um tubo e tenha paredes lisas igualadas com o diâmetro interno das seções de
20 tubo unindo-se, de modo a não romper o fluxo do fluido dentro do tubo.

É também um objetivo da invenção maximizar a sensibilidade de detecção do sistema óptico. Mais especificamente, é um objetivo da invenção maximizar a eficiência da radiação dispersa detectada e minimizar a detecção da luz incidente não dispersa.

25 É também um objetivo da invenção prover um sistema óptico que possa compensar a incrustação das janelas ópticas das paredes de tubo, causada por um acúmulo de contaminantes transportados na corrente de fluido, monitorando a transparência das janelas e ajustando o ganho dos detectores ópticos.

É também um objetivo da invenção prover um sistema óptico que seja insensível às mudanças de índice refrativo dos gases transportados, que são comprimidos em elevadas pressões operacionais.

Ainda outro objetivo é prover um sistema óptico que possa
5 também caracterizar o tamanho e formato das partículas dispersando-se, transportada na corrente de fluido, pela medição da quantidade de luz dispersa em grandes ângulos em relação à quantidade de luz coletada através de pequenos ângulos para a frente.

Para alcançar estes e outros objetivos, é provido um aparelho
10 para medir a velocidade de pequenas partículas por um fluido ecoando através de um tubo. A medição da velocidade é mais comumente usada para determinar a velocidade de fluxo do fluido dentro do tubo. O aparelho inclui pelo menos uma fonte de luz e um primeiro sistema de lente óptico, para gerar dois feixes de luz e dirigir os feixes através de uma primeira janela da parede
15 de tubo, para formar um par de pontos focais dentro do volume do tubo, no mesmo local da seção transversal de tubo, porém separados ao longo de um eixo geométrico paralelo à direção de fluxo. Pequenas partículas transportadas na corrente de fluido, que se desloca ao longo de uma trajetória coincidente com os dois pontos focais, dispersa a luz em sucessão e o retardo de tempo
20 entre as ocorrências de dispersão é inversamente proporcional à velocidade das partículas.

Uma segunda janela é também provida na parede de tubo, aproximadamente oposta à primeira janela, por meio do que é provido meio para coletar uma parte da luz dispersa, que passa através da segunda abertura
25 de janela, e para dirigir a luz dispersa por meio de um segundo sistema de lentes óptico, para um dispositivo detector de luz. Para melhorar a integridade de detecção do sinal, dois dispositivos detectores de luz podem ser empregados no plano focal do segundo sistema óptico, cada um alinhado para aceitar a luz dispersa por um respectivo ponto de foco.

São também providos meios para bloquear a luz não dispersa, empregando-se um obscurecimento opaco, posicionado para interceptar os feixes na ou atrás da segunda janela, para evitar que a luz não dispersa alcance o detector. O obscurecimento é dimensionado para bloquear a maior
5 parte da ou toda a luz não dispersa, porém é menor do que a abertura da segunda janela, para maximizar o contraste da luz dispersa detectada.

O primeiro sistema óptico, primeira janela, segunda janela, obscurecimento opaco e segundo sistema óptico são aproximadamente centrados em um eixo geométrico óptico comum, que é aproximadamente
10 perpendicular à direção de fluxo do tubo. Os dois feixes de luz são dirigidos ao longo do mesmo eixo geométrico óptico comum, porém os pontos de foco são separados lateralmente nos planos focais por distância aproximadamente igual a partir do eixo geométrico central. O aparelho é ainda caracterizado
15 como tendo um eixo geométrico de tubo, que é paralelo à direção de fluxo, e um eixo geométrico transversal, que é perpendicular a tanto o eixo geométrico óptico como ao eixo geométrico de tubo. São também providos meios para reduzir a convergência do feixe da luz penetrando no tubo, no eixo
geométrico transversal, para alargar os pontos focais e apresentar uma seção transversal de dispersão maior para as partículas deslocando-se na corrente de
20 fluido.

Outros meios são providos para converter a luz detectada dentro dos sinais elétricos, que são aproximadamente proporcionais à intensidade da luz incidente. Quando uma partícula dispersa passa através de cada ponto focal, um pulso de luz é disperso e recebido pelo respectivo
25 detector e gera um pulso elétrico. São providos meios para eletronicamente determinar o retardo de tempo entre os pulsos elétricos, e a velocidade das partículas pode ser calculada se a distância entre os pontos focais for conhecido. Outros dispositivos são providos para determinar a taxa de fluxo, que é aproximadamente proporcional à velocidade das partículas.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Para mais uma apreciação do acima e de outros aspectos e vantagens da invenção, é feita referência à seguinte descrição detalhada e desenhos, em que:

5 A Figura 1 é um diagrama da eficiência da luz dispersa, em função do ângulo de dispersão para a frente de uma gotícula de óleo de 3 microns, empregando-se um comprimento de onda de luz de 650 nm;

 A Figura 2 é um diagrama de sistema, mostrando uma forma de realização preferida da presente invenção, com cabeça opto-mecânica
10 separada, montagem eletro-óptica conectada por um cabo de extensão de fibra óptica.

 As Figuras 3a e 3b são vistas em seção transversal, respectivamente perpendiculares ao eixo geométrico de tubo e ao longo do eixo geométrico óptico da parte de unidade de cabeça opto-mecânica da
15 presente invenção;

 As Figuras 4a e 4b são vistas em seção transversal, respectivamente ao longo do e perpendiculares ao eixo geométrico de tubo, mostrando o sistema óptico de suprimento da forma de realização preferida, exagerado em tamanho relativo à seção transversal de tubo, para maior
20 clareza;

 As figuras 5a e 5b são vistas em seção transversal, respectivamente ao longo do e perpendiculares ao eixo geométrico de tubo, mostrando o sistema óptico de coleta das formas de realização preferidas, exagerado em tamanho relativo à seção transversal de tubo, para maior clareza.

25 A Figura 6 é uma ilustração do formato do obscurecimento opaco que pode ser usado com a forma de realização preferida da presente invenção, consistindo de uma união entre uma tira retangular fina e um ponto central circular;

 As Figuras 7a e 7b são duas vistas da unidade de coleta de

referência óptica, consistindo de um refletor central e duas fibras de coleta de referência, dispostas em frente do obscurecimento opaco de uma forma de realização preferida da presente invenção;

A Figura 8 é um diagrama de sistema da presente invenção,
5 consistindo de cabeça opto-mecânica separada, unidade eletro-óptica e cabo de extensão, mostrando um diagrama em bloco dos circuitos de processamento eletrônicos e o fluxo de sinais usados para compensar as perdas de eficiência do sistema óptico.

As Figuras 9a e 9b são vistas em seção transversal,
10 respectivamente ao longo e perpendiculares ao eixo geométrico de tubo, mostrando uma forma de realização alternativa da presente invenção, consistindo de um aro modificado, com facetas polidas em ângulo, em relação ao eixo geométrico do sistema óptico, e uma única lente de acoplamento provida para focalizar os feixes de suprimento e manter os raios principais
15 paralelos com o eixo geométrico óptico, através da seção de tubo.

As Figuras 10a e 10b são vistas em seção transversal, respectivamente perpendiculares ao eixo geométrico de tubo e ao longo do eixo geométrico do sistema óptico, mostrando uma forma de realização alternativa da presente invenção, provendo um segundo sistema óptico de
20 coleta, para detectar a luz dispersa em grandes ângulos, de modo que a amplitude do sinal de luz detectado seja usado para determinar o tamanho da partícula dispersa;

E a Figura 11, mostrando uma forma de realização alternativa do sistema de coleta óptico mostrado nas Figuras 10a e 10b, onde o segundo
25 sistema óptico de coleta é colinear com o primeiro eixo geométrico do sistema óptico de coleta.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS FORMAS DE REALIZAÇÃO PREFERIDAS

É mostrado na Figura 3 um fluxômetro óptico, construído de

acordo com a forma de realização preferida, para determinar a taxa de fluxo de um fluido dentro de um tubo, medindo-se a velocidade as pequenas partículas transportadas pela corrente de fluido. O aparelho medidor de fluxo consiste de uma cabeça opto-mecânica 10 inserida entre flanges adjacentes 11 do tubo 12, uma unidade eletro-óptica 13, que contém duas fontes de luz laser 14, dois foto-detecutores de sinal de dispersão 54 e 55 e circuitos eletrônicos de processamento 15, e um conduto de cabo de extensão de fibra óptica 16, que conecta a unidade eletro-óptica 13 à cabeça opto-mecânica 10. Nesta configuração, a unidade eletro-óptica 13 pode ser localizada remotamente, de modo que potenciais elétricos não estejam presentes na cabeça opto-mecânica 10, o que é desejável quando o fluido passando através do tubo pode ser inflamado por faíscas ou curtos-circuitos, tais como gás natural. Além disso, as terminações de fibra óptica na cabeça opto-mecânica 10 são compactadas, robustas e dimensionalmente estáveis, porque elas são removidas da carga térmica dos componentes eletrônicos e das fontes de luz.

A cabeça opto-mecânica 10 da forma de realização preferida, mostrada mais detalhadamente nas Figuras 3a e 3b, consiste de um alojamento de placa rígida 17, que pode ser preso entre os flanges da tubulação, com um furo central 18 tendo um diâmetro aproximadamente igualado com o diâmetro interno de tubo e, assim, formando uma passagem selada contígua para o fluido escoar através, sem ruptura. O furo central 18 contém duas janelas 19 e 20: a janela de suprimento 19 permite que os feixes de luz de suprimento 21 e 22 penetrem no furo central 18; e a janela de coleta 20, no lado oposto do furo central 18, permite que tanto os feixes de luz não dispersa 23 e 24 e feixes de luz dispersa 25 e 26 passem para dentro da abertura de coleta 27. Na forma de realização preferida, ambas as janelas 19 e 20 são conformadas para igualar a curvatura cilíndrica do furo central 18, para formar uma superfície contínua lisa, para minimizar o rompimento do fluxo de fluido e reduzir o acúmulo de contaminantes, que podem estar presentes na corrente de fluido. Em mais uma

forma de realização da invenção, uma extensão de tubulação opticamente transparente, com um diâmetro interno aproximadamente igualado ao diâmetro interno da parede de tubo, pode ser inserida dentro do furo central 18 da placa de alojamento 17, para selar o fluxo de fluido e permitir que luz
 5 passe para dentro e para fora do fluxo de tubo.

O sistema de lente de suprimento 28 é contido em um furo de lente de suprimento 29 do alojamento de placa opto-mecânica 17, estendendo-se radialmente da abertura de janela de suprimento 30 para o perímetro externo. O sistema de lente de suprimento 28 é tipicamente alojado em um
 10 alojamento mecânico tubular 31 e coletivamente estabelece um eixo geométrico óptico 32 para o sistema. O sistema de lente de suprimento 28 é mostrado nas Figuras 4a e 4b exagerado em tamanho em relação à seção transversal de tubo, para maior clareza. Duas fibras ópticas de suprimento 33 e 34 são terminadas em um aro de duplo furo 35 e afastadas igualmente de e
 15 em lados opostos do eixo geométrico óptico 32. O aro 35 é girado em torno do eixo geométrico óptico 32, de modo que as pontas de ambas as fibras 33 e 34 fiquem alinhadas com o eixo geométrico de tubo 36. Os feixes de luz de suprimento 21 e 22 divergem das fibras ópticas de suprimento 33 e 34 e são aproximadamente paralelos com o eixo geométrico óptico 32. Os feixes de luz
 20 de suprimento 21 e 22 são colimados pela lente de acoplamento de fibra 37 e então focalizados pela lente objetiva de suprimento 38, através da janela de suprimento 19, para formar dois pontos focais primários 39 e 40, dentro do furo central 18, separados ao longo do eixo geométrico de tubo 36. A distância de separação entre os pontos focais primários 39 e 40 é determinada
 25 selecionando-se as extensões focais da lente de acoplamento de suprimento 37 e lente objetiva 38, de acordo com a seguinte fórmula:

$$D = d_d * f_{do}/f_{dc}$$

onde D é a separação axial entre os pontos focais do tubo; d_c é a separação axial entre as fibras ópticas 33 e 34; f_{do} é o comprimento focal da

lente objetiva de suprimento 38; e f_{dc} é o comprimento focal da lente de acoplamento de suprimento 37.

Na forma de realização preferida, a separação do trajeto óptico entre a lente de acoplamento de suprimento 37 e a lente objetiva 38 é
 5 selecionada para ser igual à soma de seus comprimentos focais. Isto forma o que é referido na técnica como um sistema óptico telecêntrico, o que significa que o raio principal do plano focal permanece paralelo ao eixo geométrico óptico. Os feixes de luz de suprimento 21 e 22 são projetados ao longo dos eixos geométricos paralelos com o eixo geométrico do sistema óptico 32 e
 10 perpendiculares ao eixo geométrico de tubo 36, bem como à superfície da janela de suprimento 19, como mostrado na Figura 4a. Isto é importante em aplicações em que o índice refrativo de um gás compressível, tal como gás natural, varia, dependendo da pressão interna. No caso de um sistema não-telecêntrico, a separação entre os pontos focais mudaria devido ao paralaxe
 15 causado pela mudança de índice refrativo do fluido compressível, resultando em um erro de medição de velocidade.

Com referência à Figura 4a, uma lente cilíndrica 41 é disposta dentro do sistema de suprimento óptico 28, para mudar o foco de feixe para longe dos pontos focais primários 39 e 40, para formar dois focos de linha
 20 secundários 42 e 43, ao longo do eixo geométrico do sistema óptico 32. Isto tem o efeito de aumentar a largura do feixe nos pontos focais primários 39 e 40 em duas lâminas de luz e, assim, aumentar a área de seção transversal que intercepta o fluxo de fluido na zona de medição da velocidade. Na forma de realização preferida, o comprimento focal da lente cilíndrica 41 é escolhido de
 25 modo que os dois feixes formem dois focos lineares colineares 42 e 43 em um ponto comum do eixo geométrico do sistema óptico 32, localizado na ou atrás da superfície da janela coletora 20.

Nos focos secundários 42 e 43, a área de seção transversal dos feixes de suprimento não dispersos incidentes 23 e 24 é mínima. Um

obscurecimento opticamente opaco 44, aproximando-se de um formato retangular, dimensionado para ser ligeiramente maior do que o perfil de feixe não disperso no plano focal secundário, é posicionado para interceptar a maior parte ou todos os feixes de suprimento não dispersos 23 e 24. Isto permite que
 5 uma quantidade máxima de luz dispersa penetre na abertura de coleta não obscurecida 27, para otimizar a sensibilidade de detecção do sinal óptico. Mais especificamente, a extensão mínima do perfil de feixe, subtendido pela dimensão estreita do obscurecimento opaco retangular 44, permite que os menores possíveis ângulos de luz dispersa 25 e 26 penetrem na abertura de
 10 coleta 27, sem desvio dos feixes não dispersos 23 e 24.

Com referência novamente às Figuras 3a e 3b, o sistema de lente de coleta 45 da forma de realização preferida, é contido em um furo de lente de coleta 46, oposto ao e aproximadamente colinear com o furo de lente de suprimento 29, estendendo-se radialmente da abertura de janela de coleta
 15 27 para o perímetro externo do alojamento de placa opto-mecânica 17. Com referência às Figuras 5a e 5b, o sistema de lente de coleta 45, mostrado exagerado em tamanho em relação à seção transversal de tubo para maior clareza, consiste de uma lente objetiva 47 e uma lente de acoplamento de coleta de fibra 48. Os feixes de luz dispersa 25 e 26, penetrando na abertura
 20 de coleta 27, são focalizados em duas fibras ópticas de coleta de dispersão correspondentes 49 e 50, posicionadas no ponto focal e correspondendo a cada um dos pontos focais primários 39 e 40 do furo central 18. Os diâmetros de furo das fibras de coleta de dispersão 49 e 50 são dimensionados para aceitar uma parte substancial dos feixes de luz dispersa 25 e 26, gerados pelos
 25 pontos através da largura da lâmina de luz da zona de medição de velocidade, como determinado pela seguinte fórmula:

$$W = W_c * f_{co}/f_{cc}$$

em que W é a largura do campo de dispersão de aceitação dos pontos focais primários 39 e 40; W_c é o diâmetro do núcleo das fibras ópticas

de coleta de dispersão 49 e 50; f_{co} é o comprimento focal da lente objetiva de coleta 47; e f_{cc} é o comprimento focal da lente de acoplamento de coleta 48.

A profundidade de foco do sistema óptico, que determina o comprimento da zona de medição de velocidade ao longo do eixo geométrico do sistema óptico 32, é afetada tanto pelo comprimento do estreitamento de feixe dos feixes de luz de suprimento 21 e 22 e pela profundidade do foco do sistema de lente de coleta 45. Ambos os parâmetros podem ser ajustados pela seleção das lentes, de acordo com as restrições providas acima, porém há limites impostos pelo tamanho físico dos componentes e dimensões do alojamento. A profundidade de foco provida pelo sistema óptico é também afetada pelo tamanho e formato do obscurecimento opaco 44. Em alguns casos, é desejável reduzir a profundidade do foco do sistema de lente de coleta 45, para restringir mais a extensão da zona de medição de dispersão, ao longo do eixo geométrico óptico 32. Isto pode ser conseguido aumentando-se o tamanho da obstrução opaca 44 no centro do eixo geométrico óptico 32, resultando em um formato consistindo de uma parte de tira retangular sobreposta com um ponto central circular, como mostrado na Figura 6.

Em mais uma forma de realização preferida, um segundo par de fibras de coleta de referência 51 e 52 é posicionado diretamente em frente do obscurecimento opaco 44 e são providos meios para acoplar luz dos feixes de luz não dispersos 23 e 24, como mostrado nas Figuras 7a e 7b. Um refletor central 53 é posicionado no centro do obscurecimento 44, que dirige uma parte de cada feixe de luz não dispersa incidente 23 ou 24 para dentro de uma correspondente fibra de referência 51 ou 52, que são, por sua vez, dirigidas para trás da dimensão longa do obscurecimento opaco conformado em tira retangular 44 e para fora da abertura perimétrica do furo de lente de coleta 46. O nível de sinal gerado pelos feixes de luz não dispersa 23 e 24, acoplado dentro das fibras de referência 51 e 52, pode ser usado para monitorar a resistência total da luz incidente, que pode degradar-se durante o tempo, por

causa de um acúmulo de contaminantes incrustando-se nas janelas ópticas 19 (não mostradas) e 20, ou devido a variações da intensidade da fonte de luz.

Com referência à Figura 8, as fibras de coleta de dispersão 49 e 50 e fibras de coleta de referência 51 e 52, são reunidas com as fibras de suprimimento 33 e 34 e embainhadas em um conduto de cabo de extensão comum 16, conectado à unidade opto-eletrônica 11, que pode ser localizada a alguma distância da cabeça opto-mecânica 10. As fibras de coleta 49 e 50 e 51 e 52 são acopladas a correspondentes foto-detectors de sinal de dispersão 54 e 55 e foto-detectors de sinal de referência 56 e 57. A luz acoplada dentro das fibras de coleta de dispersão 49 e 50 e transmitida para os detectors de sinal de dispersão 54 e 55, gera pulsos elétricos quando as partículas passam através da zona de medição de velocidade, e componentes eletrônicos de processamento 15 são providos para determinar o tempo de retardo de vôo, correlacionando-se os sinais elétricos dos dois detectors de dispersão 54 e 55. Os sinais de referência gerados pelos detectors de referência 56 e 57 podem ser usados para ajustar o ganho do circuito detector de dispersão 60, para compensar a perda de sinais ópticos devida à incrustação das janelas ópticas 19 e 20.

Em uma forma de realização alternativa da invenção, mostrada nas Figura 9a e 9b, o sistema de lente de suprimimento telecêntrico 28 provê uma lente de acoplamento de suprimimento 61 (pode ser uma lente composta) e um aro modificado 62 com duas facetas 63 e 64, polido na face do aro 62 e inclinado igualmente afastando-se do eixo geométrico do sistema óptico 32. Os feixes de luz de suprimimento resultantes 21 e 22 são refratados em um ângulo quando eles deixam as fibras ópticas de suprimimento 33 e 34 e cruzam através do eixo geométrico óptico 32, em uma distância em frente da lente de acoplamento de suprimimento 61 igual a seu comprimento focal, assim gerando o mesmo alinhamento telecêntrico com uma configuração óptica mais compacta.

Com referência também à Figuras 9a e 9b, uma lente de

acoplamento de suprimento cilíndrico 65 pode também ser adicionada ao sistema de lente de suprimento 28, disposto após o aro de fibra 62, para colimar os feixes de luz de suprimento 21 e 22 nos eixos geométricos transversais. Isto permite controle independente da largura da lâmina de luz nos pontos de foco primário 39 e 40, selecionando-se o comprimento focal da lente de suprimento cilíndrica 65. O comprimento focal da lente objetiva cilíndrica 41 deve também ser encurtado (lente negativa) para compensar a mudança focal introduzida pela lente de suprimento cilíndrica 65, de modo que os focos secundários 42 e 43 permaneçam coincidentes com o plano de obscurecimento opaco 44.

Em outra forma de realização da invenção, mostrada nas Figuras 10a e 10b, um sistema de lente de coleta 66 é disposto atrás de uma terceira a nela óptica 67 de um terceiro furo 68 do alojamento de placa optomecânica 17, mostrado em um ângulo perpendicular ao eixo geométrico do sistema óptico 32 dos sistemas de lente de suprimento e de coleta primária 28 e 45. O sistema de lente de coleta secundária 66 não incorpora quaisquer obscurecimentos ou fibras de referência, porém, por outro lado, pode ser idêntico ao sistema de lente de coleta primária 45. Um par secundário de fibras de coleta 69 e 70 é disposto para aceitar a luz dispersa acoplada dentro da abertura de coleta secundária 71, conectada a um segundo par de fotodetectores de medição (não mostrados). A quantidade de luz dispersa em ângulos grandes, pra longe do eixo geométrico do sistema óptico 32, é fortemente dependente do tamanho das partículas dispersando-se, de modo que, medindo-se a relação das intensidades do sinal de luz, informações acerca do tamanho das partículas dispersando-se, transportadas pela corrente de fluido, podem ser determinadas.

Ainda outra forma de realização da invenção, mostrada na Figura 11, provê um segundo sistema de lente de coleta 72, com uma abertura 73 maior do que a abertura do primeiro sistema de coleta 27 e ambos os

sistemas são dispostos colinearmente. O segundo sistema de lente de coleta 72 coleta a luz que é dispersa em ângulos maiores dentro de um ângulo sólido, definido pela diferença entre as aberturas 73 e 27 de ambos os sistemas. A comparação da quantidade de luz coletada por cada sistema fornece

5 informações acerca do tamanho e formato das partículas.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para medir a velocidade das partículas transportadas por um fluido escoando através de um tubo, caracterizado pelo fato de compreender:

5 (a) pelo menos uma fonte de luz e meios para gerar dois feixes de luz separados;

(b) um primeiro dispositivo na parede de tubo para conter o fluxo de fluido dentro do tubo e permitir que os feixes de luz penetrem no volume interno de tubo;

10 (c) um sistema de suprimento óptico telecêntrico tendo uma abertura única e um eixo geométrico óptico único, que dirige ditos dois feixes de luz através de dito primeiro dispositivo na parede de tubo, de modo que os feixes formem dois pontos focais dentro do tubo, alinhados aproximadamente na mesma posição dentro da seção transversal de tubo, porém em diferentes
15 pontos ao longo do eixo geométrico de tubo, com uma separação conhecida entre eles;

(d) um segundo dispositivo na parede de tubo, disposto no lado da parede de tubo oposto ao primeiro dispositivo na parede de tubo, para conter o fluxo de fluido dentro do tubo e permitir que a luz deixe o volume
20 interno do tubo;

(e) pelo menos um dispositivo detector de luz de medição, para detectar a luz dispersa pelas partículas transportadas pelo fluido e convertendo a amplitude de luz detectada, variável em tempo, em um sinal eletrônico de medição correspondente;

25 (f) um sistema de coleta óptico, tendo um eixo geométrico óptico que é substancialmente colinear com o eixo geométrico óptico de dito sistema de suprimento óptico, que coleta a luz dispersa pelas partículas transportadas no fluxo de fluido dentro de um primeiro ângulo sólido subtendido por ditos pontos focais, e focaliza dita luz dispersa sobre dito

dispositivo detector de luz de medição;

(g) um obscurecimento opaco para absorver a luz não dispersa, disposto no eixo geométrico óptico, após ditos pontos focais, dito obscurecimento subtendendo um segundo ângulo sólido de ditos pontos focais, que é menor do que dito primeiro ângulo sólido, de modo que dita luz dispersa, que passa através da parte não obscurecida de dito primeiro ângulo sólido, alcance o dispositivo detector de luz de medição; e

(h) dispositivo de processamento eletrônico, que recebe ditos sinais eletrônicos de medição, detectados pelo dispositivo detector de luz, em que ditos sinais eletrônicos de medição são processados para determinar o tempo de retardo de voo das partículas passando através dos dois pontos focais, e ainda dispositivo para calcular a velocidade das partículas ou taxa de fluxo do fluido.

2. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o sistema de suprimento óptico telecêntrico compreende uma lente de focalização tendo um comprimento focal e em que as duas fibras ópticas têm duas facetas nas extremidades das mesmas, as duas facetas sendo inclinadas igualmente afastadas do eixo óptico do sistema de suprimento para refletir por refração ditos feixes de luz na direção do eixo óptico do sistema de suprimento para intersectar o eixo geométrico óptico na frente da lente de focalização a uma distância igual ao comprimento focal da lente de focalização.

3. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a fonte de luz consistir de um ou mais lasers.

25 4. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o meio detector de luz consistir de uma fibra óptica acoplada a um foto-detector.

5. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o meio detector de luz incluir um primeiro e um segundo campo

detector de luz, alinhados de modo que a luz dispersa de um primeiro de ditos dois pontos focais seja acoplada ao primeiro campo detector de luz e a luz dispersa de um segundo de ditos dois pontos focais seja acoplada ao segundo campo detector de luz.

5 6. Aparelho de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de o dispositivo detector de luz incluir uma primeira fibra óptica de coleta acoplada ao primeiro dispositivo detector de luz e uma segunda fibra óptica de coleta acoplada ao segundo dispositivo detector de luz.

10 7. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de os eixos geométricos ópticos de dito sistema de suprimento óptico e dito sistema de coleta óptico serem substancialmente perpendiculares à direção de fluxo.

15 8. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o raio principal de cada um de ditos feixes de luz ser substancialmente perpendicular ao eixo geométrico de dito tubo, de modo que os raios principais não se desviem se o índice refrativo do fluido mudar.

20 9. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de um alojamento mecânico, com um furo central substancialmente igualando em tamanho e formato a seção transversal do tubo, é inserido dentro da tubulação e unido às seções do tubo dianteira e traseira, de modo a formar uma passagem selada e contínua para o fluido atravessar, dito alojamento mecânico incorporando ditos primeiro e segundo dispositivos na parede de tubo, dito sistema de suprimento óptico e dito sistema de coleta óptico.

25 10. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de os primeiro e segundo dispositivos na parede de tubo compreendem primeira e segunda janelas ópticas transparentes tendo superfícies internas substancialmente cilíndricas, substancialmente igualadas à superfície da parede interna do tubo.

11. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de os primeiro e segundo dispositivos na parede de tubo compreendem um comprimento de tubulação transparente, com um diâmetro interno igualado ao diâmetro interno do tubo, para conter o fluido dentro do tubo e permitir que luz passe para dentro, oriunda do sistema de suprimento óptico, e através do sistema de coleta óptico.

12. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o sistema de suprimento óptico incluir dispositivo de lente óptico cilíndrico, para expandir a largura dos pontos focais no plano da seção transversal do tubo.

13. Aparelho de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de o dispositivo de lente cilíndrica gerar um foco secundário em um plano de obscurecimento opaco, de modo que os feixes formem um par de segmentos de linha focal colineares paralelos com o eixo geométrico do tubo e passem através do centro do eixo geométrico do sistema óptico.

14. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de serem providos meios para interceptar uma parte da luz não dispersa, em frente da obstrução opaca, porém atrás da segunda janela óptica, e acoplar a luz interceptada em pelo menos um dispositivo detector de referência e utilizar o nível de sinal detectado a partir da luz interceptada para ajustar o ganho do dispositivo detector de luz de medição para compensar as variações na intensidade da luz incidente.

15. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de um segundo sistema de coleta óptico ser provido, com um segundo eixo geométrico de coleta, no mesmo plano do eixo geométrico óptico de suprimento e do primeiro eixo geométrico de coleta, e intersectar os pontos focais, em que a luz dispersa pelas partículas na corrente de fluido é acoplada a um segundo dispositivo detector de luz para produzir segundos sinais de luz detectados, para fins de analisar pelo menos um de tamanho e

formato das partículas deslocando-se na corrente de fluido, pela comparação da relação das amplitudes dos primeiros sinais de luz detectados com os segundos sinais de luz detectados.

16. Aparelho de acordo com a reivindicação 15, caracterizado
5 pelo fato de dito eixo geométrico de dito segundo sistema de coleta óptico ser substancialmente colinear com dito primeiro eixo geométrico de coleta óptica e em que dito segundo sistema de coleta óptico tem uma maior abertura óptica do que dito primeiro sistema de coleta óptico, que permite que a luz dispersa seja coletada em ângulos dispersos maiores.

10 17. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado
pelo fato de dito sistema de suprimento óptico telecêntrico incluir dispositivo de lente óptico cilíndrico para expandir a largura dos pontos focais no plano da seção transversal do tubo e para gerar focos secundários em um plano de dito obscurecimento opaco, de modo que os feixes formem um par de segmentos de
15 linha focal colineares paralelos ao eixo geométrico do tubo e passando através do centro do eixo geométrico óptico.

18. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado
pelo fato de dita fonte de luz ser compreendida de um ou mais lasers.

19. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado
20 pelo fato de dito dispositivo detector de luz ser compreendido de uma fibra óptica acoplada a um foto-detector.

20. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado
pelo fato de dito dispositivo detector de luz incluir um primeiro e segundo campos detectores de luz, alinhado de modo que a luz dispersa de um
25 primeiro de ditos dois pontos focais seja acoplada ao primeiro campo detector de luz, e a luz dispersa de um segundo de ditos dois pontos focais seja acoplada ao segundo campo detector de luz.

21. Aparelho de acordo com a reivindicação 20, caracterizado
pelo fato de o dispositivo detector de luz compreender uma primeira fibra

óptica acoplada a um primeiro dispositivo detector de luz e uma segunda fibra óptica de coleta acoplada a um segundo dispositivo detector de luz.

22. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que os eixos geométricos ópticos de dito sistema de suprimento
5 óptico e dito sistema de coleta óptico são substancialmente perpendiculares à direção do fluxo.

23. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que um raio principal de cada um dos ditos dois feixes de luz é substancialmente perpendicular ao eixo de dito tubo, de modo que os raios
10 principais não desviem se o índice de refração do fluido mude.

24. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que um alojamento mecânico com um furo central substancialmente igualado em tamanho e formato à seção transversal do tubo, é inserido na tubulação e igualado às seções de tubo frontal e traseira de modo
15 a formar uma passagem contínua e selada para o fluido escoar através da mesma, dito alojamento mecânico incorporando ditos primeiro e segundo dispositivos na parede de tubo, dito sistema de suprimento óptico e dito sistema de coleta óptico.

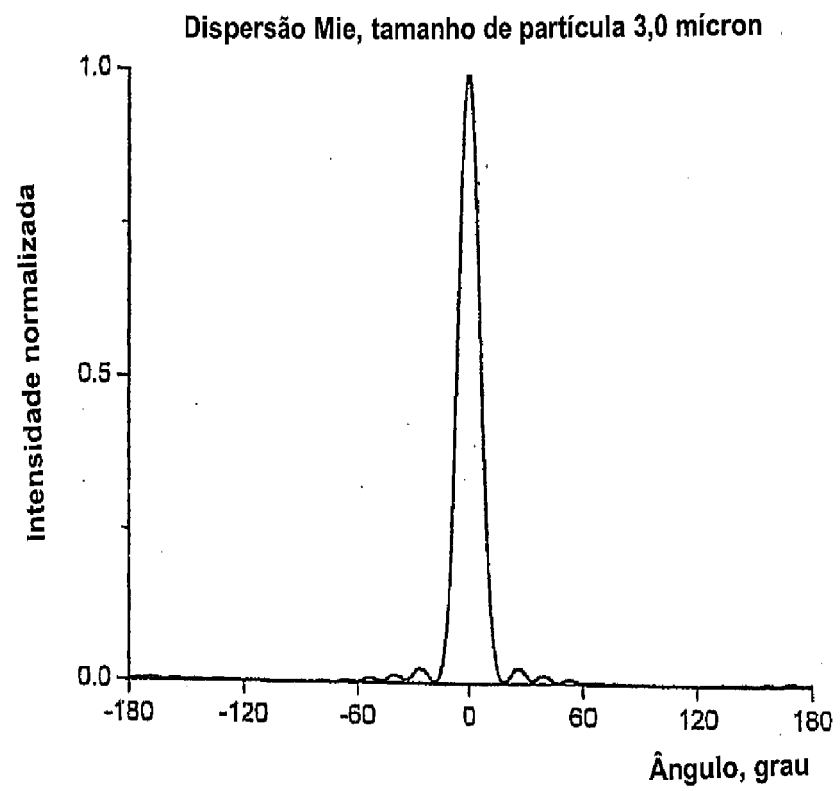
25. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que primeiro e segundo dispositivos na parede de tubo compreende primeira e segunda janelas ópticas transparentes tendo superfícies internas substancialmente cilíndricas, substancialmente igualadas à superfície da parede de tubo interna.

26. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que o primeiro e segundo dispositivos na parede de tubo compreendem um comprimento de tubulação transparente, com um diâmetro interno igualado com o diâmetro interno do tubo para conter o fluido dentro do tubo e permitir a luz passar para dentro do sistema de suprimento óptico e através do sistema de coleta óptico.

27. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que os dispositivos são providos para interceptar uma porção da luz não dispersa, na frente da obstrução opaca mas atrás da segunda janela óptica, e acoplar a luz interceptada em pelo menos um dispositivo detector de
5 referência, e usar o nível do sinal detectado da luz interceptada para ajustar o ganho do dispositivo detector de luz de medição para compensar as variações na intensidade da luz incidente.

28. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de um segundo sistema de coleta óptico ser provido, com um
10 segundo eixo geométrico de coleta, no mesmo plano do eixo geométrico óptico de suprimento e do primeiro eixo geométrico de coleta, e intersectar os pontos focais, em que a luz dispersa pelas partículas na corrente de fluido é acoplada a um segundo dispositivo detector de luz para produzir segundos sinais de luz detectados, para fins de analisar pelo menos um de tamanho e
15 formato das partículas deslocando-se na corrente de fluido, pela comparação da relação das amplitudes dos primeiros sinais de luz detectados com os segundos sinais de luz detectados.

29. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de dito eixo geométrico de dito segundo sistema de coleta óptico ser
20 substancialmente colinear com dito primeiro eixo geométrico de coleta óptica e em que dito segundo sistema de coleta óptico tem uma maior abertura óptica do que dito primeiro sistema de coleta óptico, que permite que a luz dispersa seja coletada em ângulos dispersos maiores.

**Figura 1**

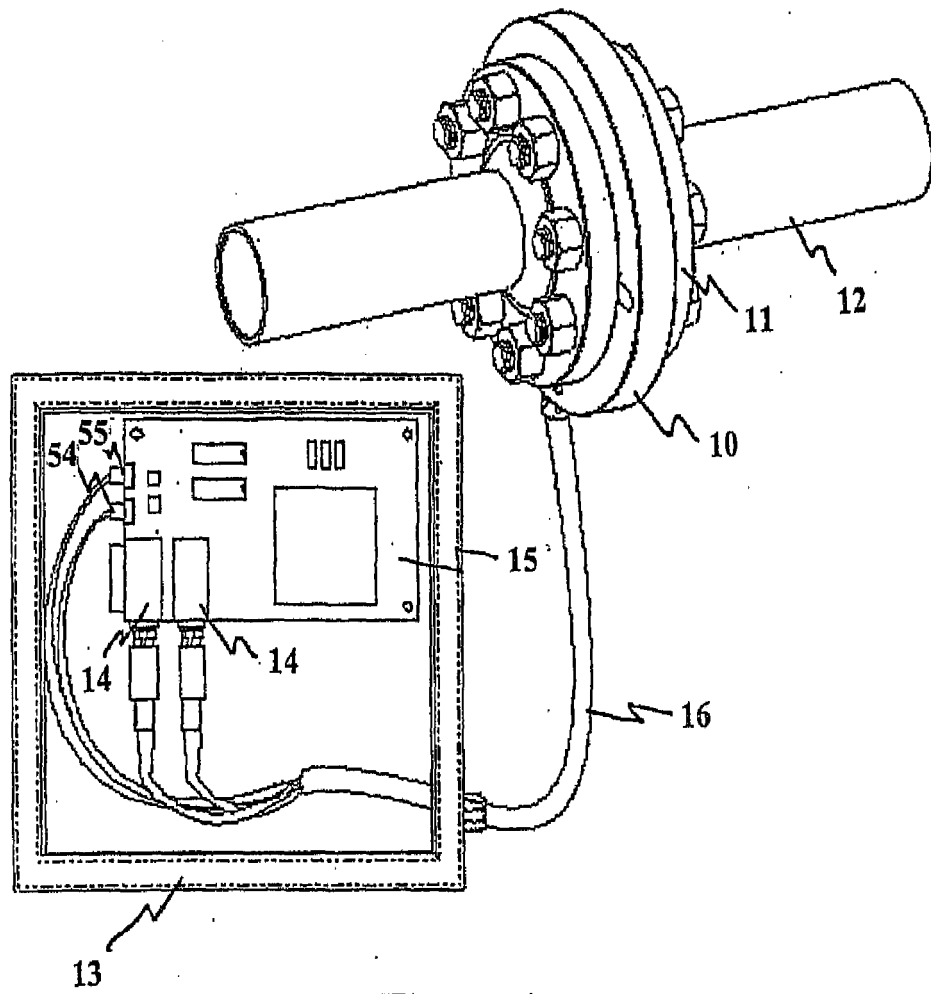


Figura 2

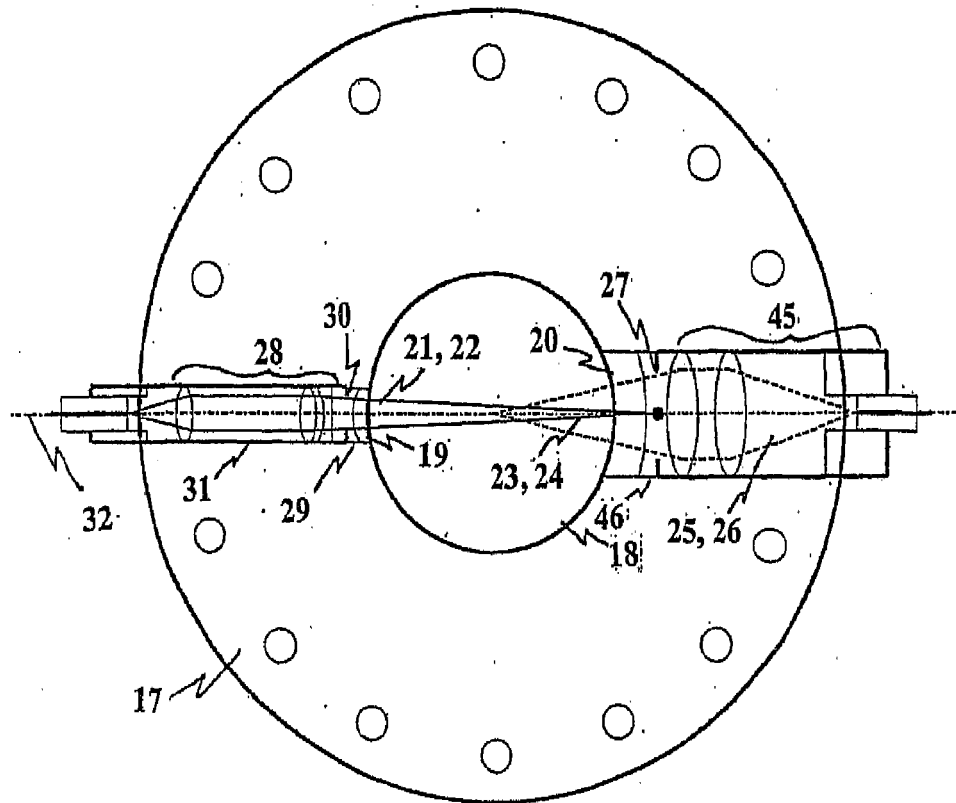


Figura 3a

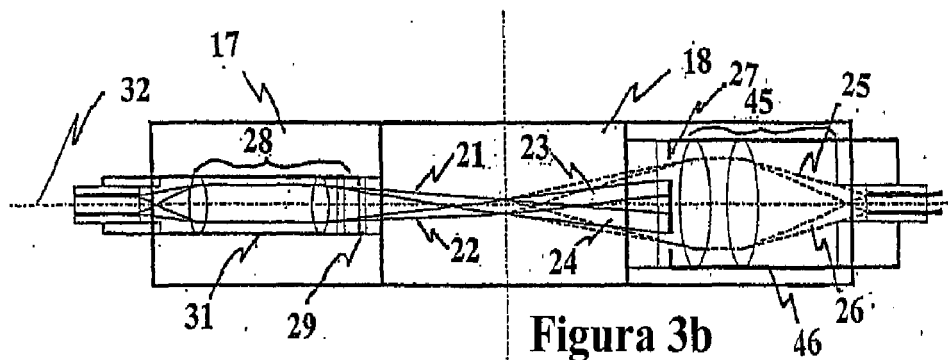
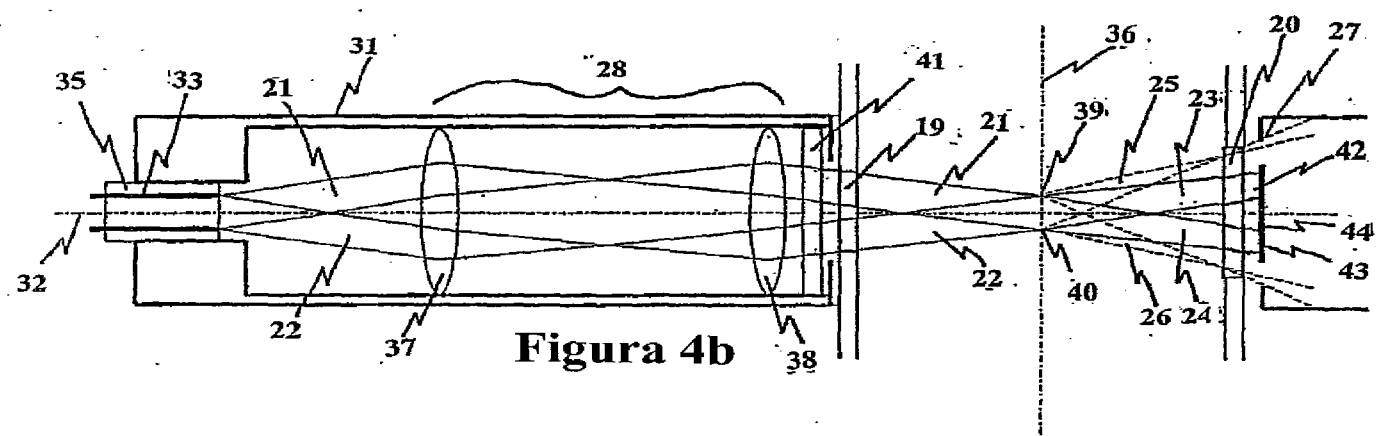
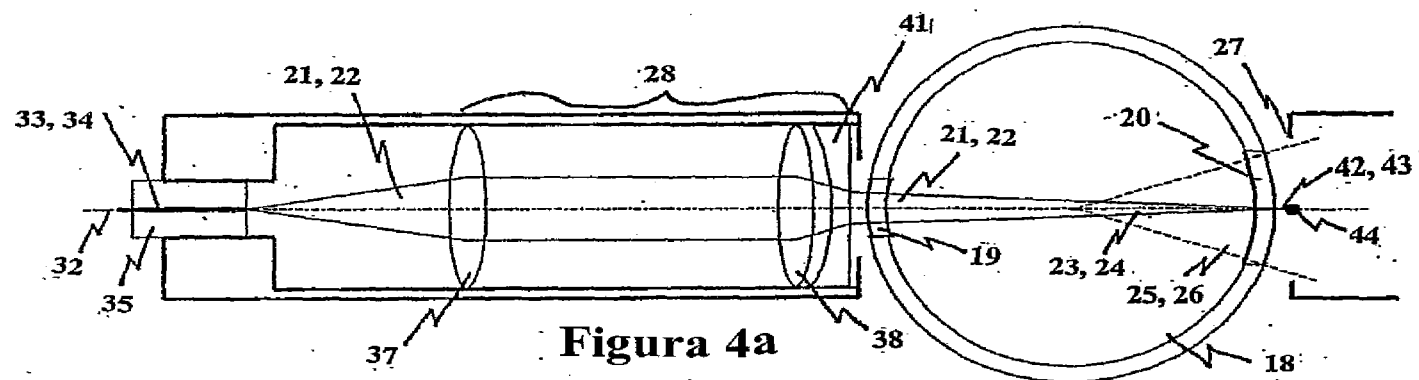


Figura 3b



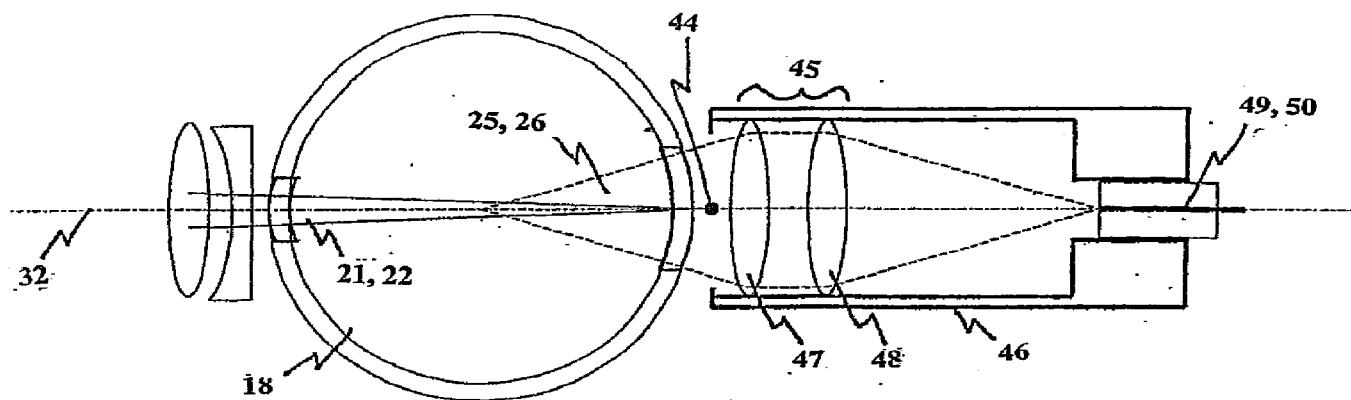


Figura 5a

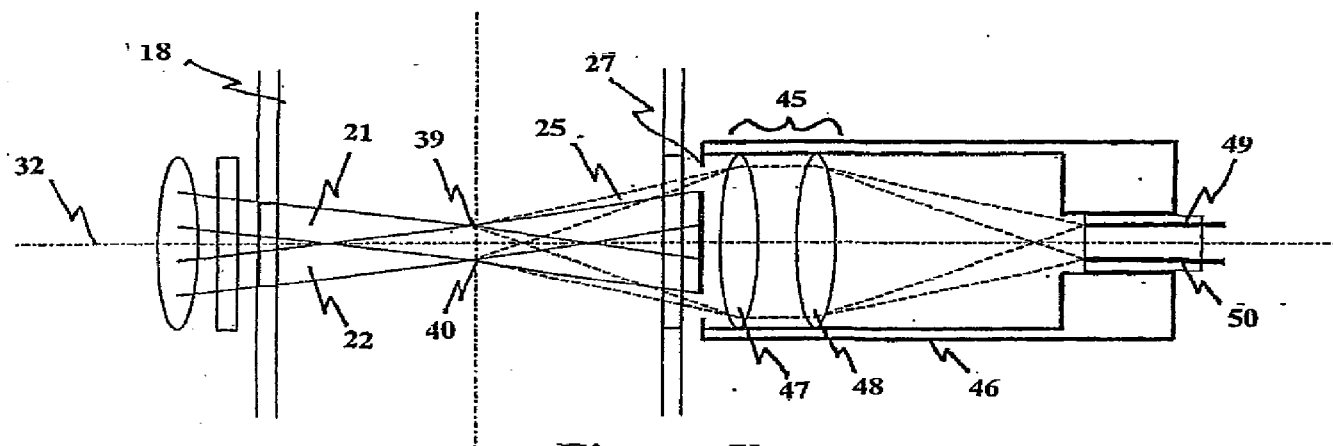


Figura 5b

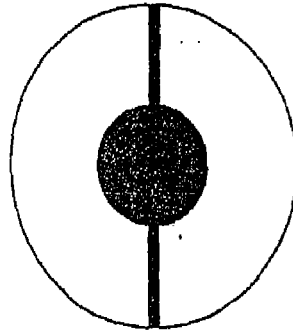


Figura 6

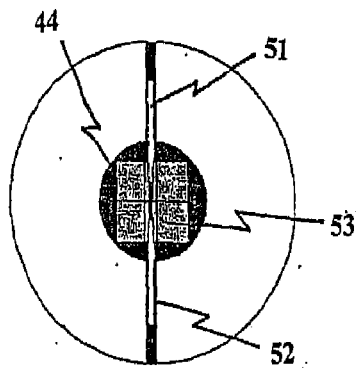


Figura 7a

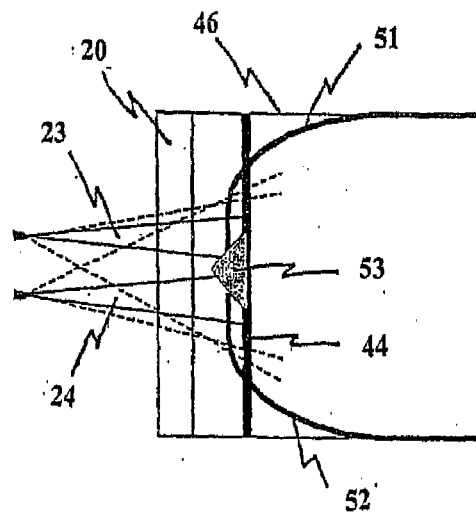


Figura 7b

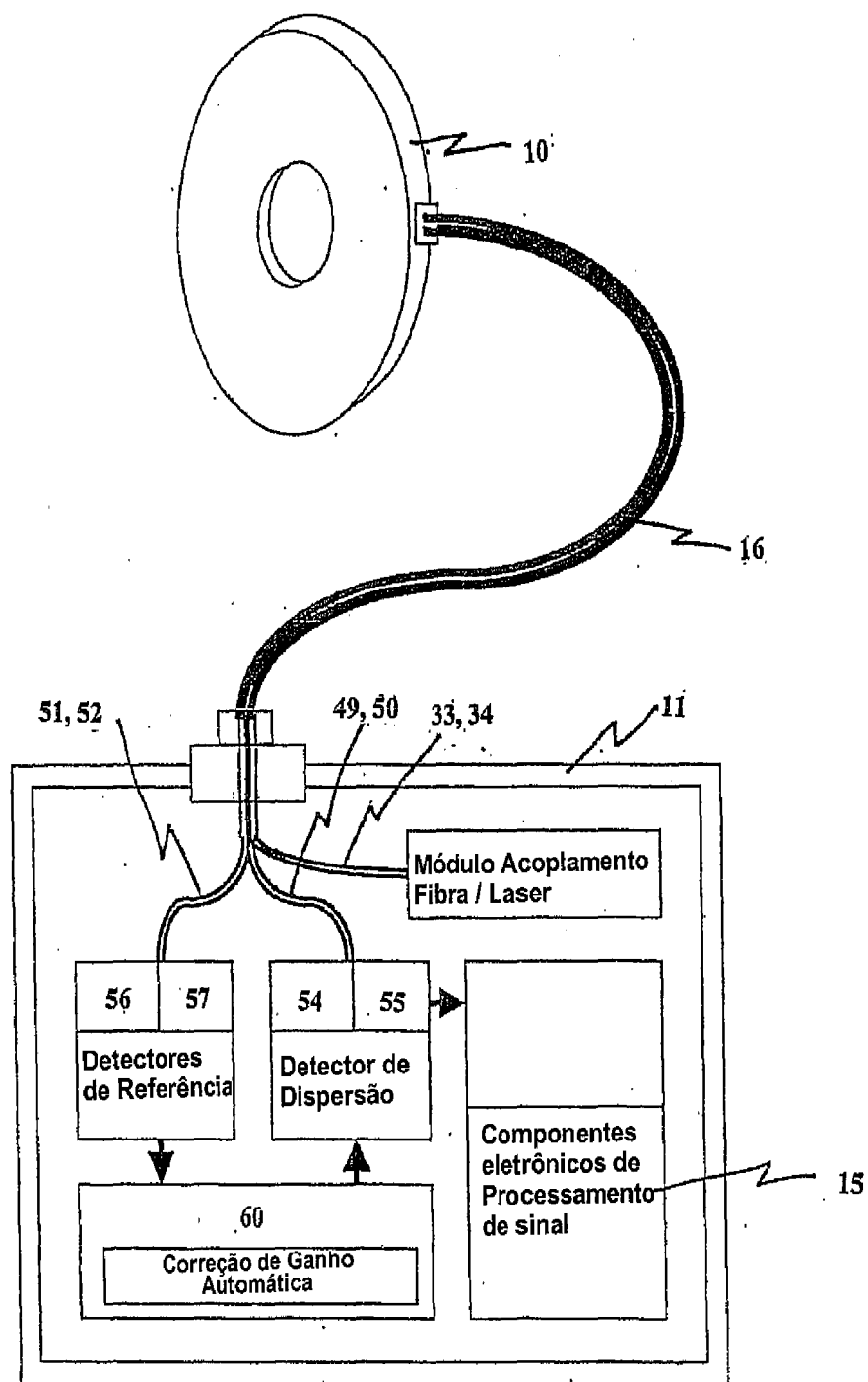
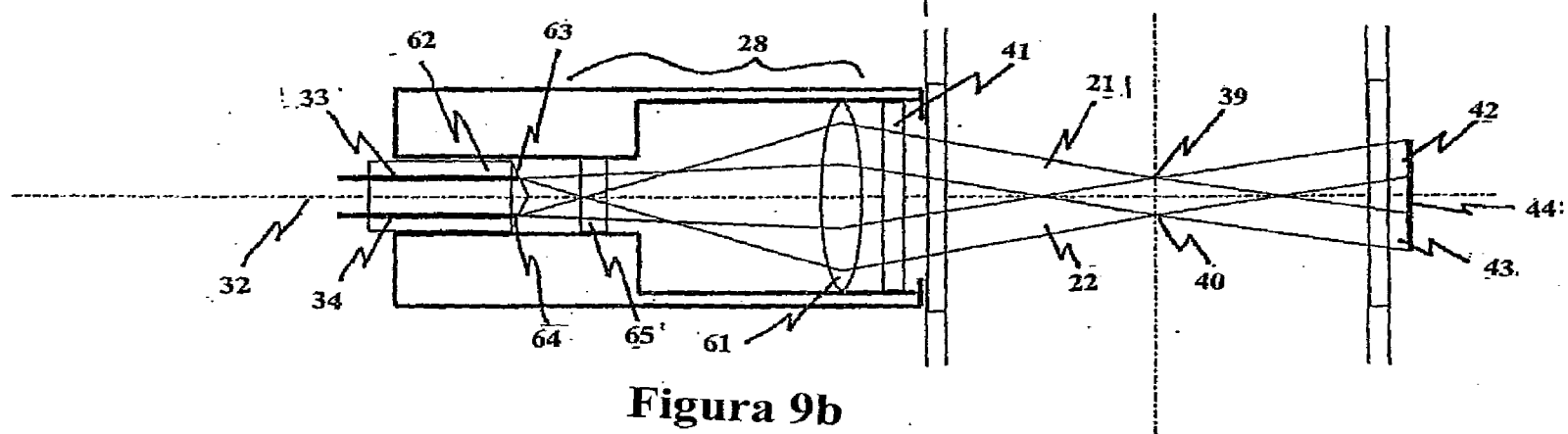
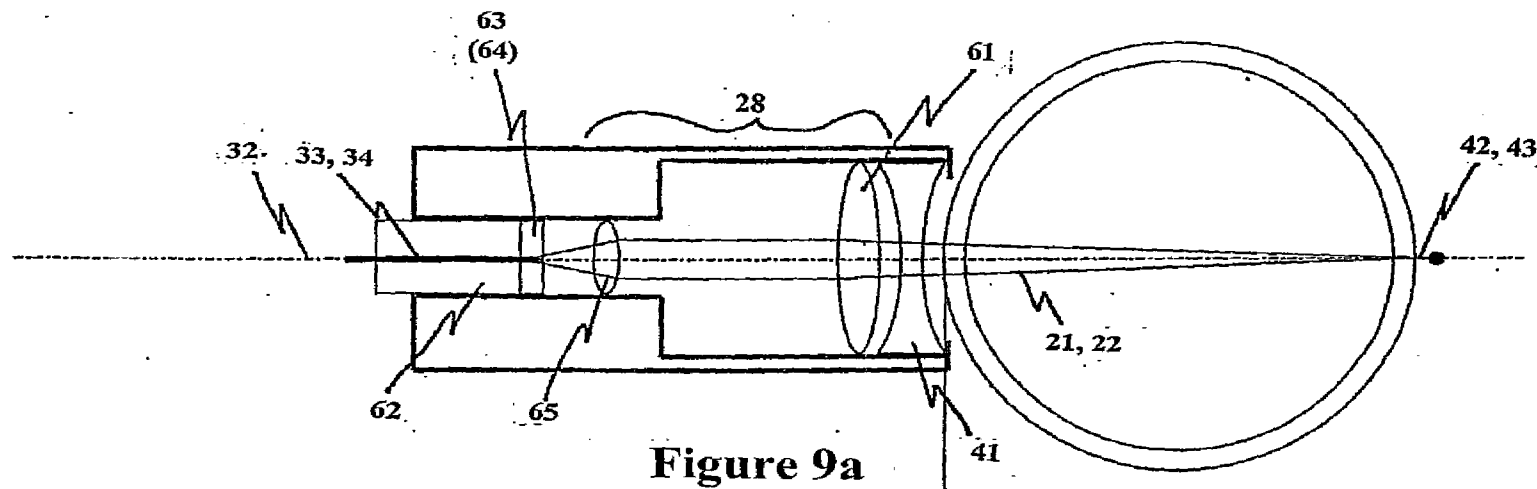


Figura 8



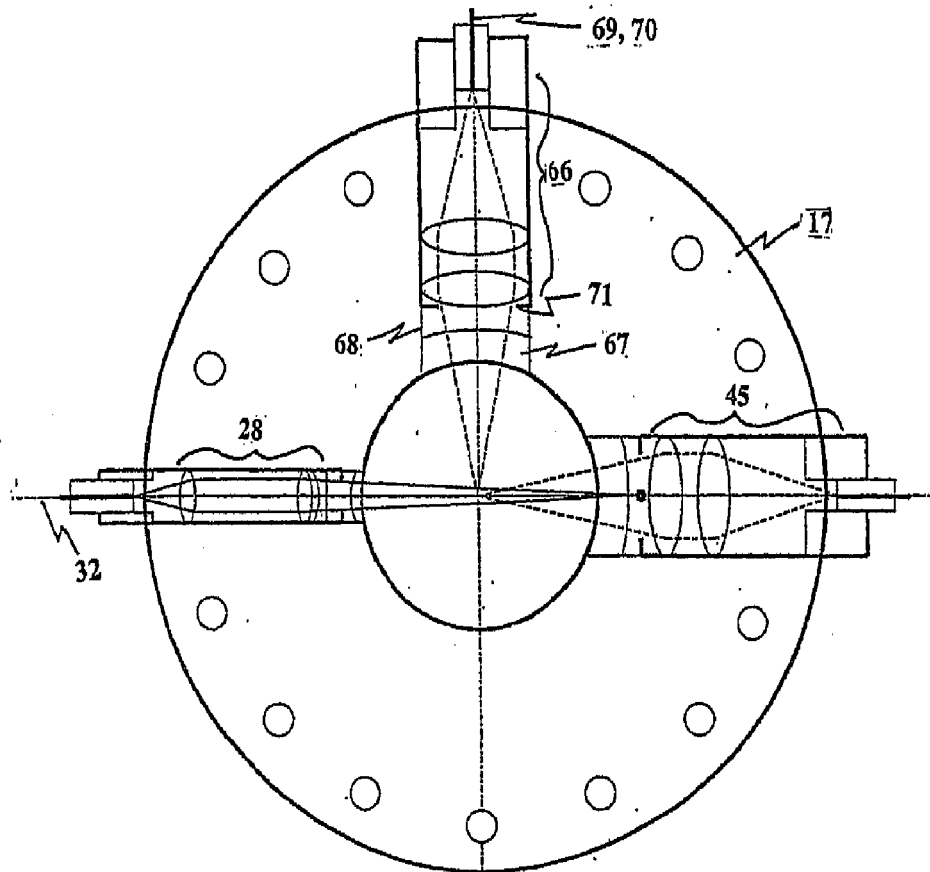


Figura 10a

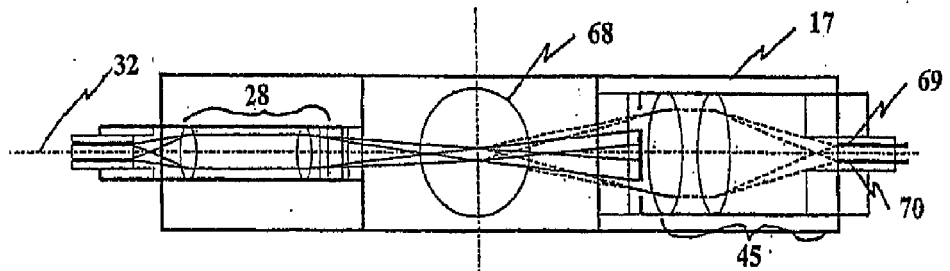


Figura 10b

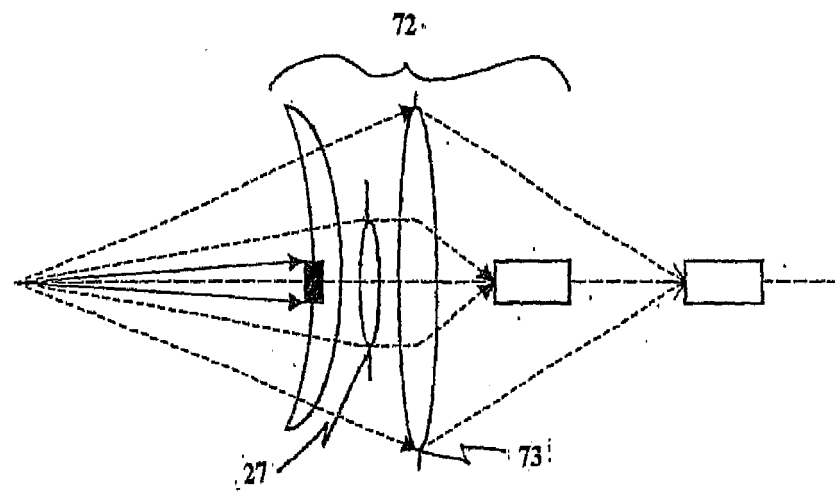


Figura 11