

1088 - INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

Cópia das transparências sobre:

TRANSDUTORES DE VELOCIDADE E VAZÃO

Prof. Demarchi

Capítulo 5 – TRANSDUTORES DE VELOCIDADE E VAZÃO

5.1 – Tacômetros

São dínamos de corrente contínua que, ao serem acionados por um eixo em rotação, geram uma tensão proporcional à velocidade angular do eixo.

Não podem ser usados para baixas rotações.

5.2 – Tacômetros de pulso

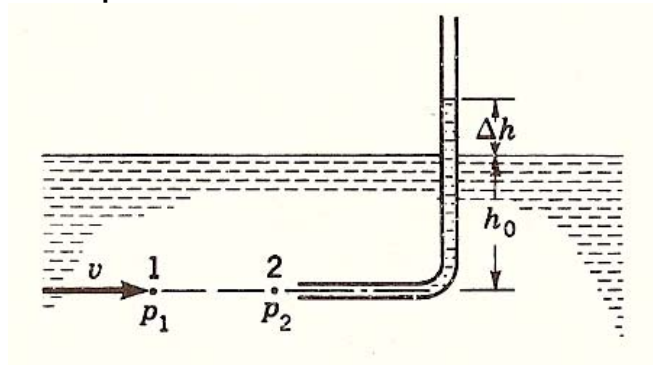
Um gerador de pulsos produz um número conhecido de pulsos por volta completa do eixo no caso de medida de velocidade angular, ou por unidade de comprimento para peças em movimento de translação. Transdutores são os mesmos vistos no capítulo anterior “Transdutores de posição”. Tem-se agora associada à medição um registrador de tempo, sendo feita a contagem de pulsos num determinado intervalo de tempo (tempo de amostragem).

A velocidade obtida é a velocidade média do eixo ou da peça durante o período de amostragem. Este tempo deve ser dimensionado em função da exatidão desejada na medição de velocidade.

5.3 – Tubo de Pitot

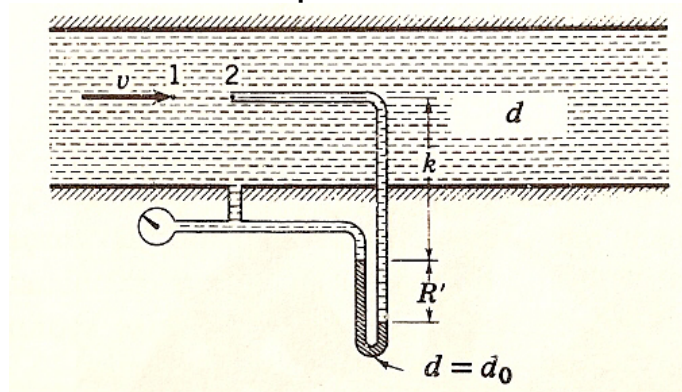
O tubo de Pitot é utilizado para determinar indiretamente a velocidade de escoamento de fluidos incompressíveis através da medição de grandezas relacionadas à velocidade.

Tubo de Pitot simples:



$$v = \sqrt{2g \cdot \Delta h}$$

Tubo de Pitot com tomada piezométrica:

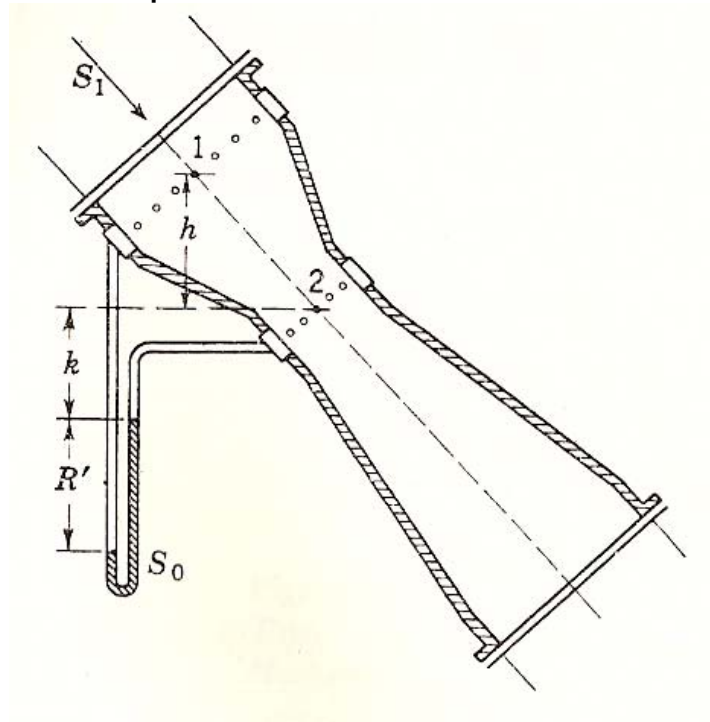


$$v = \sqrt{2gR' \left(\frac{d_0}{d} - 1 \right)}$$

5.4 – Venturi

O medidor Venturi é usado para medir vazões em tubulações. A especificação de um Venturi é feita pelos diâmetros do tubo e da garganta. Para de obter resultados precisos, o Venturi deve ser precedido por um trecho de tubo reto de pelo menos 10 diâmetros de comprimento.

Para fluidos incompressíveis:



$$Q = C_v A_2 \sqrt{\frac{2gR' \left(\frac{d_0}{d_1} - 1 \right)}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}}$$

onde:

Q = vazão

C_v = coeficiente de velocidade

A_2 = área da seção da garganta

g = aceleração da gravidade

R' = desnível da coluna manométrica

d_0 = densidade do líquido manométrico

d_1 = densidade do líquido em escoamento

D_2 = diâmetro da garganta

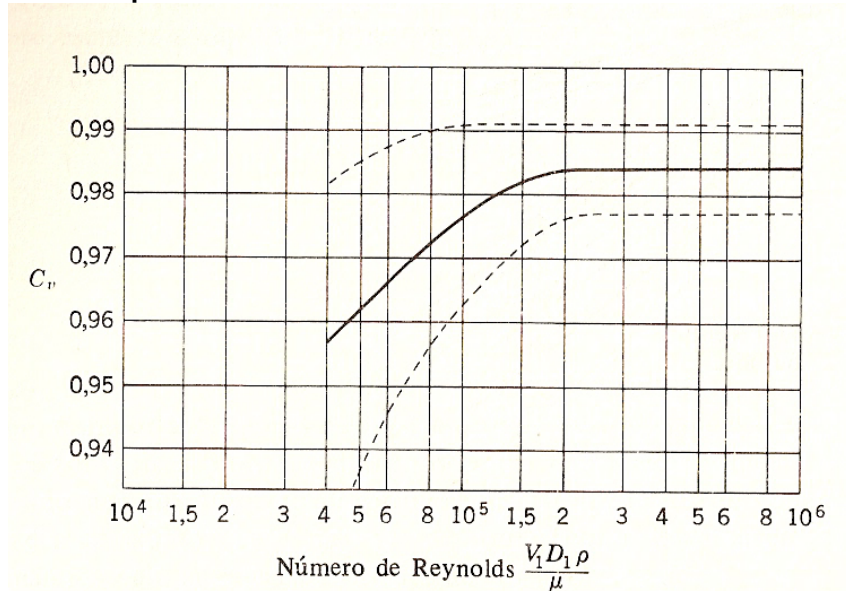
D_1 = diâmetro da tubulação

Obs.:

1) h não aparece na equação → vale para tubos horizontais, verticais ou inclinados

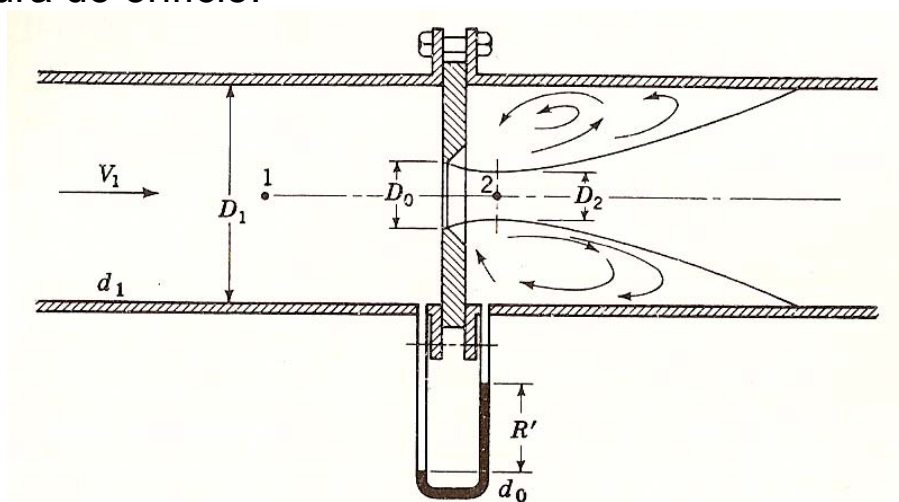
2) C_v é determinado por calibração → Gráfico $C_v \times Re$

Exemplo na figura a seguir → aplicáveis para relações de diâmetros D_2/D_1 de 0.25 a 0.75 entre as tolerâncias mostradas pelas linhas tracejadas. Quando possível, um medidor Venturi deve ser escolhido de modo que seu coeficiente seja constante para toda a faixa de números de Reynolds na qual será usado.



5.5 – Placa de orifício

Pode-se utilizar um orifício numa placa para medir a vazão num escoamento através de uma tubulação. Um orifício de borda delgada provoca uma contração do jato a jusante da abertura do orifício.



A vazão é dada por:

$$Q = CA_0 \sqrt{2gR' \left(\frac{d_0}{d_1} - 1 \right)}$$

onde:

Q = vazão

C = coeficiente de vazão

A_0 = área do orifício

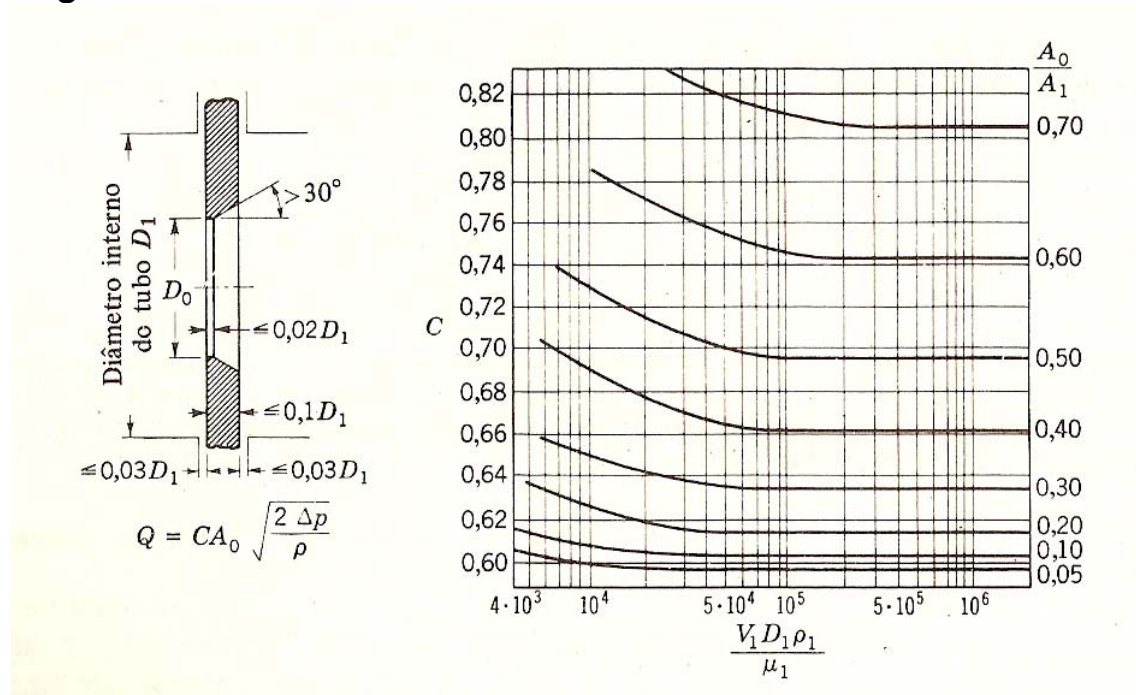
g = aceleração da gravidade

R' = desnível da coluna manométrica

d_0 = densidade do líquido manométrico

d_1 = densidade do líquido em escoamento

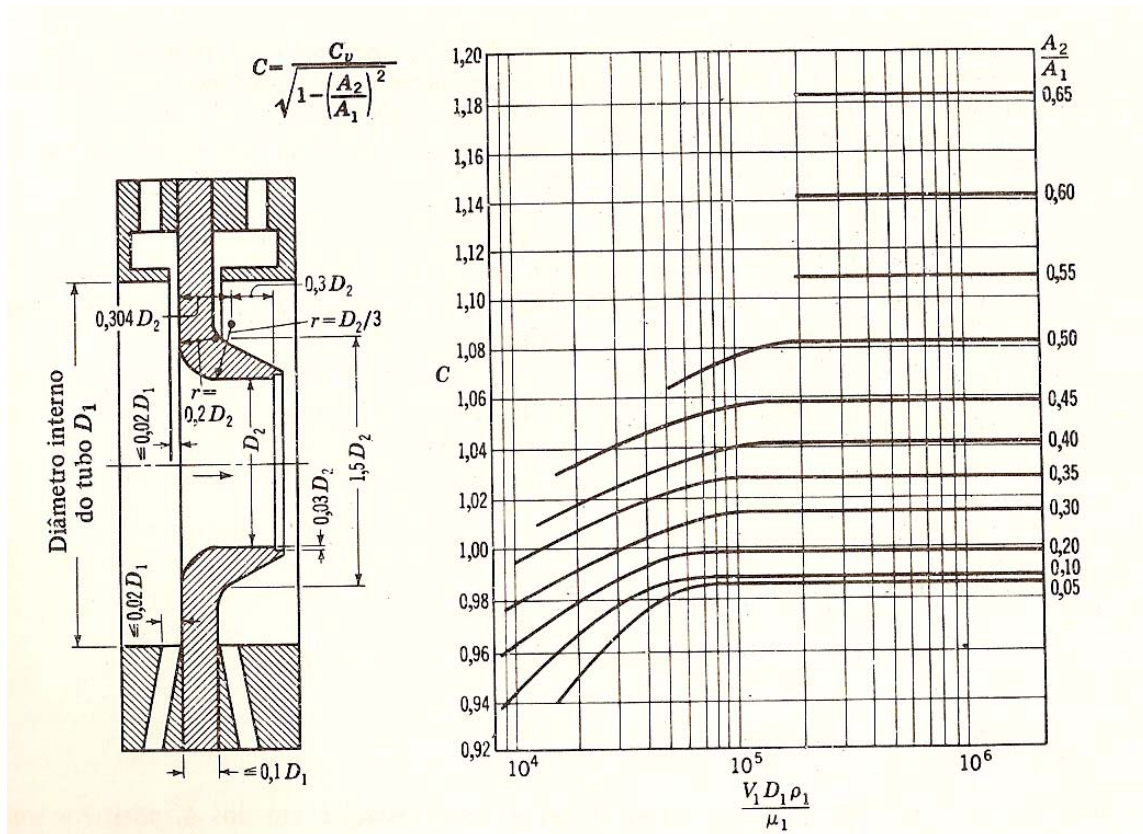
Os valores de C para o orifício VDI são dados na figura a seguir:



5.6 – Bocal

O bocal ISA (Instrument Society of America), originalmente bocal VDI, é mostrado na figura a seguir. Não apresenta contração do jato além daquela da abertura do bocal, tendo portanto o coeficiente de contração unitário.

As equações do medidor Venturi são também válidas para o bocal.



Para um tubo horizontal ($h=0$), pode-se escrever:

$$Q = C A_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}$$

onde

$$C = \frac{C_v}{\sqrt{1 - (D_2/D_1)^4}}$$

onde:

Q = vazão

C_v = coeficiente de vazão

D_2 = diâmetro do bocal

D_1 = diâmetro do tubo

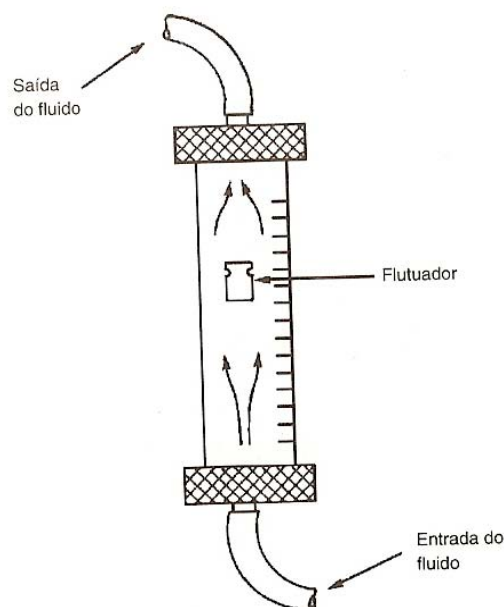
A_2 = área do bocal

Δp = perda de carga no bocal

ρ = massa específica do líquido em escoamento

5.7 – Rotâmetro

O rotâmetro é um medidor com área variável constituído de um tubo transparente cuja seção aumenta gradualmente e de um “flutuador” (na verdade mais pesado que o fluido) que é deslocado para cima pelo escoamento ascendente do fluido. O tubo possui uma escala de modo que se pode ler a vazão diretamente. Entalhes existentes no flutuador fazem-no girar de modo a se manter no centro do tubo. Existem também flutuadores esféricos. Quanto maior a vazão, mais alta será a posição de equilíbrio do flutuador. O flutuador pode ter pesos diferentes para diferentes fluidos. Tabelas de calibração são usadas em função do flutuador e fluido empregados.

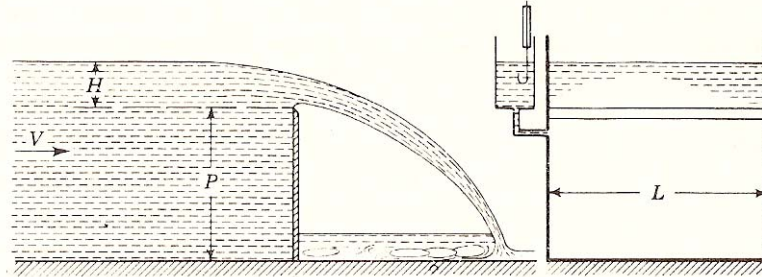


5.8 – Vertedouros

A vazão em canais pode ser medida por um vertedouro, que é uma obstrução que faz com que o fluido retorne e escoe sobre ou através da mesma. Determina-se a vazão medindo-se a altura da superfície da água a montante. Os vertedouros construídos a partir de chapas metálicas ou de outro material, de tal modo que o jato ou jorro passe livremente ao deixar a face de montante, são chamados vertedouros de soleira delgada. Outros vertedouros, tais

como os vertedouros de soleira espessa, mantêm o escoamento numa direção longitudinal.

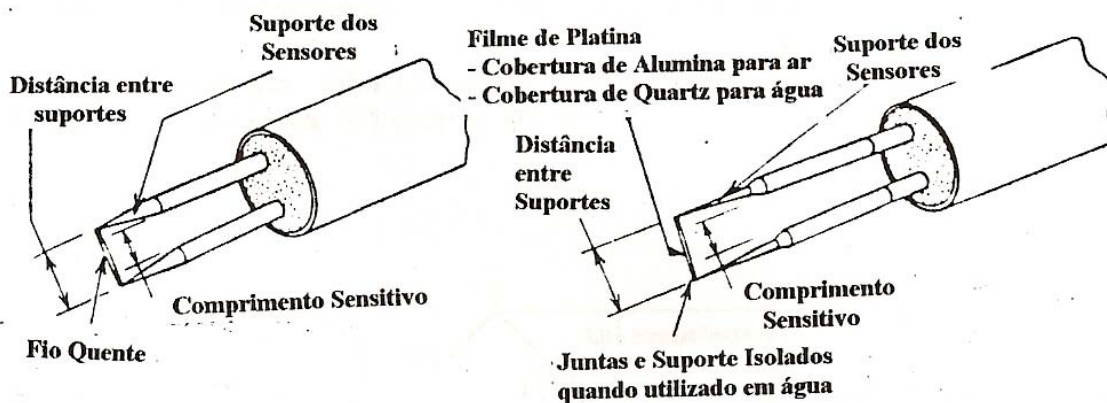
Exemplo: Vertedouro retangular de soleira delgada



$$Q = 1.84LH^{1.5} \text{ (unidades SI)}$$

5.9 – Anemômetros a Fio Quente

Anemômetros a Fio Quente ou a Filme Quente são dispositivos que podem ser utilizados para medir velocidade ou flutuações de velocidades (frequências de até 500 kHz) em um ponto de um fluido.



Sensores de Fio Quente são fabricados de platina, platina / tungstênio ou ligas de platina / irídio. Uma vez que os sensores são extremamente frágeis, anemômetros de fio quente são usualmente empregados em ambientes (ar ou gases) ausentes de impurezas (partículas poluentes). Os sensores de filme quente, por outro lado, são mais resistentes e podem ser utilizados em líquidos e gases com impurezas.

A medição de velocidade é feita indiretamente através da relação entre a potência fornecida ao sensor e a velocidade do fluido na direção normal ao sensor. A transferência de calor referida ao fio aquecido pode ser expressa por (Lei de King):

$$\frac{dQ}{dt} = (A + B\sqrt{\rho V})(T_a - T_f) = P = I_a^2 R_a$$

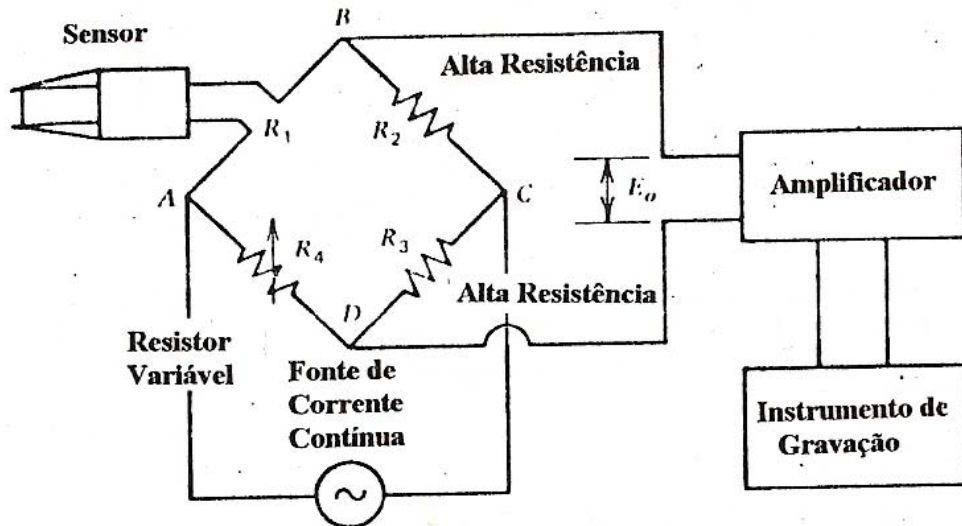
onde: A e B são constantes de calibração
 ρ é a massa específica do fluido
V é a velocidade do fluido
 T_a é a temperatura absoluta do anemômetro
 T_f é a temperatura absoluta do fluido
 I_a é a corrente passando pelo fio do sensor
 R_a é a resistência elétrica do fio do sensor

A relação entre a resistência do fio do sensor e a temperatura pode ser expressa por:

$$R_a = R_r[1 + \alpha(T_a - T_r)]$$

onde R_r é a resistência do sensor a uma temperatura de referência
 α é o coeficiente de temperatura da resistência do fio

As equações acima indicam que uma medida indireta da velocidade do fluido V pode ser obtida através da medida da corrente I_a ou da resistência R_a . Na prática, a medida da velocidade é feita utilizando-se o sensor de fio quente como elemento ativo de uma ponte de Wheatstone. Na ponte, a corrente do sensor I_a é mantida a um valor constante e a resistência do sensor R_a varia com a velocidade do fluxo e produz uma tensão E_0 na ponte de Wheatstone que pode ser relacionada a esta velocidade.



5.10 – Sensores a Efeito Doppler

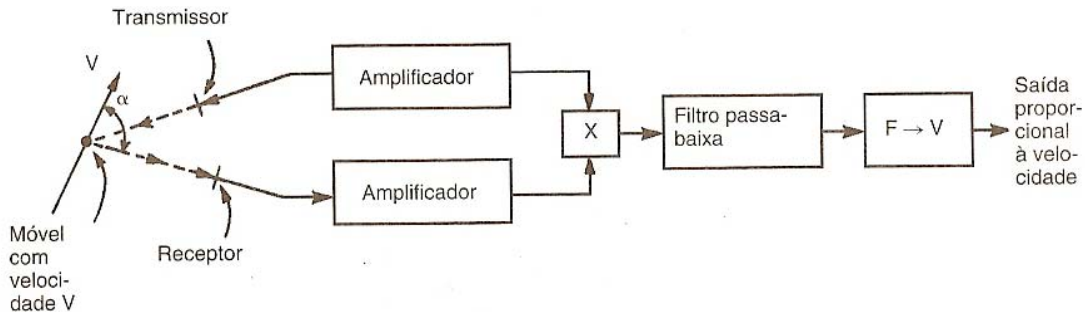
Exemplo do Efeito Doppler: variação da freqüência da sirene da ambulância quando se aproxima e se afasta de nós. Quando uma onda se propaga num meio qualquer e reflete-se em algum objeto móvel, a onda refletida terá uma freqüência diferente da onda incidente. A diferença de freqüências entre a onda incidente e refletida será:

$$\Delta f = f_t - f_r = 2 f_t \frac{V}{c} \cos \alpha$$

onde: Δf = desvio Doppler
 f_t = freqüência transmitida
 f_r = freqüência refletida
 V = velocidade do alvo
 c = velocidade de propagação da onda no meio
 α = ângulo entre a trajetória do alvo e a direção de propagação da onda incidente

As ondas citadas podem ser radiações eletromagnéticas (luz, microondas) ou radiações mecânicas (som, ultra-som). O meio de propagação pode ser o vácuo, o ar, um líquido ou um material sólido.

Um diagrama de blocos típico de um sistema para medir esta diferença de freqüências (e com isto calcular a velocidade desejada) é mostrado na figura a seguir:



O oscilador gera a freqüência desejada, injeta este sinal no amplificador de potência, que o transmite através do transdutor. Este transdutor pode ser, por exemplo, um cristal piezoelétrico que transmite vibrações mecânicas (som ou ultra-som) ou mesmo uma antena (microondas). O sinal emitido propaga-se no meio, reflete-se no alvo e retorna, sensibilizando o transdutor do receptor. O sinal recebido é amplificado e demodulado (multiplicado pelo sinal emitido). Da demodulação obtém-se um sinal que contém a soma das freqüências e outro sinal que contém a diferença das freqüências, que é o que se necessita neste caso. Passando o sinal por um filtro passa-baixa, eliminam-se as componentes de freqüência mais alta, obtendo-se apenas um sinal de freqüência igual ao desvio Doppler. Finalmente, passando este sinal por um conversor de freqüência para tensão, obtém-se um sinal proporcional à freqüência, que por sua vez, é proporcional à velocidade. Para determinação quantitativa da velocidade, o ângulo entre a trajetória do alvo e a onda incidente precisa ser sempre conhecido.

Este é o princípio de funcionamento dos radares rodoviários, que emitem sinais com freqüências em torno de UHF (1.2 GHz).