

PERFORMANCE PARA CALIBRAÇÃO DE TRANSDUTOR OU TRANSMISSOR DE PRESSÃO

José Carlos dos Santos
josecarlos@krcontrol.com

Laboratório de Calibração de Santos PET Cgcre / Inmetro nº 0326– SENAI – Santos

Abstract

The whole procedure down the basic guidelines for calibration of pressure transducer or transmitter of pressure. He was drafted on the basis of standards and practical study in the calibration laboratory. The calibration is performed with standard type balance of dead weight or appropriate standard, with necessary corrections statistics and depending on the temperature-controlled $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Resumo

O objetivo desse trabalho consiste em obter uma melhor performance na calibração de transdutores / transmissores de pressão, garantindo melhor qualidade nas medições, através de um procedimento específico, utilizando como padrão uma balança de peso morto ou um padrão quatro vezes melhor na sua classe de exatidão em relação ao teste.

Palavra chaves : procedimento, transdutor, transmissor , calibração.

1- Introdução

Há quem afirme que “medir é fácil “ . Afirma-se aqui “cometer erros de medição é ainda mais fácil “

Então !

Transdutores de medição são dispositivos que fornecem uma grandeza de saída, tendo uma correlação determinada com a grandeza de entrada (V.I.M). O enfoque é desenvolver um rotina de trabalho , isto é, um *procedimento* onde a busca pela qualidade na performance da calibração dos transmissores / transdutores de pressão, venham sempre garantir uma melhor qualidade nas medições, através de um procedimento específico utilizando padrões com classe de exatidão quatro vezes melhor que a do instrumento que está no processo de calibrado, buscando sempre garantir com este método, uma calibração precisa e exata procurando analisar sempre as informações e especificações fornecidas pelo manual do fabricante . Esta aplicação é válida para todos os transdutores / transmissores de pressão cujo princípio de funcionamento de sua células sejam capacitivos, piezo resistivos entre outras, ressaltando também o sinal de telemetria pneumático, elétrico ou digital.(field bus, óptico entre outros). A calibração se dá em função das variações bruscas do processo podendo com o tempo alterar as

características metrológica do sensor como : classe de exatidão, histerese, repetitividade e principalmente a incerteza.

Para garantir a qualidade da medição desse sensor, é necessário fazer verificações em função de estudos periódicos, análise de resultados e principalmente se este estiver em medição de uma malha crítica.

.A metodologia utilizada nesta rotina é resultado de várias análises, recorrendo sempre às normas e práticas laboratoriais, cujo principal enfoque é a verificação do erro fiducial (classe de exatidão), repetitividade, histerese e incerteza a U95%. Esta aplicação também tem o objetivo de utilizar os componentes que integram a incerteza expandida de medição , na calibração realizada no instrumento a ser calibrado.

Outro ponto fundamental é o levantamento da curva de calibração do instrumento: a análise é realizada através da relação linear entre as variáveis , na qual impacta detalhes como inclinação e intercepção, obtendo sempre um resultado satisfatório na garantia da qualidade da medição.

A figura1 mostra o transdutor de pressão, na qual pode ter telemetria padronizada em mA, V ou mV/V. ou tecnologia avançadas como field bus entre outras .

Figura 1



2- Desenvolvimento

2.1 Preparação:

2.1.1 Instale a balança de peso morto sobre a bancada.

A figura 2 mostra a balança de peso morto. No detalhe da foto, verifica-se as etiquetas de identificação e a referência da etiqueta de calibração.

Figura 2



2.1.2 Nivele a balança de peso morto nos pés ajustáveis.

2.1.3 Caso necessite de óleo, remova o tampão do reservatório e coloque a quantidade de óleo de óleo apropriado, de acordo com a especificação ..

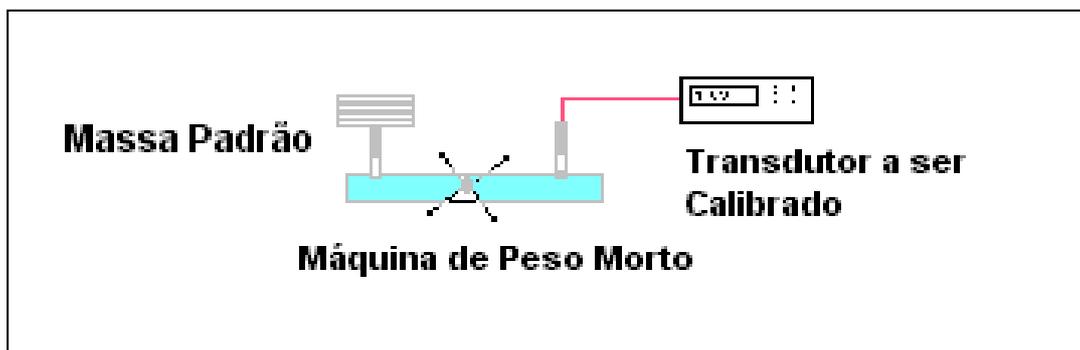
2.1.4 Coloque as massas, padrão de referência, na estação de teste e o transdutor, garantindo que esteja internamente limpo.e conectado à tomada de pressão. .

2.1.5 Gire o conector apropriado,totalmente no teste.(transdutor)

2.1.6 Verifique que a rosca interna do conector é canhota. O aperto manual é suficiente, assegure-se que a conexão do transdutor entre em contato com selo de teste na estação de teste.

2.1.7 Conecte o transdutor a ser calibrado na estação de teste, utilize o cabo adequado para ligação do transdutor com o multímetro padrão, e a fonte.

A figura 3 mostra a montagem do transdutor com indicador digital e a balança de peso morto.



A figura 4 detalha o transdutor instalado na tomada de pressão da balança de peso morto e as massas- padrão de acordo com a rangeabilidade do transdutor.

Figura 4



2.2.Determinação do Δh para medidores digitais de pressão:

Em todas as calibrações deverá se verificar a diferença entre o padrão e o teste, sendo que o Δh poderá se negativo ou positivo, devendo este ser utilizado (compensado) no cálculo de pressão de referência.

Equação 1

$$\Delta p = \rho g \Delta h$$

$$\Delta h = H(\text{referência}) - H(\text{Teste}).$$

ρ = óleo fluido

g = gravidade Local

Δh = diferença de altura

Figura 5 detalha a diferença de altura entre o teste e o padrão, na qual deve ser compensada.

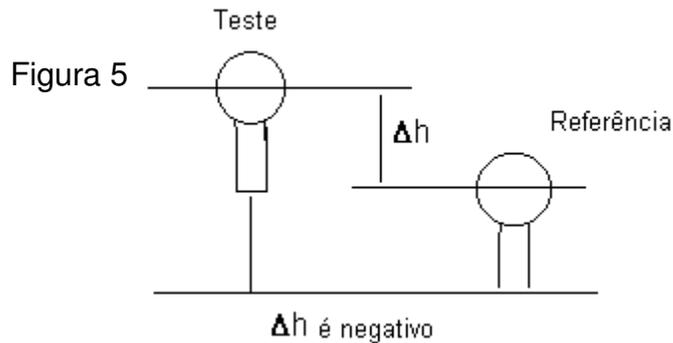
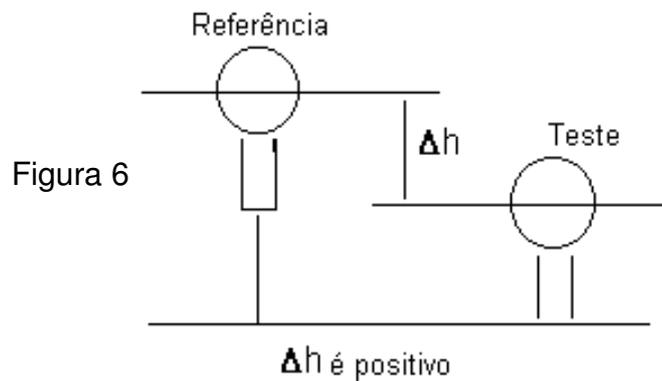
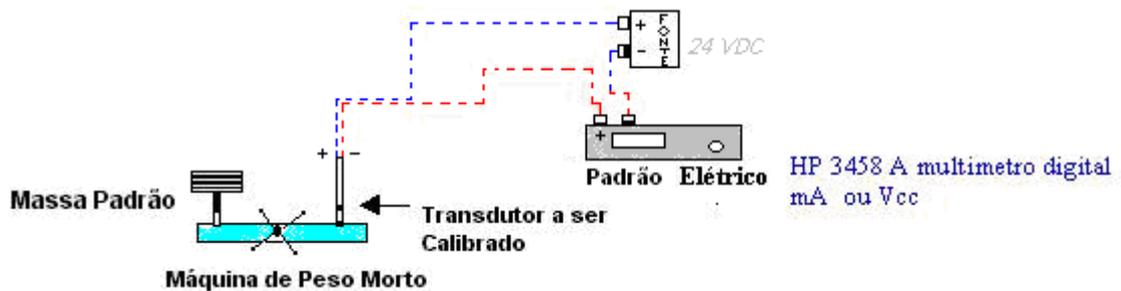


Figura 6 detalha a diferença de altura entre o teste e o padrão, na qual deve ser compensada.



A figura 7 mostra a montagem do transdutor sem indicador digital (utilizando o padrão elétrico) na balança de peso morto. Figura 7



A figura 8 mostra a montagem geral da balança de Peso morto com a massa padrão, transdutor, fonte de alimentação e multímetro padrão entre outros padrões .

Figura 8



2.3 Pré Operação :

2.3.1. Abra a válvula, dê uma volta no sentido anti-horário e gire o timão totalmente para dentro (sentido horário).

2.3.2 Feche a válvula e gire o timão totalmente para fora (sentido anti-horário).

2.3.4 Gire o timão para fora, com a válvula fechada; irá gerar 0,5 bar / 15 pol. Hg de vácuo. Se o medidor conectado for sensível a vácuo, deixe a válvula aberta durante esta operação.

2.3.5 Abra a válvula e gire o timão totalmente para dentro (sentido horário) Nota: Durante esta operação, bolhas podem aparecer no reservatório, já que o ar aprisionado é expelido. Para medidores com grandes volumes, repita os passos 2 e 3 até não aparecer nenhuma bolha .

2.3.6 Com a válvula aberta, gire o timão totalmente para fora e feche a válvula. A bomba de teste, agora, está pronta para uso.

2.3.7 Use o formulário próprio para preencher todos os seus campos na medição.

Nota:

- 1-Verifique as unidades a serem utilizadas, adotando a unidade do padrão.
- 2-Converta para unidade do teste
- 3- Utilize tabela de conversões de unidades de pressão com referência
- 4- Verifique a resolução da escala de pressão e do sinal de saída em função do menor valor de massa.

2.4 Ensaio de pressão máxima:

2.4.1 Verifique o valor total das massas referente à pressão máxima.

Nota:

- 1- Use luvas apropriadas para manipular as massas.
- 2- Use pinça para manipular as massas menores.

3- Use óculos de segurança.

2.4.2 Aplique a pressão máxima da faixa de medição do transdutor, através da bomba manual e do timão. Manter neste valor por 10 minutos.

Aliviar a pressão através da válvula, deixando o transdutor em repouso por 5 min para acomodação do elemento elástico.

3 - Ensaio da Exatidão de Medição:

3.1. A calibração deverá ser realizada na temperatura entre 18 ° C e 22 ° C , na qual deve ser registrada seu valor do início ao final da calibração, anotando em formulário adequado, automaticamente ou diretamente na planilha de cálculo de incerteza. Iniciar a aplicação crescente de pressão (conjunto de massas referente à faixa do transdutor) desde o início da faixa até a indicação máxima da faixa usando pontos eqüidistantes e de acordo com as tabelas abaixo e ideal com 2 ciclos para calibração Espere estabilizar a indicação no transdutor anotando no formulário próprio das respectivas massas utilizadas na balança, ou diretamente para planilha de cálculo de incerteza.

A tabela 1 mostra o número de pontos em função da classe de exatidão .do instrumento digital.

Classe	Erro máximo permitido
5A	± 0,05% do limite da faixa normal
4A	± 0,1 do limite superior da faixa normal nominal valor do fundo de escala
3A	± 0,25% do limite superior da faixa normal nominal valor do fundo de escala
2A	± 0,5% do limite superior da faixa normal nominal valor do fundo de escala
A	± 1,0% do limite superior da faixa normal nominal valor do fundo de escala
B	± 2,0% do limite superior da faixa normal nominal valor do fundo de escala
5AR	± 0,05% do valor indicado
4AR	± 0,1% do valor indicado
3AR	± 0,25% do valor indicado
2AR	± 0,5% do valor indicado
AR	± 1,0% do valor indicado
BR	± 2,0% do valor indicado

Tabela 2 determina o número de pontos de calibração para instrumentos digitais .

Classes	Nº de pontos mínimo
5A, 5AR, 4A, 4AR, 3A, 3AR, 2A 2AR	10
A, AR, B, BR	5

Equação 3 :

$$\text{Erro fiducial} = \frac{\text{maior erro de indicação}}{\text{Amplitude da faixa}} \times 100$$

4.2 Histerese do Transdutor

Para cada ponto de calibração a histerese é definida pela diferença entre as indicações do transdutor em grandeza elétrica, em pressão ascendente e descendente.

A Histerese será calculada pela maior diferença dividida pela amplitude da faixa de escala do transdutor em grandeza elétrica vezes 100.

Equação 4:

$$\text{Histerese} = \frac{\text{maior diferença entre carregamento e descarregamento}}{\text{Amplitude da faixa}} \times 100$$

4.3 Repetitividade do Transdutor:

Para cada ponto de calibração a repetitividade é definida pela diferença entre as indicações do transdutor em grandeza elétrica, em pressões ascendentes ou descendentes.

A Repetitividade será calculada pela maior diferença encontrada em uma das duas situações dividida pela amplitude da faixa de escala do transdutor em grandeza elétrica vezes 100.

Equação 5:

$$\text{Repetitividade} = \frac{\text{maior diferença entre o carregamento ou descarregamento}}{\text{Amplitude da faixa}} \times 100$$

.

4.4 Emita o Certificado.

5- Mensurando:

A indicação de uma grandeza por um transdutor é definida pela expressão da sua curva de calibração do transdutor. A curva de calibração de um transdutor é definida pela seguinte equação 6:

$$y = a + b \text{ Pref}$$

Onde:

Y= indicação do transdutor (mV, mA, sinais digitais..)

a= coeficiente linear da curva de calibração do transdutor

b= coeficiente angular da curva de calibração do transdutor

Pref = pressão de referência

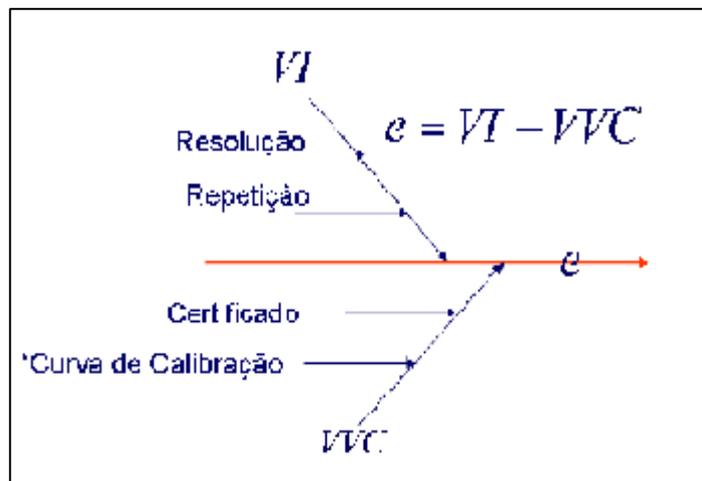
Temperatura: (20 ° C ± 2° C)

5.1 Etapas para estimativa da Incerteza de Medição:

- 5.1.1 Defina o mensurando;
- 5.1.2 Levante o diagrama causa x efeito;
- 5.1.3 Verifique e calcule a Incerteza das grandezas de entrada;
- 5.1.4 Verifique e calcule coeficiente de Sensibilidade;
- 5.1.5 Verifique e calcule componentes da Incerteza;
- 5.1.6 Verifique e calcule incerteza padrão combinada;
- 5.1.7 Verifique e calcule graus de liberdade efetivos;
- 5.1.8 Verifique e calcule coeficiente de abrangência;
- 5.1.9 Verifique e calcule incerteza expandida.

5.2 Diagrama de Causas e Efeitos:

Afigura 10 mostra o exemplo de diagrama de causa e efeito para aplicação com o transdutor de pressão.



6- Incerteza das fontes de entrada:

6.1. Repetição das indicações do transdutor.

A incerteza referente as repetições em cada ponto de calibração é definida pela seguinte equação 7.:

$$u(\text{repetição}) = s / \sqrt{n}$$

Onde:

- s = desvio padrão das leituras do transdutor.
- n = número de repetições por ponto.

6.2. Resolução:

A incerteza referente ao indicador de um transdutor é definida pela equação 8 .

$$u(\text{resolução}) = \text{resolução} / \sqrt{3}$$

Observar que na resolução do indicador, não deverá ser definida pelo seu número total de dígitos mais sim, no dígito onde a indicação do transdutor começa a variar.

6.3. Incerteza referente aos coeficientes linear e angular da curva de calibração:

A reta de regressão calculada pode ser encarada como uma estimativa da relação real, porém desconhecida, que existe entre as duas variáveis na população.

Logo, os coeficientes a e b servem como estimativas pontuais dos dois parâmetros da população correspondente, A e B, e a equação $y_c = a + bx + u_c$ é a uma estimativa da relação populacional $y_i = A + Bx$.

Por que existe dispersão?

Porque não existe um relacionamento perfeito entre as duas variáveis na população. Há outras variáveis que influenciam os valores da variável dependente que não entram na análise de regressão.

Por que essas outras variáveis não estariam incluídas no estudo?

a) Com influência provavelmente pequena de cada uma dessas variáveis, o custo da inclusão supera o benefício;

b) Um ou dois fatores, geralmente respondem por quase toda a variação da variável dependente;

c) O número de variáveis explanatórias potenciais é muito grande, dificultando os cálculos.

Essa dispersão significa que há muitas equações de regressão diferentes, que poderiam concebermente ser obtidas. Para cada valor de x, haverá muitos valores possíveis de y.. Supõe que há uma distribuição de y's potenciais que segue a lei normal, que é chamada distribuição condicional (isto é, dado x). A distribuição condicional é igual ao valor médio de y na população. Para esse particular x, $y = \alpha + \beta x$ é estimada por $y_c = a + bx$.

A metodologia para o estabelecimento das variâncias (s^2_a ; s^2_b) e as incertezas (u_a , u_b) dos coeficientes da curvas de calibração segue de acordo com as equações mostradas na nas equações 9. .

$$s^2 = \frac{\sum \Delta^2}{n - 2} \qquad D = n \sum x^2 - (\sum x)^2$$
$$s_a^2 = \frac{s^2 \sum x^2}{D} = u_a^2$$
$$s_b^2 = n \frac{s^2}{D} = u_b^2 \qquad r_{a,b} = \frac{\sum x}{\sqrt{n \sum x^2}}$$

Onde:

Δ = desvios calculados conforme planilha de calculo de Incerteza.

x = pressões de referência.

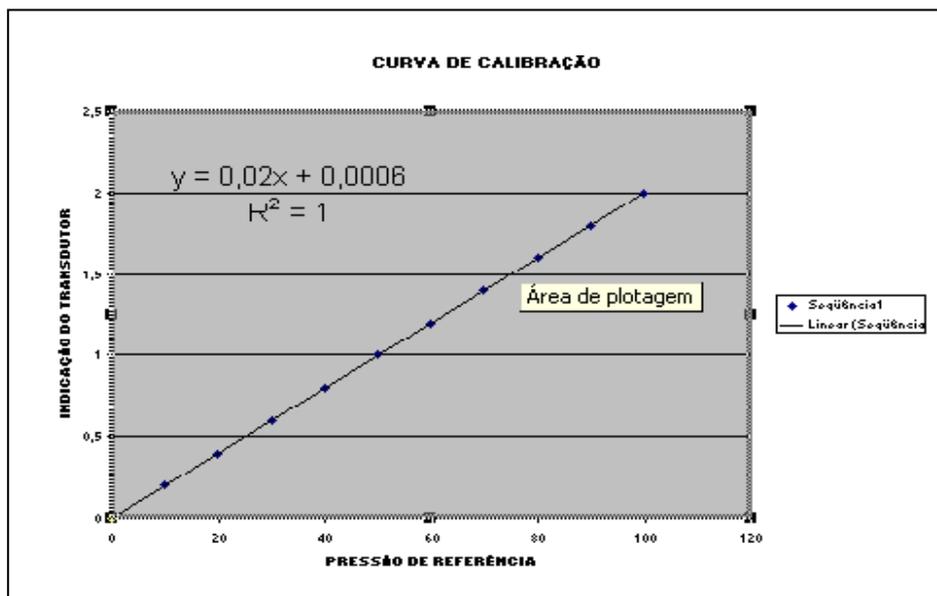
n = número total de pontos da curva de calibração.

A incerteza de qualquer ponto interpolado na curva de calibração é definido pela equação 10:

$$u(\text{curva}) = \sqrt{(1^2 \cdot s^2a + \text{Pref}^2 \cdot s^2b + 2 \cdot 1 \cdot \text{Pref} \cdot ua \cdot ub \cdot rab)}$$

Nota : Na utilização da balança de peso morto como padrão não há necessidade de compensar o erro da massa padrão nos valores observados na amostra,compensar .nos valores do sinal de saída do transdutor.

6.4 A curva de calibração do transdutor é definida conforme gráfico na gráfico 2.



6.4.1 Quão útil é a reta de regressão?

A resposta estará baseada em duas medições importantes:

- O erro padrão da estimativa; e
- O coeficiente de determinação r^2 .

Estas estatísticas medem a eficiência dos estimadores, isto é, a precisão com que a reta estará próxima dos valores observados de y. A menor variância é que definirá tal precisão.

6.4.2 Erro padrão da estimativa:

Quão precisas são as diversas estimativas de regressão?

Devemos lembrar que os estimadores são funções dos dados amostrais e variam, portanto, de amostra para amostra. Assim, genericamente, o erro padrão é o desvio padrão da distribuição dos estimadores em diversas amostragens.

..

6.4.3 Coeficiente de Determinação, r^2

Uma medida útil, associada à reta de regressão, é o grau em que as previsões baseadas na equação de regressão superam as previsões baseadas no valor médio de y . O Coeficiente de Determinação pode ser definido como o grau de ajuste da reta estimada ao conjunto de dados.

6.5 Cálculo da pressão medida pelo transdutor:

O cálculo da pressão medida pelo transdutor é realizado a partir da sua curva de calibração equação 11..

$$P = (\text{Indicação elétrica do transdutor} - a) / b$$

Onde a e b são os coeficientes da curva de calibração do transdutor.

6.6 Linearidade do Transdutor:

O cálculo da indicação do transdutor em mV, para cada pressão de referência é definido a partir da sua curva de calibração enfocada na equação 12:

$$\text{mV calculado} = a + b \text{ pref}$$

6.7.. Com as indicações do transdutor, então para cada ponto calibrado defini-se através da equação 13.

$$\text{Desvio} = \text{mV (calculado)} - \text{mV}$$

6.8. Incerteza do padrão de referência:

A incerteza em cada ponto referente ao padrão utilizado é definida pela equação 14.:

$$u_{\text{Pref}} = (U / 100 K) P_n \cdot b$$

Onde:

u = Incerteza expandida percentual.

K = coeficiente de abrangência do certificado.

P_n = pressão nominal da calibração.

b = coeficiente angular da curva de calibração (calculado conforme planilha X).

6.9 Incerteza Combinada:

A incerteza combinada na calibração do transdutor é definido pela equação 15:

$$u_c = \sqrt{u^2(\text{repetição}) + u^2(\text{resolução}) + u^2(\text{curva}) + u^2(\text{Pref})}$$

6.10 Grau de Liberdade:

Grau de liberdade é calculado pela seguinte equação 16.

• **Graus de Liberdade Efetivos**

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{(c_i \cdot u(x_i))^4}{v_i}}$$

6.11 Coeficiente de abrangência:

Com os graus de liberdade calculados, determina-se o coeficiente de abrangência para a probabilidade de 95% conforme tabela 3.

Incerteza combinada pelo fator de abrangência (k)

$\sqrt{\text{eff}}$	1	2	3	4	5	6
K	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52

$\sqrt{\text{eff}}$	7	8	10	20	50	∞
K	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,0

6.12 Incerteza Expandida:

A incerteza expandida, então será definida como: (U 95%) equação 17.

$$U = K \cdot U_c$$

7 – Conclusão:

Este trabalho tem como objetivo em primeiro momento, ressaltar a calibração de transmissor / transdutor de pressão com sinais de saída os mais diversos possíveis como 4 a 20 mA , 1 a 5 Vdc, 0,2 a 1,0 mV/V entre outros sinais através de rede industriais.

O exemplo mostrado neste trabalho relata a calibração de um transdutor de pressão instalado em plantas industriais. A calibração foi realizada em laboratório sendo com 2 ciclos de calibração no sentido ascendente (carregamento) e no descendente (descarregamento), padrão específico e temperatura controlada de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$,.

Em função da temperatura controlada, foi analisada a modulação do sinal de saída do sensor, verificando assim, a sua performance na qualidade do sinal, isto é, em função da compensação, através de um componente do circuito.

Outros detalhes para garantir a qualidade da calibração, é que o padrão deve ser 4 vezes melhor quanto à classe de exatidão em relação ao teste, podendo ser analisado este valor no gráfico de erro, no qual são adotados parâmetros em função do valor de indicação, valor verdadeiro e a média dos valores de erros e meia divisão do valor da resolução do transdutor. Quanto ao levantamento da curva de calibração e pela regressão linear do instrumento-teste, (transdutor) dá-se o detalhamento da qualidade na eficácia do resultado da medição . Portanto, o mais importante para um resultado satisfatório em termos das funções metrológicas, é que o operador tenha desempenho satisfatório durante a calibração.

Para que isso aconteça com eficácia, é necessário haver uma sistemática de periodicidade de treinamentos dos operadores nas calibrações, na qual esses resultados podem ser analisados com técnicas específicas como (R&R repetitividade & reprodutibilidade) garantindo assim, no total, a qualidade nas medições . .

Agradecimento :

(Paulo Roberto G. Couto – Chefe do Laboratório de Pressão – LAPRE - INMETRO)

Referências:

- [1] VIM – Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia N ° 29 de 10 / 03 / 95
- [2] NBR ISO/IEC 17025: Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração – 2005
- [3] Expressão da incerteza da Medição 01/99 Primeira Edição Brasileira do EA 4/02
- {4} ANSI / ASME –B – 40-7 -2005 Gauges Pressure Indicating Digital
- {5} NBR 14105 Manômetros com sensor de elementos elásticos Recomendações de fabricação e uso.
- {6} DOQ-CGCRE-014 – Orientações para Calibração de Medidores Digitais de Pressão

Dados do Autor

José Carlos dos Santos
SENAI - Laboratório de Calibração de Santos –PET – Cgcre /Inmetro nº 0326
Av. Alm. Saldanha da Gama. 145 - Ponta da Praia
11030-401 – Santos – SP
Tel. : 13-3261-6000 ramal 236
Fax : 13 - 3261-2394
E-mail : labsantos@sp.senai.br
josecarlos@krcontrol.com