

RECOMENDACIONES PARA EL ASEGURAMIENTO METROLÓGICO DE LAS MEDICIONES DE PRESIÓN EN PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CUSTODIA DE GAS NATURAL

ERIK S. TAPIAS CHÁVEZ
LUIS E. GARCÍA SÁNCHEZ
JORGE A. REYES VALDÉS



Corporación CDT de GAS
Centro de Desarrollo Tecnológico del GAS



MEDICIÓN DE GAS NATURAL EN COLOMBIA

kg
m³
mol
SIMPOSIO
Metrología
2008



Corporación CDT de GAS
Centro de desarrollo tecnológico del GAS



1961

Se prohíbe la quema de gas en tea

1973

Se construye el gasoducto de la costa atlántica

1991

Plan de masificación de consumo de gas natural

1997

Se crea la Empresa Colombiana de Gas

MEDICIÓN DE GAS NATURAL EN COLOMBIA



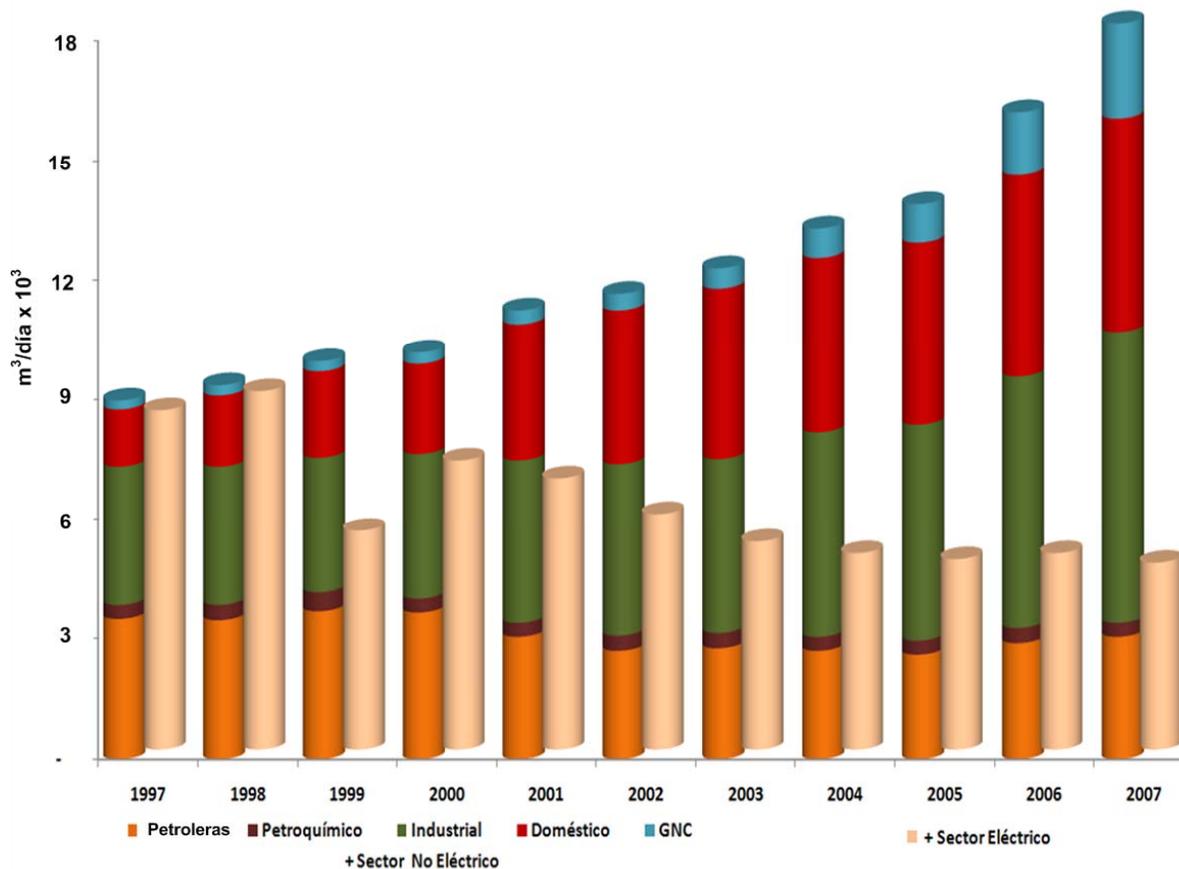
Usuarios Gas Natural
2008:

Residenciales:
4'613.539

Comerciales:
72.557

Industriales:
2959

Vehicular:
265.492



MEDICIÓN DE GAS NATURAL EN COLOMBIA

K kg S
cd m
A mol
SIMPOSIO
Metrología
2008



Libertad y Orden

Reglamento Único de Transporte – RUT

Resolución No. 071 de 1999

Resolución No. 041 de 2008



Medición en Volumen

Presión = 101,01 kPa (14,65 psi)

Temperatura = 15,5 °C (60 °F)



MEDICIÓN DE GAS NATURAL EN COLOMBIA

K kg S
cd m
A mol
SIMPOSIO
Metrología
2008



Libertad y Orden

Reglamento Único de Transporte – RUT

Resolución No. 071 de 1999

Resolución No. 041 de 2008

Numeral 5.5.1
Márgenes de Error en la Medición



Medición en Volumen

Presión = 101,01 kPa (14,65 psi)

Temperatura = 15,5 °C (60 °F)

Corporación CDT de GAS
Centro de Desarrollo Tecnológico del GAS



MEDICIÓN DE GAS NATURAL EN COLOMBIA

K kg S
cd m
A mol
SIMPOSIO
Metrología
2008



Libertad y Orden

Reglamento Único de Transporte – RUT

Resolución No. 071 de 1999

Resolución No. 041 de 2008

***El porcentaje de variación
 $\pm 1\%$***



Medición en Volumen

Presión = 101,01 kPa (14,65 psi)

Temperatura = 15,5 °C (60 °F)

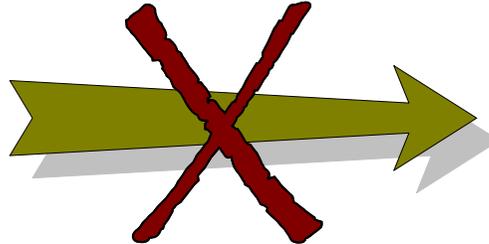
Corporación CDT de GAS
Centro de desarrollo tecnológico del GAS



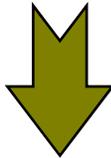
MEDICIÓN DE GAS NATURAL EN COLOMBIA



RUT



**VIM
VIML**



Margen de error = Error Máximo Permisible (EMP)

NTC 2194

VOCABULARIO DE TERMINOS BASICOS Y GENERALES EN METROLOGIA.

Valores extremos de un error permitido por las especificaciones, las regulaciones, entre otras, para un instrumento de medición dado

± 1%

± 0,25%
DE LA LECTURA



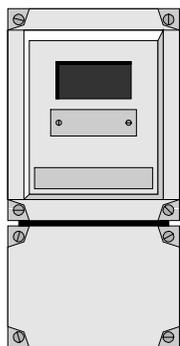
SISTEMAS DE MEDICIÓN

kg
cd
A
mol

SIMPOSIO
Metrología
2008

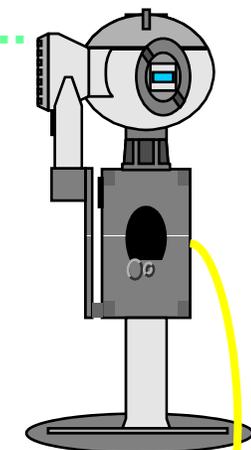
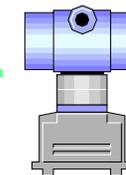
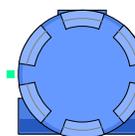
Elemento terciario

Computador
de flujo



Elemento secundario

Transmisores

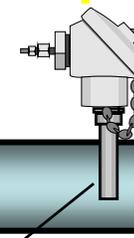
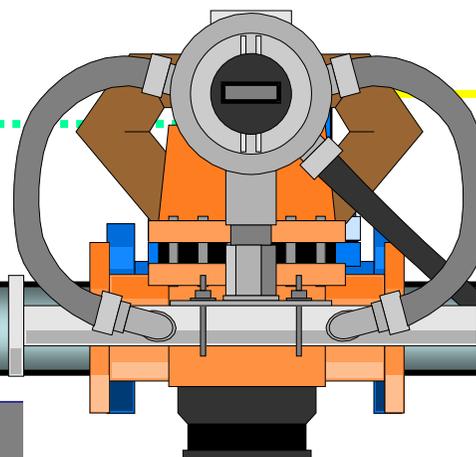


Cromatógrafo

Elemento primario

Rectificador de flujo

Tubos de medición



Sensor de
temperatura

Sonda de
muestreo

ULTRASÓNICOS



SISTEMAS DE MEDICIÓN

K kg S
cd m
A mol
SIMPOSIO
Metrología
2008

Medidores lineales

$$Q_b = Q_f \cdot \frac{P_f}{P_b} \cdot \frac{T_b}{T_f} \cdot \frac{Z_b}{Z_f}$$



Medidores diferenciales

$$Q_b = 218,527 C_d E v \varepsilon d^2 \left(\frac{T_b}{P_b} \right) \sqrt{\frac{P_f Z_b D P_f}{G r Z_f T_f}}$$



SISTEMAS DE MEDICIÓN DE PRESIÓN

CAR/ CONFIGURACIÓN DE SMP AS

kg
m
mol
SIMPOSIO
Metrología
2008



Electrocorrector
+ Transductor



or de



Turbina

Presiones de operación:

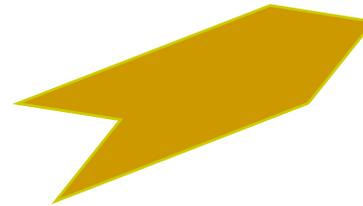
Entre 414 y 8274 kPa (60 y 1200 psi)



PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO

MÉTODO, PROCEDIMIENTO Y PATRONES DE CALIBRACIÓN

Peso Muerto



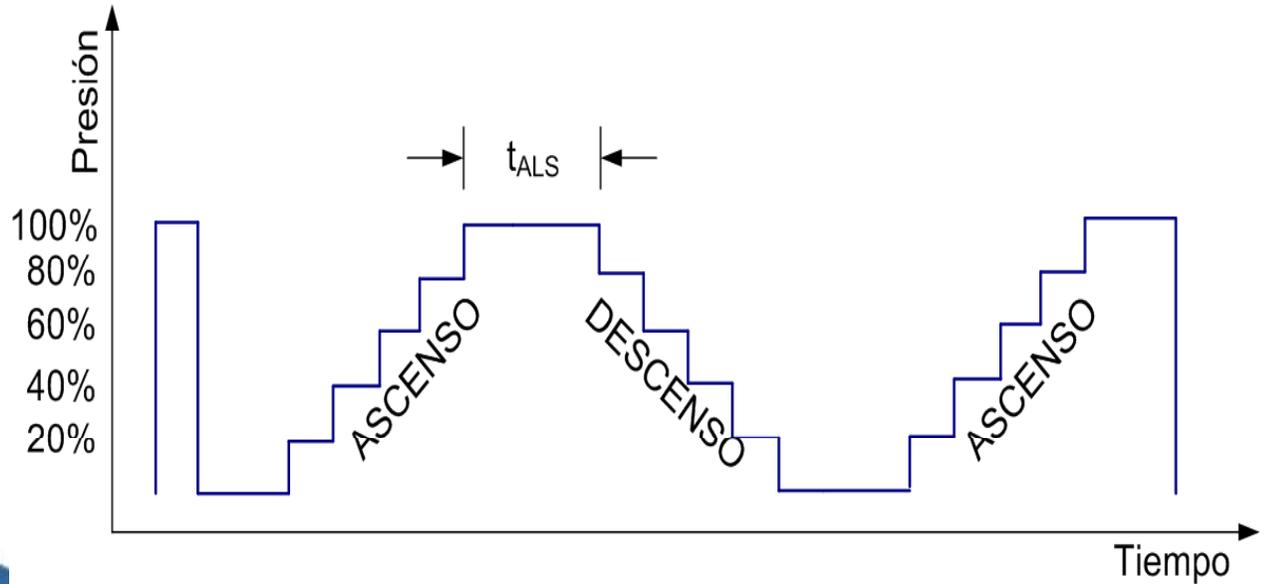
Manómetros
Electrónicos

ALS	CL Patrón	ET _{amb}	Resolución	Estabilidad /Año
6895 kPa 1000 psi	0,025% ET	0,003 % AA/°C	0,068 kPa 0,01 psi	0,025% ET

SISTEMAS DE MEDICIÓN DE PRESIÓN

kg
m
s
mol
cd
A
K
S
SIMPOSIO
Metrología
2008

MÉTODO, PROCEDIMIENTO Y PATRONES DE CALIBRACIÓN



API MPMS
AGA

¿INCERTIDUMBRE?

Adaptación de procesos de Calibración

Método	Procedimiento					
	U_{req}	Puntos	P_{Prev}	t_{pr}	t_{ALS}	ASC/DES
Comparación directa	N/C	6	1	<30s	300s	2/1



PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO

ASPECTOS QUE AFECTAN LA MEDICIÓN EN CAMPO

Períodos de mantenimiento

Períodos de calibración

Condiciones operativas



Intemperie

Desempeño metrológico



Flujo pulsante

Flujo

Características técnicas de los equipos

Computador de Flujo

Patrón de presión

Flujo multifásico

PT

Personal no Calificado

Bomba Hidráulica



PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO



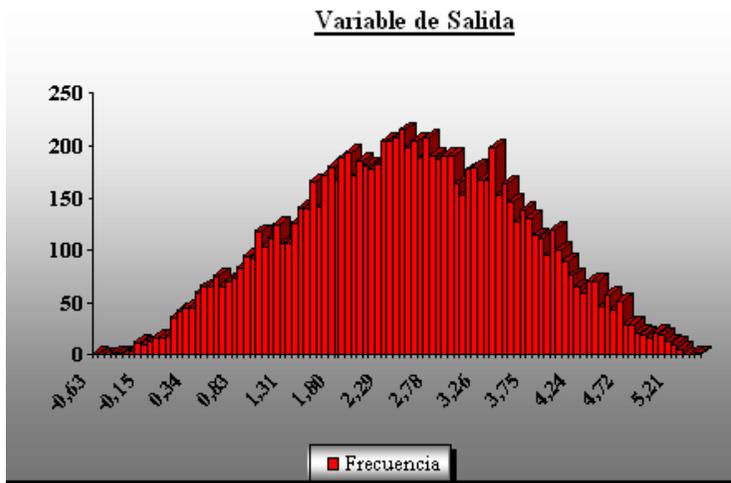
PROCESOS DE SIMULACIÓN

MÉTODO EMPLEADO

Tomando como parámetros un conjunto de datos típicamente obtenidos durante calibraciones en campo:



Estimación de la incertidumbre = Método de MONTECARLO



La simulación se realizó de acuerdo a los lineamientos descritos en el suplemento 1 de la Guía para la Estimación de Incertidumbre – GUM

Para la simulación se ejecutaron 20000 iteraciones utilizando macros de Visual combinadas con funciones de Excel



PROCESOS DE SIMULACIÓN

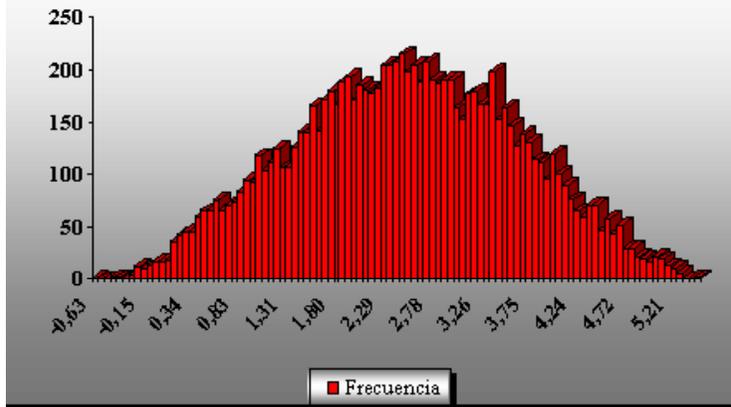
MÉTODO EMPLEADO

Tomando como parámetros un conjunto de datos típicamente obtenidos durante calibraciones en campo:



Estimación de la incertidumbre = Método de MONTECARLO

Variable de Salida



Consideraciones:

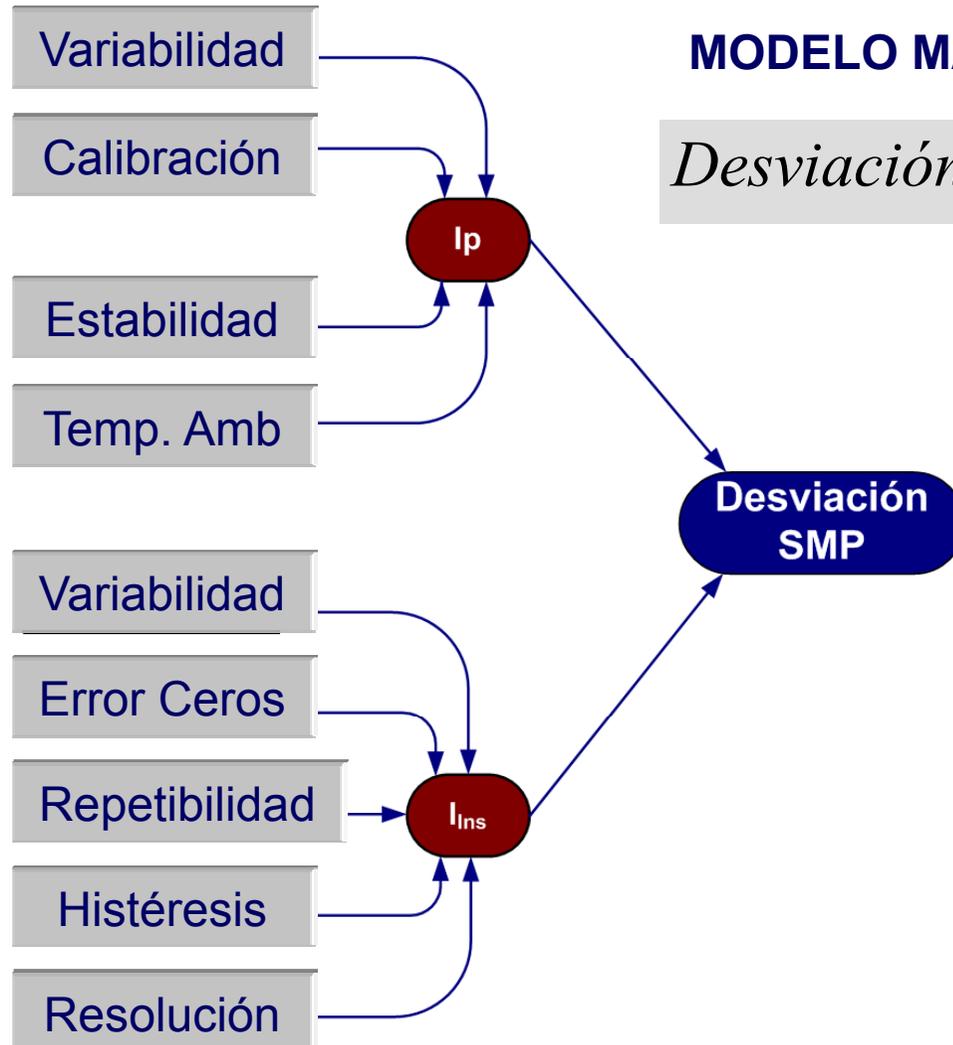
- Buen estado de los instrumentos de medición
- El alcance ajustado corresponde al alcance límite superior
- Punto de operación nominal: 2413 kPa (350 psi)



PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO

MODELO MATEMÁTICO:

$$Desviación = I_{instrumento} - I_{patrón}$$

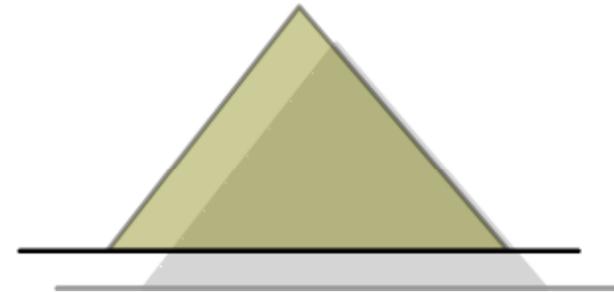


PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO

VARIABILIDAD

Inestabilidad de la indicación del SMP o Patrón debido a:

- Volumen y características del fluido de transmisión de presión.
- Compresibilidad y coeficiente de dilatación térmica del fluido
- Deformación elástica o permanente de las líneas de presurización
- Ajuste fino del sistema de generación de presión
- Hermeticidad y/o aire en las líneas presurizadas
- Estabilidad Térmica



Distribución triangular

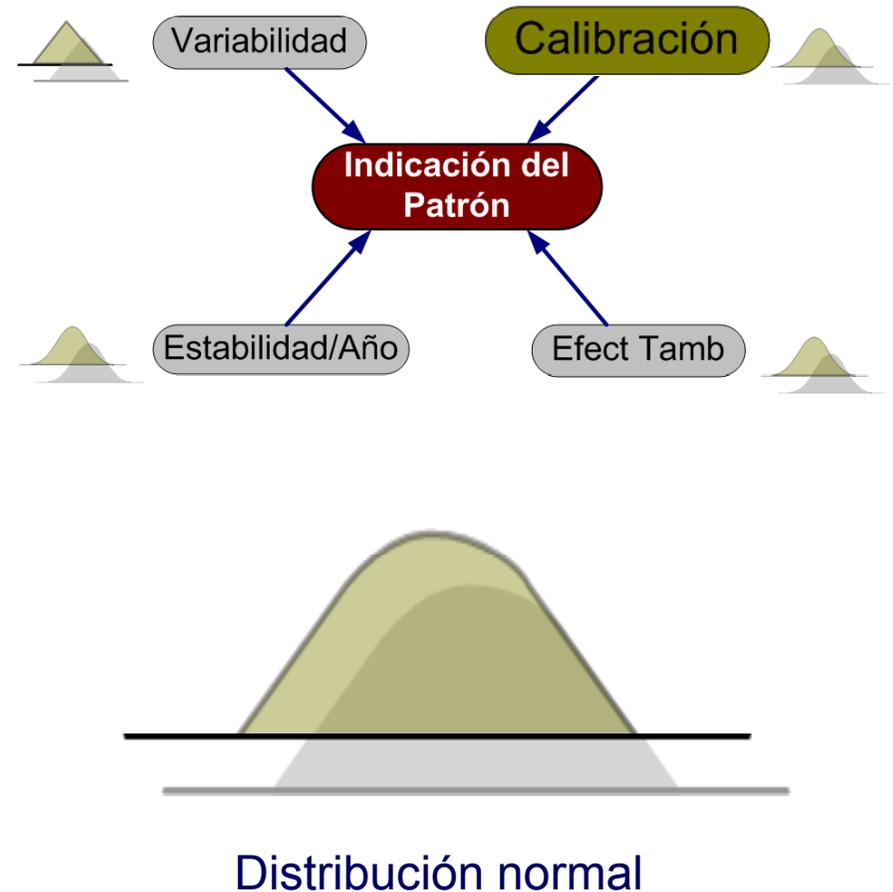
	Min	Med	Max
% Lectura	0,05	0,08	0,1
P. Ej. representa: para 800 psig (5516 kPa)	0,40 (2.76)	0,64 (4.41)	0,80 (5.51)

PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO

CALIBRACIÓN

- Incertidumbre de calibración del patrón, el cual corresponde, por lo menos, a la mitad de su clase, siendo aproximadamente 0,015% a escala total para $k = 2$

$$U_p = 0,01\%ALS + 0,005\%Lectura$$

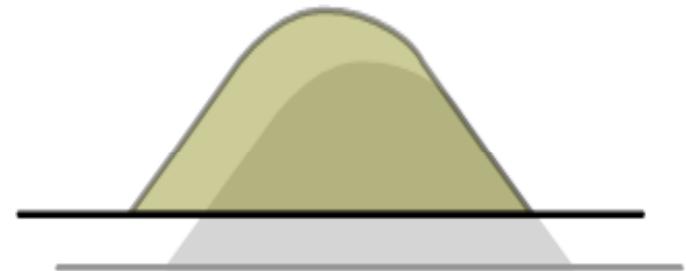
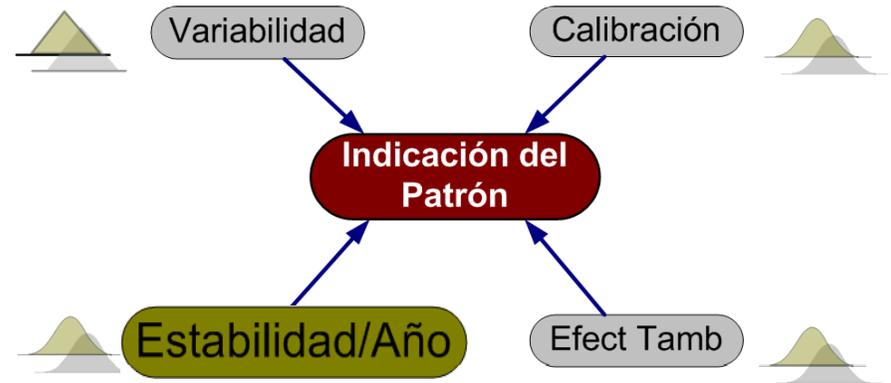


PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO

ESTABILIDAD/AÑO

Obtenida a partir de la hoja de datos del patrón y considerada como un efecto de deriva en la indicación. $k=3$

$$U_{EST/AÑO} = 0,025\% ALS$$



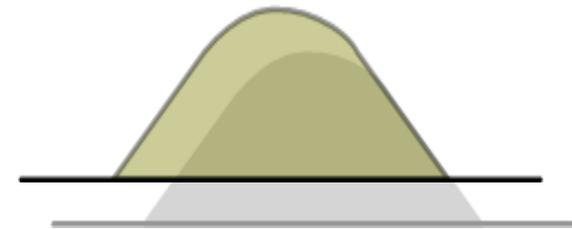
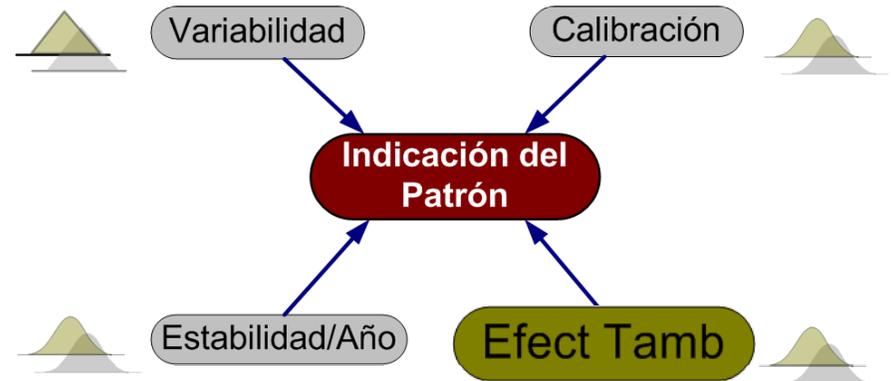
Distribución normal

PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO

EFFECTOS DE TEMPERATURA AMBIENTE

Obtenidas de la hoja de datos del patrón. Se consideró una diferencia de 5°C entre la temperatura de calibración y la temperatura ambiente. $k = 3$

$$U_{ETambiente} = 0,003\% * ALS * \Delta T$$

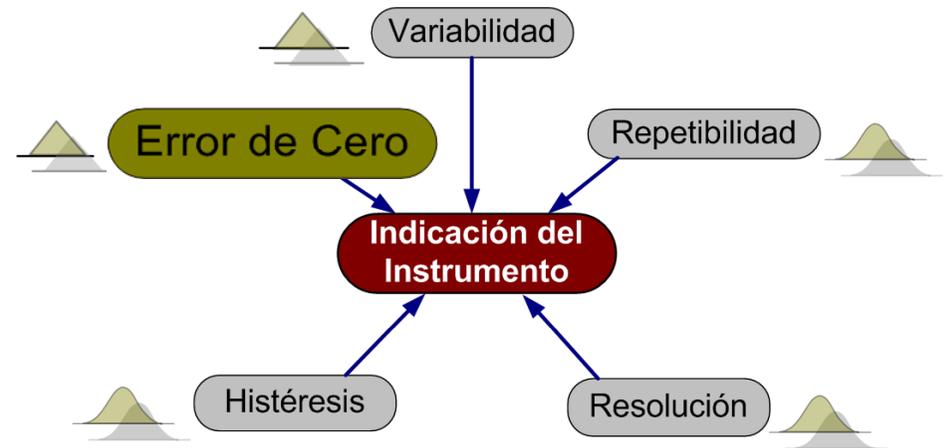


Distribución normal

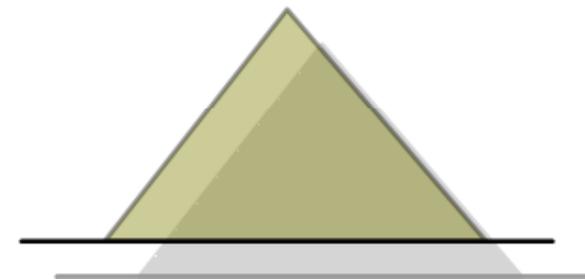
PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO

ERROR DE CERO

Estimado como el máximo valor absoluto de la diferencia obtenida entre las indicaciones de cero entre ciclos de ascenso y descenso



$$Error\ ceros = |P(0)_2 - P(0)_1|$$



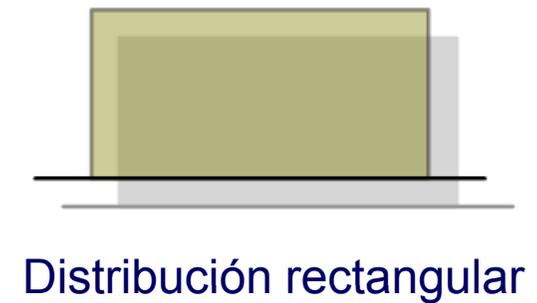
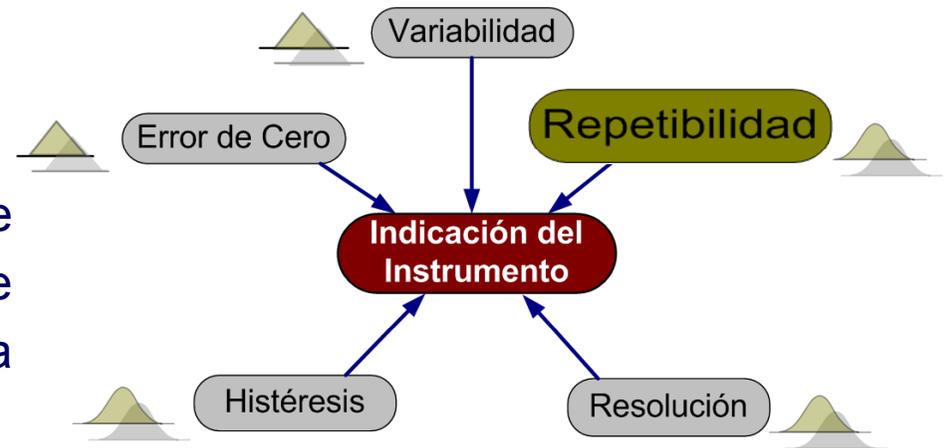
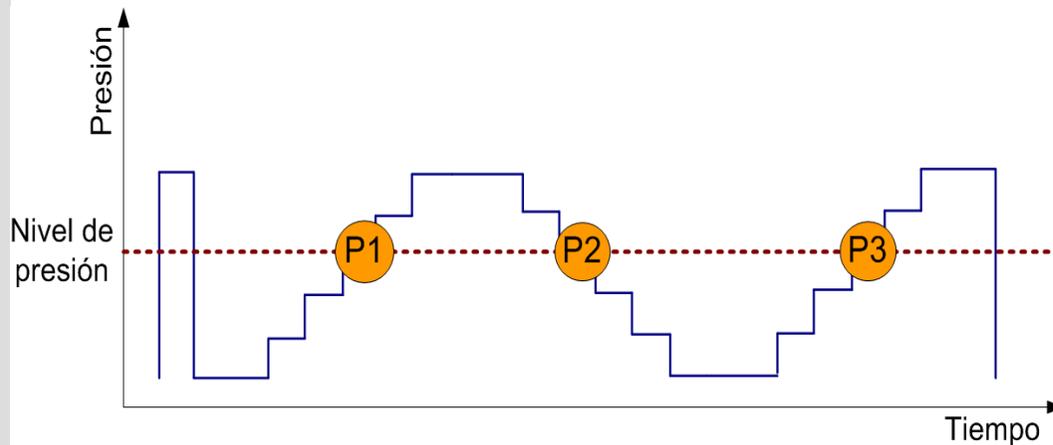
Distribución triangular

PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO

REPETIBILIDAD

Estimada como la desviación de las indicaciones entre ciclos de ascenso y descenso para cada punto de calibración

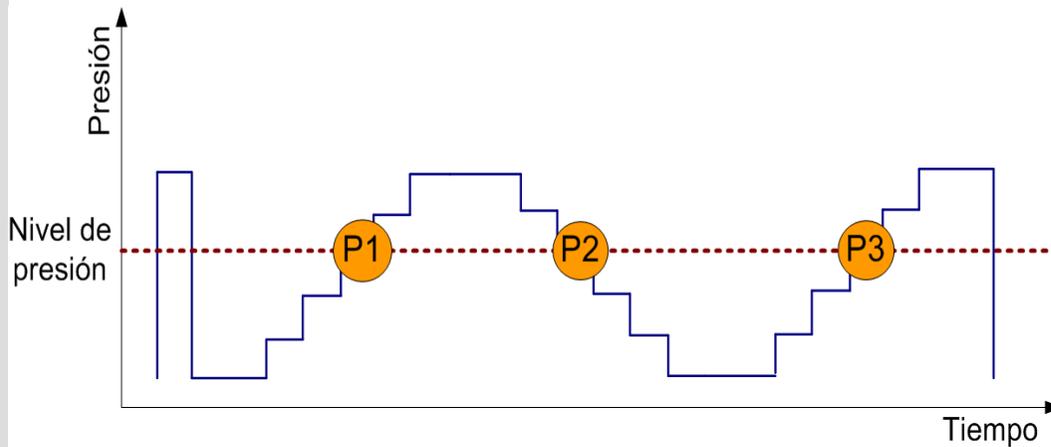
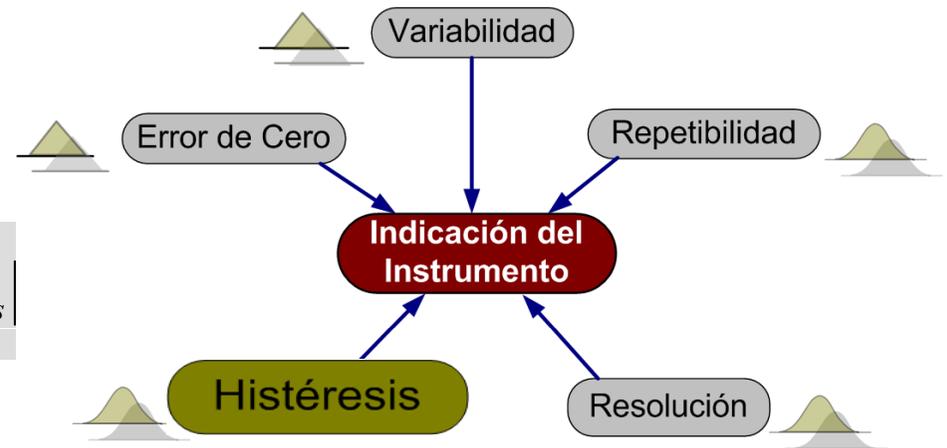
$$Re = \max(P_1; P_2; P_3) - \min(P_1; P_2; P_3)$$



PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO

HISTÉRESIS

$$U_{HIST} = \frac{1}{2} |P_{2ins} - P_{1ins}| + |P_{3ins} - P_{2ins}|$$



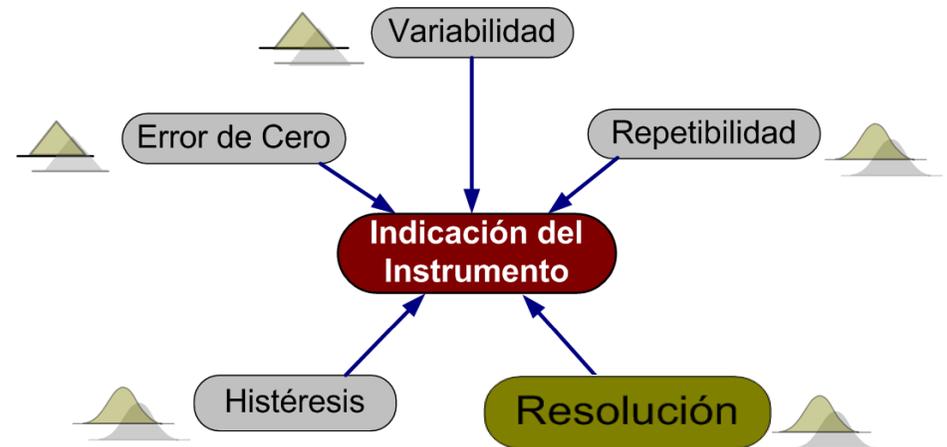
PROCESOS DE CALIBRACIÓN EN CAMPO

RESOLUCIÓN

Obtenida de las características del instrumento



Distribución rectangular



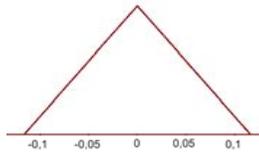
PROCESOS DE SIMULACIÓN

I_{INSTRUMENTO}

$$Desviación = I_{instrumento} - I_{patrón}$$

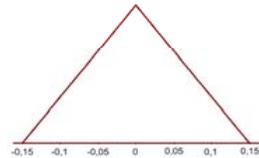
I_{PATRÓN}

Variabilidad



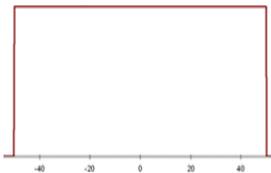
+

Error ceros



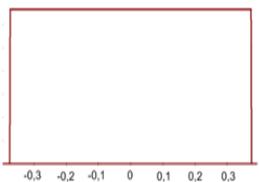
+

Repetibilidad



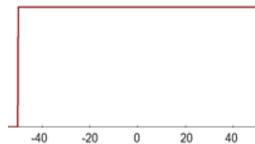
+

Histéresis



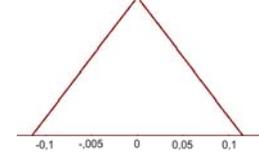
+

Resolución



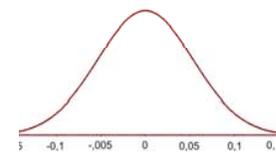
-

Variabilidad



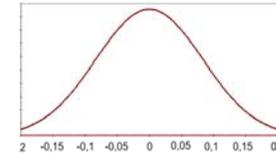
+

Calibración



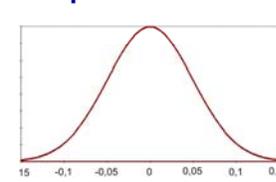
+

Estabilidad



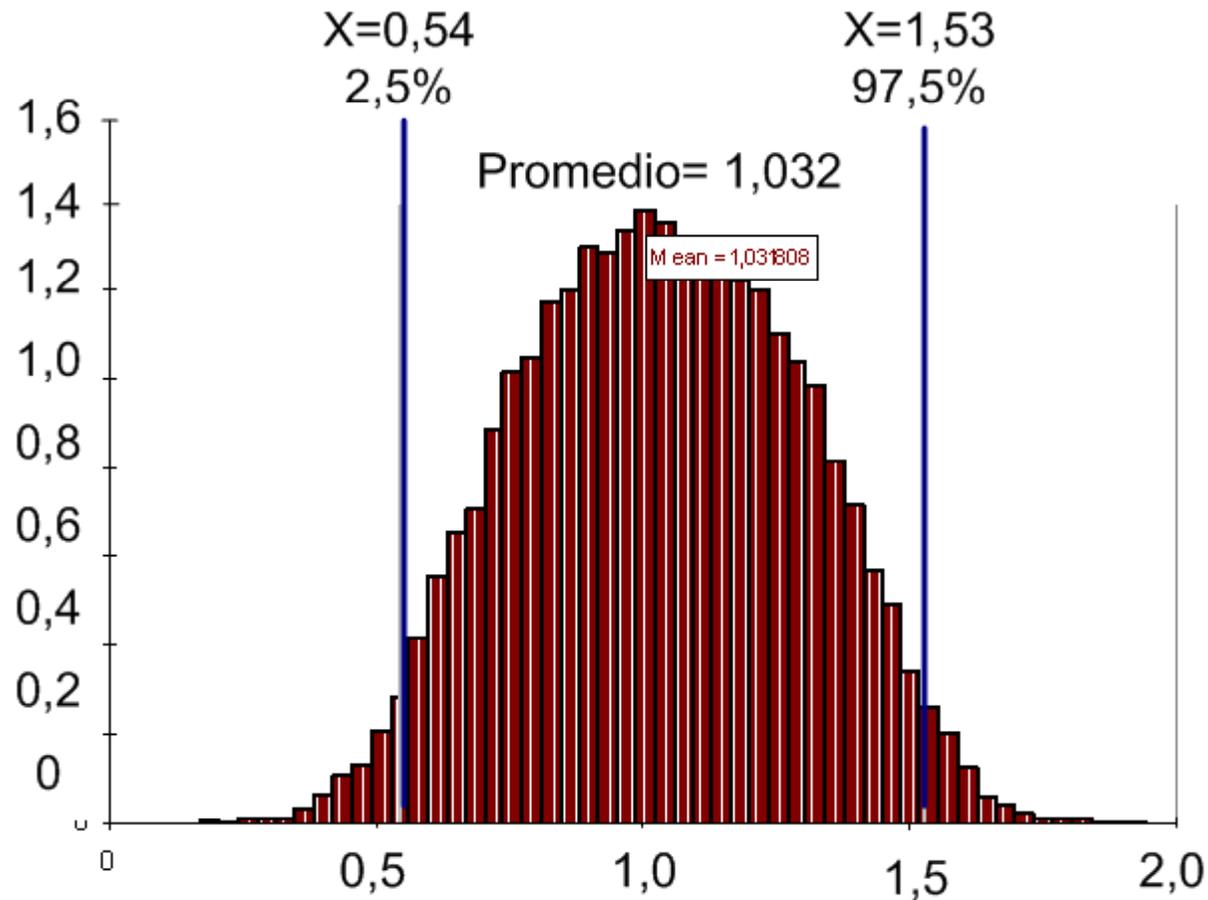
+

Temp. ambiente



PROCESOS DE SIMULACIÓN

$$Desviación = I_{instrumento} - I_{patrón}$$



ANÁLISIS DE RESULTADOS

CASOS DE ESTUDIO

Tipo	Calibración 1	Calibración 2
Transmisor + computador de flujo	Calibración típica con imposibilidad de ajustar exactamente el nivel de presión durante los ciclos de ASC/DESC, considerando esta limitación proporcional a la presión con un valor de $\pm 8,62$ kPa ($\pm 1,25$ psi) a ET	Calibración propuesta con exacto ajuste del nivel de presión durante los ciclos de ASC/DESC
Transductor + electrocorrector		

Se realizaron cuatro (4) análisis:

1. Calibración 1: Transmisor + Computador de flujo
2. Calibración 2: Transmisor + Computador de flujo
3. Calibración 1: Transductor + Electrocorrector
4. Calibración 2: Transductor + Electrocorrector

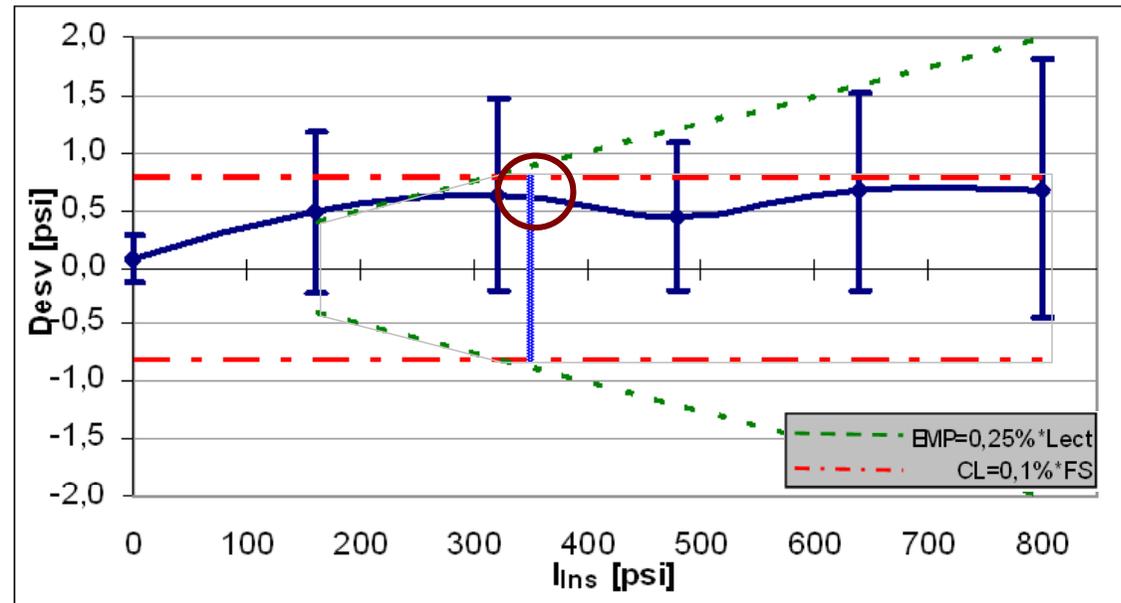


ANÁLISIS DE RESULTADOS

CALIBRACIÓN 1: TRANSMISOR + COMPUTADOR DE FLUJO

Principales Fuentes de incertidumbre

- Diferencia entre los ajustes en los niveles de presión
- Alta variabilidad en la indicación
- Alta histéresis
- Baja repetibilidad



**ALTA
INCERTIDUMBRE**

Imposibilidad de ajustar la misma presión durante ciclos de ascenso y descenso

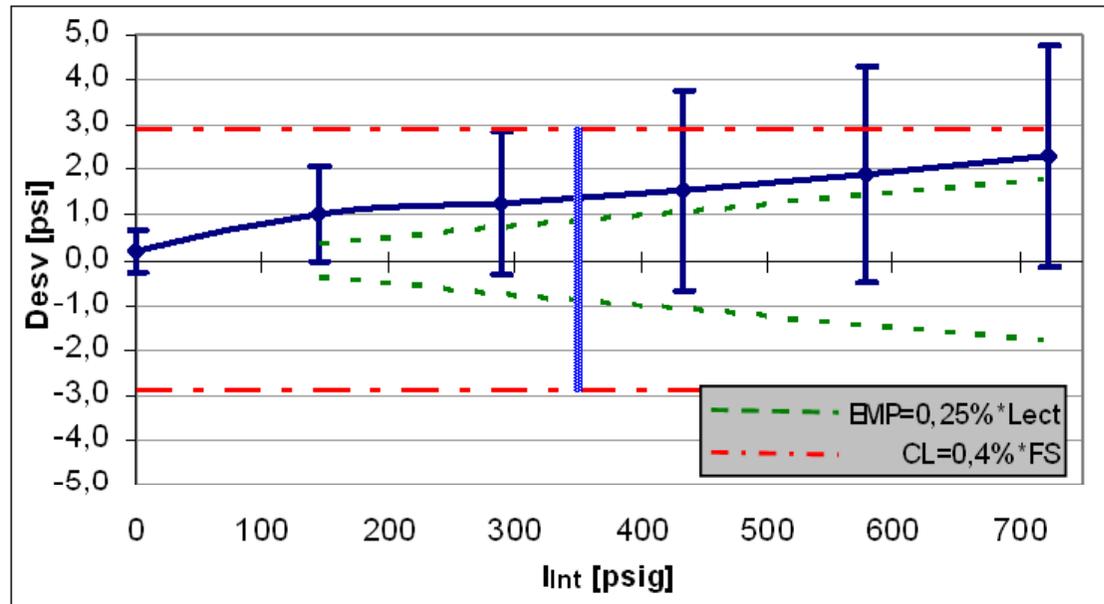
Inestabilidad de la indicación (Patrón y SMP)

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CALIBRACIÓN 1: TRANSDUCTOR + ELECTROCORRECTOR

Principales Fuentes de incertidumbre

- Diferencia entre los ajustes en los niveles de presión
- Alta variabilidad en la indicación
- Alta histéresis
- Baja repetibilidad



**ERROR MÁXIMO
PERMISIBLE**

<

CLASE SMP

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CASOS DE ESTUDIO

Tipo	Calibración 1	Calibración 2
Transmisor + computador de flujo	Calibración típica con imposibilidad de ajustar exactamente el nivel de presión durante los ciclos de ASC/DESC, considerando esta limitación proporcional a la presión con un valor de $\pm 8,62$ kPa ($\pm 1,25$ psi) a ET	Calibración propuesta con exacto ajuste del nivel de presión durante los ciclos de ASC/DESC
Transductor + electrocorrector		

Se realizaron cuatro (4) análisis:

1. Calibración 1: Transmisor + Computador de flujo
2. Calibración 2: Transmisor + Computador de flujo
3. Calibración 1: Transductor + Electrocorrector
4. Calibración 2: Transductor + Electrocorrector

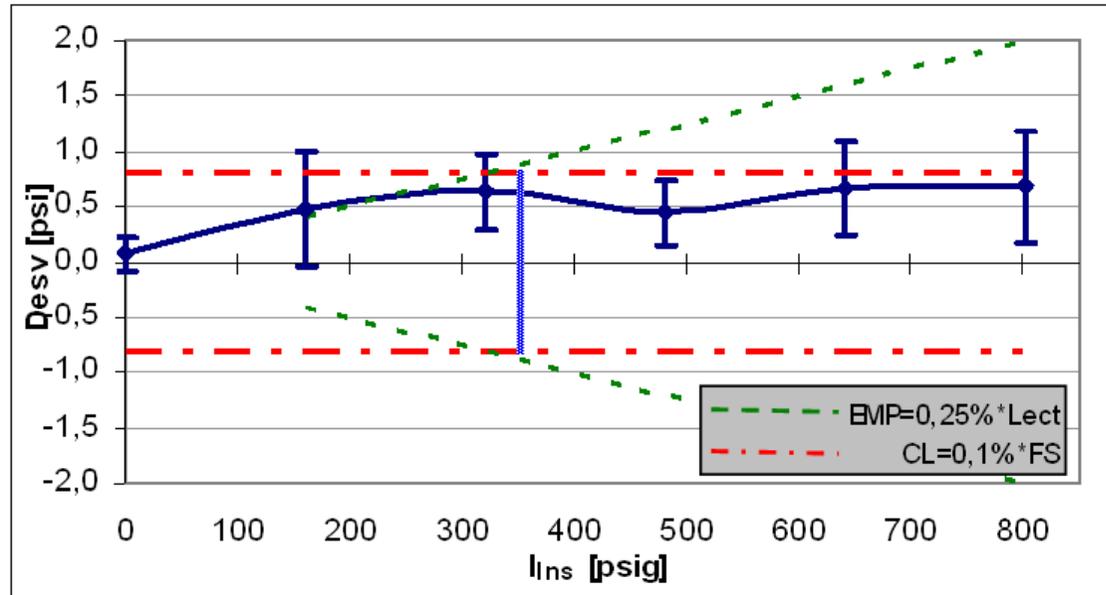


ANÁLISIS DE RESULTADOS

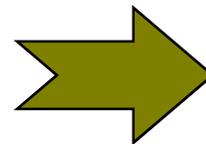
CALIBRACIÓN 2: TRANSMISOR + COMPUTADOR DE FLUJO

Características de la calibración

- Ajuste exacto en los niveles de presión
- Baja histéresis
- Alta repetibilidad



Ajuste exacto de los niveles de presión



Reducir la incertidumbre hasta niveles cercanos a la mitad del límite especificado para la clase del SMP

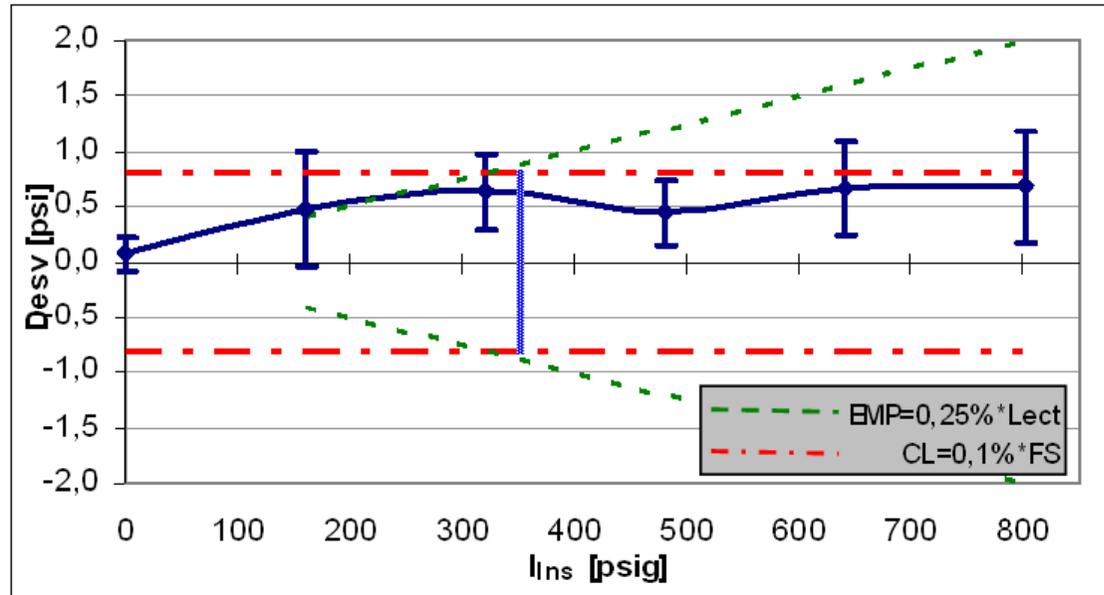


ANÁLISIS DE RESULTADOS

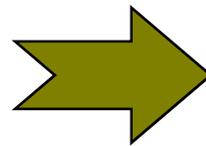
CALIBRACIÓN 2: TRANSMISOR + COMPUTADOR DE FLUJO

Características de la calibración

- Ajuste exacto en los niveles de presión
- Baja histéresis
- Alta repetibilidad



Variabilidad inferior al 0,02%

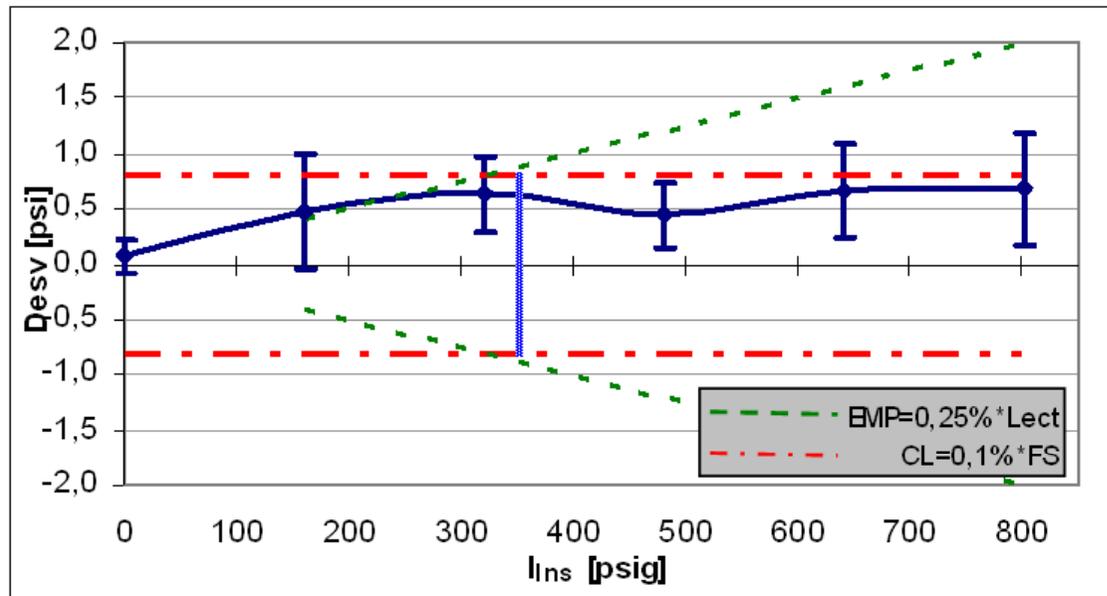


Incertidumbre cercana a 1/3 del límite especificado para la clase del SMP

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Características de la calibración

- Ajuste exacto en los niveles de presión
- Baja histéresis
- Alta repetibilidad



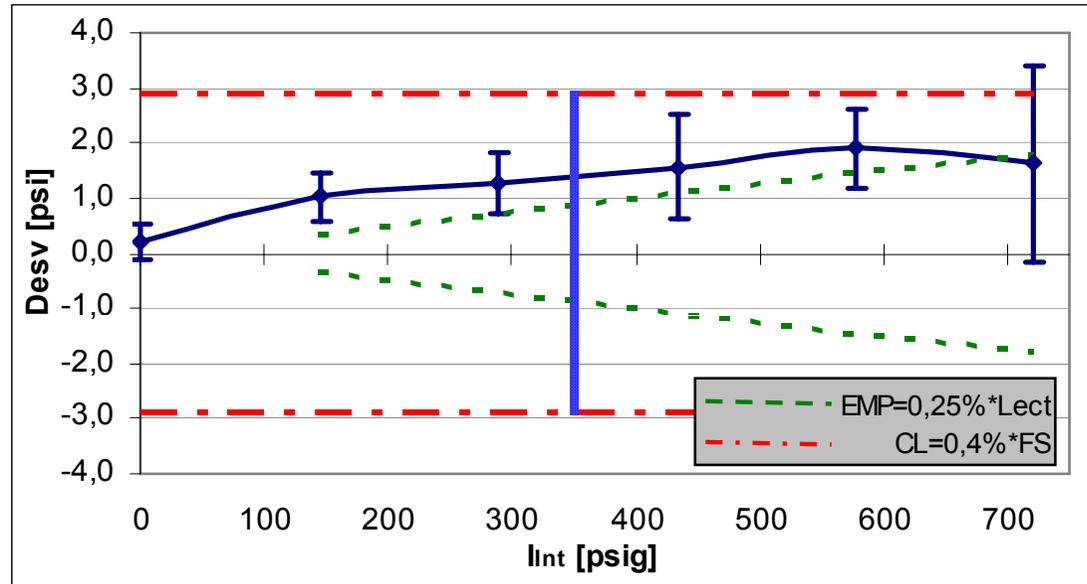
- Disminuir riesgo asociado a mediciones fuera de especificaciones
- Optimizar los períodos de calibración
- Mayor confianza y transparencia entre las partes involucradas

ANÁLISIS DE RESULTADOS

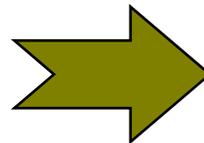
CALIBRACIÓN 2: TRANSDUCTOR + ELECTROCORRECTOR

Características de la calibración

- Ajuste exacto en los niveles de presión
- Baja histéresis
- Alta repetibilidad



Ajuste exacto de los niveles de presión



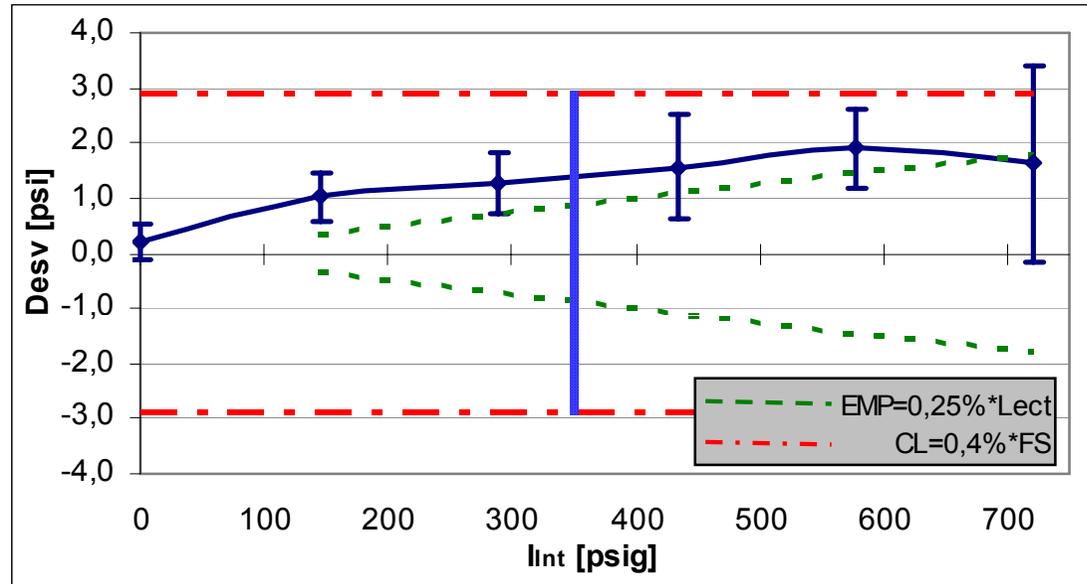
Reducir la incertidumbre hasta niveles cercanos a 1/3 del límite especificado para la clase del SMP

ANÁLISIS DE RESULTADOS

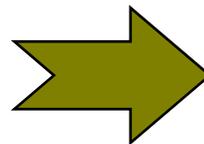
CALIBRACIÓN 2: TRANSDUCTOR + ELECTROCORRECTOR

Características de la calibración

- Ajuste exacto en los niveles de presión
- Baja histéresis
- Alta repetibilidad



Variabilidad inferior al 0,02%



Incertidumbre cercana a 1/5 del límite especificado para la clase del SMP

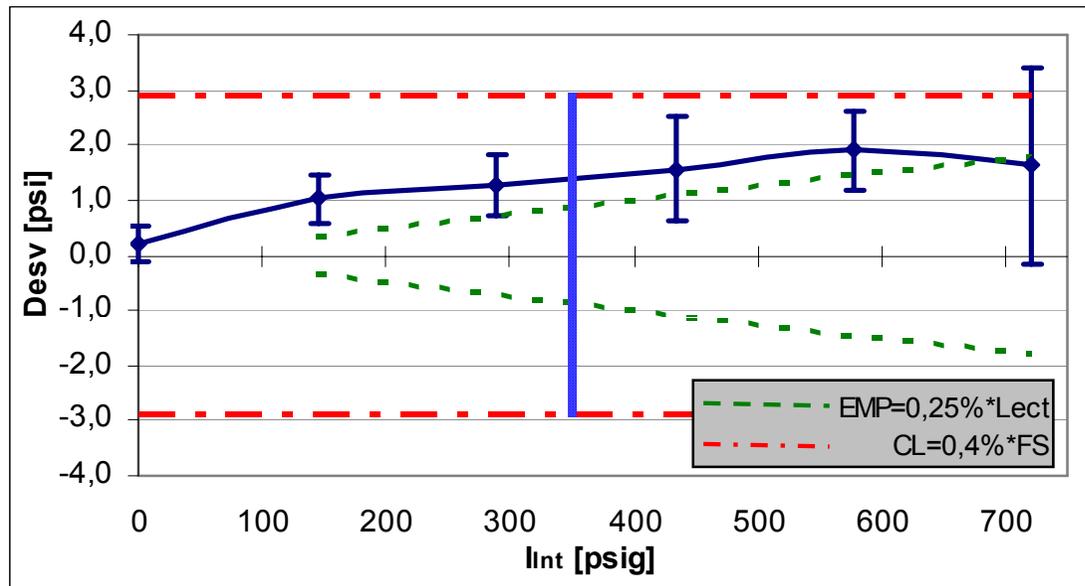


ANÁLISIS DE RESULTADOS

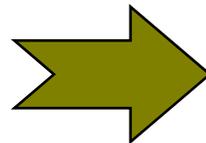
CALIBRACIÓN 2: TRANSDUCTOR + ELECTROCORRECTOR

Características de la calibración

- Ajuste exacto en los niveles de presión
- Baja histéresis
- Alta repetibilidad



Dificultad en el aseguramiento metrológico



Inapropiado desempeño metrológico del SMP, producto de una mala selección

CONCLUSIONES



- ☞ Las calibraciones de los SMP realizadas en campo, presentan limitaciones para la obtención de incertidumbres adecuadas.
- ☞ Aspectos como desempeño de los elementos generadores de presión, características del fluido hidráulico, estabilidad térmica, presencia de aire en la línea, fugas, entre otras, impiden la reproducción exacta de las presiones de calibración entre diferentes ciclos de ascenso y descenso, obteniendo menor repetibilidad.
- ☞ Cuando se realizan calibraciones bajo condiciones de variabilidad en la indicación, la repetibilidad y la histéresis pueden incrementarse y generar una alta incertidumbre en la medición.
- ☞ La selección de la clase, alcance de medición, y demás características metrológicas del SMP, debe ser realizada con base a las especificaciones contractuales, previo análisis de la incertidumbre de la medición esperada.



RECOMENDACIONES



- Realizar las calibraciones en campo bajo las mejores condiciones de estabilidad posible, caracterizando y controlando en cada caso, los efectos que contribuyen en mayor grado al incremento de la incertidumbre de la medición
- En SMP (Transmisor + Computador de flujo) donde no sea posible controlar los efectos de inestabilidad provenientes principalmente por factores ambientales, es recomendable realizar calibración en lazo abierto, calibrando el transmisor en un local a condiciones estables y generando al computador de flujo una señal eléctrica, previo análisis de la estimación de incertidumbre.
- Analizar los modelos matemáticos y procedimientos propuestos por normativas y recomendaciones aplicables a calibraciones en laboratorio, con el objeto de adaptarlos y validarlos para su uso en procesos de calibración en campo



**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**

