

## **Análisis de resultados “Control de evaluación de incertidumbre por diferencia de altura $\Delta h$ ”.**

A raíz de los resultados de desempeño de los laboratorios de calibración participantes en el ensayo de aptitud, magnitud presión, del año 2021, el Laboratorio Custodio de Patrones Nacionales de Presión (LCPN-P), junto al Instituto Nacional de Normalización (INN), llevaron a cabo una actividad formativa, libre e interactiva, donde se abordó el cálculo de la contribución de incertidumbre por la diferencia en altura entre los niveles de referencia de los instrumentos involucrados en una calibración de presión. Esta actividad fue realizada el día 21 de diciembre de 2021 en modalidad remota por medio de la plataforma Teams de Microsoft.

En dicha actividad se revisaron los contenidos de la guía “Contribución de incertidumbre por diferencia de altura  $\Delta h$ , De acuerdo a DKD-R 6-1”, desarrollando dos ejemplos, uno para caso neumático, con medio de transmisión tipo gas, y otro para un caso hidráulico, con medio de transmisión líquido.

Al finalizar, se propuso a los asistentes realizar una evaluación de los contenidos repasados en la actividad por medio del desarrollo de un ejercicio similar al revisado en el taller. De esta manera, el día 29 de diciembre se compartió con los participantes el material revisado en la actividad y un link para acceder al documento de evaluación con el nombre “Control de evaluación de incertidumbre por diferencia de altura  $\Delta h$ ”. Los resultados de este ejercicio debían ser enviados a más tardar el día 15 de marzo del año 2022.

En el presente documento se presenta el análisis de los resultados obtenidos e informados por los participantes del ejercicio “Control de evaluación de incertidumbre por diferencia de altura  $\Delta h$ ”.

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos por el Laboratorio Custodio de Patrones Nacionales de Presión (LCPN-P) para el ejercicio “Control de evaluación de incertidumbre por diferencia de altura  $\Delta h$ ”.

**Tabla 1:** Resultados obtenidos por el LCPN-P para ejercicio en sistema neumático y sistema hidráulico

Sistema neumático		Sistema hidráulico	
<b>Medio</b>	Aire	<b>Medio</b>	Aceite Sebacate
<b>Alcance</b>	1 bar	<b>Alcance</b>	1 bar
<b>Resolución</b>	0,01 bar	<b>Resolución</b>	0,01 bar
<b>Exactitud</b>	0,5 % F.S.	<b>Exactitud</b>	0,5 % F.S.
$h_{ref}$	90 mm	$h_{ref}$	90 mm
$h_{IBC}$	295 mm	$h_{IBC}$	295 mm
$U_h$	5 mm	$U_h$	5 mm
$p_n$	0,5 bar	$p_n$	0,5 bar
$\rho_{f,0}$	1,2 kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{f,0}$	914 kg/m <sup>3</sup>
$t_{amb}$	20,5 °C	$E$	4,93E+09 Pa
$p_{atm}$	950 hPa	$\Delta T$	1 °C
$\%HR$	42 % HR	$t_{amb}$	20,5 °C
$g_l$	9,79425 m/s <sup>2</sup>	$p_{atm}$	950 hPa
$\Delta h$	-0,205 m	$\%HR$	42 % HR
$\rho_f$	1,73704 kg/m <sup>3</sup>	$g_l$	9,79425 m/s <sup>2</sup>
$\rho_a$	1,12289 kg/m <sup>3</sup>	$\Delta h$	-0,205 m
$p_{\Delta h}$	-1,23310 Pa	$\alpha_v$	2,028E-05
$u_{\Delta h}$	0,01504 Pa	$\rho_f$	914,000000094 <sup>(1)</sup> kg/m <sup>3</sup>
		$\rho_a$	1,12289 kg/m <sup>3</sup>
		$p_{\Delta h}$	-1832,89406 Pa
		$u_{\Delta h}$	22,35237 Pa

<sup>(1)</sup> Este resultado se muestra con mayor cantidad de cifras significativas, ya que el primer valor decimal distinto de 0 se encuentra en la 8ª posición después de la coma, y para hacer notar que  $\rho_f \neq \rho_{f,0}$

Se recibieron los resultados de 10 laboratorios participantes. Todos los resultados fueron entregados en formato de planilla Excel, lo que facilitó el análisis del desarrollo realizado por los participantes para resolver el ejercicio propuesto.

Como criterio de evaluación del desempeño del laboratorio y de la compatibilidad entre los resultados informados y los obtenidos por el LCPN-P se utiliza la diferencia relativa entre el valor reportado por el laboratorio con el resultado conseguido por el LCPN-P:

$$Dif. relativa = \frac{|X_{Lab} - X_{LCPN-P}|}{|X_{LCPN-P}|} \times 100\%$$

Con  $X_{Lab}$  el valor reportado por el laboratorio analizado y  $X_{LCPN-P}$  el valor obtenido por el LCPN-P.

Bajo este criterio se compararán los resultados de  $p_{\Delta h}$  y  $u_{\Delta h}$ , tanto para el ejercicio neumático, como para el ejercicio hidráulico, y se considerará que existe coherencia entre los resultados cuando la diferencia relativa sea menor al 1%.

Se considerará también el correcto uso de las unidades en las ecuaciones para la evaluación del desempeño de los participantes, esto es, consistencia entre las unidades de valores de igual magnitud dentro de una ecuación.

## Laboratorio código IC-CT-P-22-02

Resultados sistema neumático (aire como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de correctamente los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correspondientes para cada caso.

El resultado final de  $p_{\Delta h}$  presenta una diferencia de un orden de magnitud con respecto a lo obtenido por el LCPN-P, esto debido a que el participante toma los valores de  $h_{ref}$  y  $h_{IBC}$  en cm, aunque en el enunciado estos son dados en mm, razón que causa el error en la conversión de unidades de estas medidas.

Datos Altura		Unidades	Conversor	Unidades
gl		9,79425	m/s <sup>2</sup>	
$\Delta h$		2,5	mm	0,0025 m
$h_{ref}$		90	cm	
$h_{IBC}$		295	cm	
$\Delta h$		-205	cm	-2,05 m

Figura 1.a: Sección de planilla entregada por participante IC-CT-P-22-02 con datos de altura en cm.

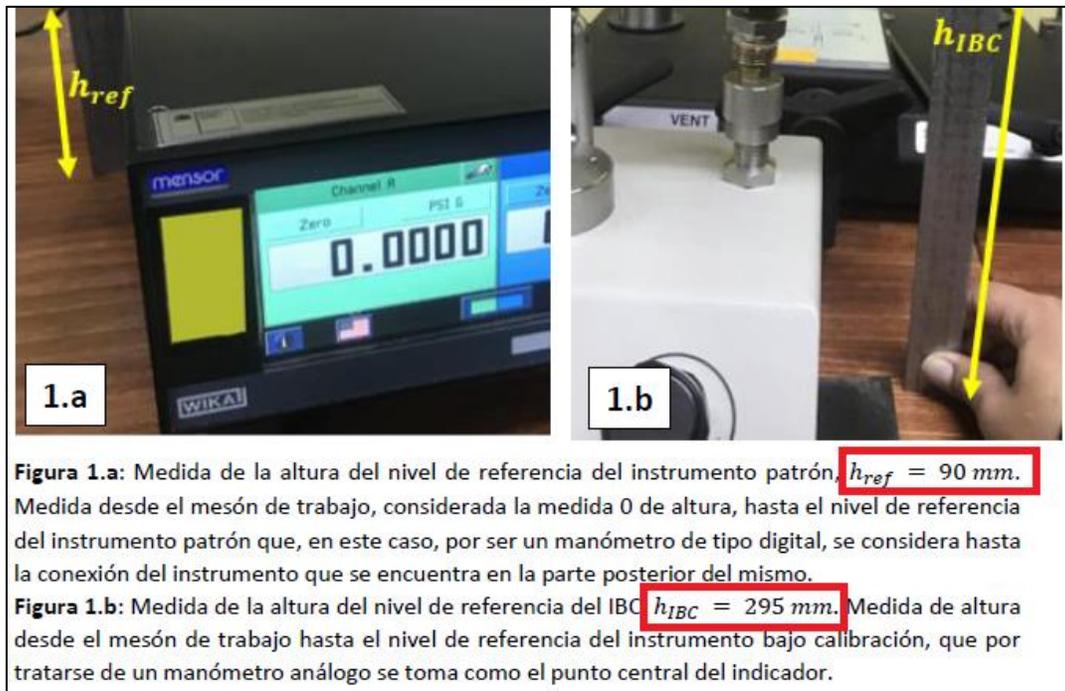


Figura 1.b: Fragmento del documento con el ejercicio propuesto con  $h_{IBC}$  y  $h_{ref}$  dados en mm.

Las diferencias relativas calculadas para el laboratorio fueron de 900% para  $p_{\Delta h}$ , y de 0% para  $u_{\Delta h}$ .

Resultados sistema hidráulico (aceite como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de manera correcta los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\alpha_v$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones apropiadas para cada caso.

Repite equivocación respecto a las unidades de  $h_{ref}$  y  $h_{IBC}$  lo que lleva a que el resultado final de  $p_{\Delta h}$  tenga una diferencia de un orden de magnitud con respecto a lo obtenido por el LCPN-P, de esta manera el resultado para las diferencias relativas calculadas es equivalente a lo encontrado en el ejercicio neumático, esto es, una diferencia del 900% para  $p_{\Delta h}$  y de 0% para  $u_{\Delta h}$ .

## Laboratorio código IC-CT-P-22-04

Resultados sistema neumático (aire como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de forma correcta los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correspondientes para cada caso.

Las diferencias relativas calculadas fueron de 0% y 0,014% para  $p_{\Delta h}$  y  $u_{\Delta h}$ , respectivamente. La mayor diferencia encontrada para  $u_{\Delta h}$  se debe a que el participante reportó sus resultados aproximados, a pesar de esto, las diferencias encontradas se mantuvieron por debajo del 1%.

Resultados sistema hidráulico (aceite como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa correctamente los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones adecuadas para cada caso.

Respecto al coeficiente de expansión volumétrica del fluido,  $\alpha_v$ , utiliza el valor de presión en punto de medida (0,5 bar) en lugar de la amplitud total del intervalo de calibración (1 bar) como se definió en la guía "Incertidumbre por diferencia de altura v.3", esto genera que existan pequeñas diferencias en los resultados de  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$  y  $u_{\Delta h}$ , respecto a lo obtenido por el LCPN-P.

Las diferencias relativas obtenidas fueron de 0,001% y 0,001% para  $p_{\Delta h}$  y  $u_{\Delta h}$ , respectivamente.

$$\alpha_v = \frac{\Delta p_m}{E \cdot \Delta T} = \frac{50000 \text{ Pa}}{4,93 \cdot 10^9 \text{ Pa} \cdot 1 \text{ }^\circ\text{C}} = 1,0142 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

**Figura 2.a:** Sección de planilla entregada por participante IC-CT-P-22-04 con evaluación de  $\alpha_v$ .

Donde  $E$  es el coeficiente de compresibilidad del fluido y  $\alpha_v$  el coeficiente de expansión volumétrica del fluido. Este último parámetro puede ser estimado a partir de la variación de la presión aplicada durante la medición,  $\Delta p$ , y la variación de temperatura que experimenta el sistema durante la calibración,  $\Delta T$ , de la forma:

$$\alpha_v = \frac{1}{\Delta T} \frac{\Delta p}{E} \quad (8)$$

Con  $E = 1,87 \times 10^9$  [Pa] para el aceite sebacate,  $\Delta p = p_{final} - p_{inicial} = 20$  [MPa] – 0 [MPa] = 20 [MPa] y  $\Delta T = 1$  [°C], el coeficiente de expansión volumétrica será:

**Figura 2.b:** Fragmento de guía “Contribución de incertidumbre por  $\Delta h$ ” donde se evalúa  $\alpha_v$  con la amplitud total del intervalo de calibración, en el caso del ejemplo 20 MPa, mientras que, el punto de medida en el ejemplo era  $p_n = 15,5$  MPa

## Laboratorio código IC-CT-P-22-10

### Resultados sistema neumático (aire como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de manera correcta los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones apropiadas para cada caso.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

### Resultados sistema hidráulico (aceite como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa apropiadamente los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\alpha_v$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correctas para cada caso.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

### Laboratorio código IC-CT-P-22-11

Resultados sistema neumático (aire como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa debidamente los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correspondientes para cada caso.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

Resultados sistema hidráulico (aceite como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa como corresponde los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\alpha_v$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correctas para cada caso, sin embargo, presenta inconsistencias entre las unidades de trabajo, al calcular la densidad del fluido de transmisión bajo condiciones de presión y temperatura,  $\rho_f$ , utiliza la presión nominal aplicada,  $p_n$ , en hPa, mientras que el coeficiente de compresibilidad del fluido,  $E$ , es utilizado en Pa. Recordar que las unidades de las distintas variables y parámetros empleadas en una ecuación deben ser consistentes entre sí, esto es, todas las variables de una misma magnitud deben ser trabajadas en la misma unidad, de esta forma si se utiliza  $p_n$  en hPa,  $E$  también debe estar en hPa.

15	intervalo de medición ( $\Delta p$ )	100000	Pa
16	Temperatura de referencia ( $t_r$ )	20	°C
17	presión de referencia ( $p_r$ )	1000	hPa
18			
19	presión nominal aplicada ( $p_n$ )	500	hPa
20			
21	medio de transmisión de presión	Aceite	
22	densidad estándar del fluido de transmisión ( $\rho_0$ )	914	kg/m <sup>3</sup>
23	coeficiente de dilatación térmica del fluido ( $\alpha_v$ )	0,000020	1/°C
24	coeficiente de compresibilidad del fluido (E) (tabla)	4,93E+09	Pa
25			
26	densidad del fluido de trans=	SES22*SES24/(SES24-E19)*((1+(SES23*(SES9-SI	

**Figura 3.a:** Sección de planilla entregada por participante IC-CT-P-22-11 con evaluación de  $\rho_f$  con inconsistencia de unidades.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0,001%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

## Laboratorio código IC-CT-P-22-15

### Resultados sistema neumático (aire como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de manera correcta los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones adecuadas para cada caso.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

### Resultados sistema hidráulico (aceite como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de como corresponde los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correctas para cada parámetro.

En caso del coeficiente de expansión volumétrica del fluido,  $\alpha_v$ , utiliza el valor de presión en punto de medida (0,5 bar) en lugar de la amplitud total del intervalo de calibración (1 bar) como se definió en la guía "Incertidumbre por diferencia de altura v.3", esto genera que existan pequeñas diferencias en los resultados de  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$  y  $u_{\Delta h}$ , respecto a lo obtenido por el LCPN-P.

29		Presion medida	0,5	bar
30	Sebacate	Densidad medio trans.	914	kg/m3
31		Temperatura ambiente	20,5	°C
32		Presion atmosferica	950	hPa
33		Humedad Relativa	42	%HR
34		Gravedad Local	9,79425	m/s2
35		Diferencia altura	-205	mm
36		u regla	5	mm
37		Coef. Compresibilidad	4,93E+09	Pa
38		Delta T	1	°C
39				
40		Densidad del aire	1,12288776	kg/m3
41		$\alpha_v$	$=(1*E29*100000)/(E38*E37)$	

Figura 4.a: Sección de planilla entregada por participante IC-CT-P-22-15 con evaluación de  $\alpha_v$ .

Donde  $E$  es el coeficiente de compresibilidad del fluido y  $\alpha_v$  el coeficiente de expansión volumétrica del fluido. Este último parámetro puede ser estimado a partir de la variación de la presión aplicada durante la medición,  $\Delta p$ , y la variación de temperatura que experimenta el sistema durante la calibración,  $\Delta T$ , de la forma:

$$\alpha_v = \frac{1}{\Delta T} \frac{\Delta p}{E} \quad (8)$$

Con  $E = 1,87 \times 10^9 [Pa]$  para el aceite sebacate,  $\Delta p = p_{final} - p_{inicial} = 20 [MPa] - 0 [MPa] = 20 [MPa]$  y  $\Delta T = 1 [^{\circ}C]$ , el coeficiente de expansión volumétrica será:

**Figura 4.b:** Fragmento de guía “Contribución de incertidumbre por  $\Delta h$ ” donde se evalúa  $\alpha_v$  con la amplitud total del intervalo de calibración, en el caso del ejemplo 20 MPa, mientras que, el punto de medida en el ejemplo era  $p_n = 15,5 MPa$

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0,001%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

### Laboratorio código IC-CT-P-22-16

Resultados sistema neumático (aire como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de apropiadamente los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correctas para cada caso.

En la evaluación de  $\rho_f$  hay una inconsistencia en el factor de conversión utilizado para llevar la temperatura de  $^{\circ}C$  a K. En el numerador de la ecuación utiliza 273,15 y en el denominador usa 273,17 lo que conduce a diferencias entre sus resultados y lo obtenido por el LCPN-P. Debe procurar usar igual factor de conversión para todos los valores de igual magnitud dentro de una ecuación.

18			
19	Presión nominal aplicada ( $p_n$ )	500	hPa
20			
21	Densidad estándar del fluido de transmisión ( $\rho_o$ )	1,2	kg/m <sup>3</sup>
22	=B21*(((B13+B19)*(B16-273,15))/(B17*(B11+273,17))))		

**Figura 5.a:** Sección de planilla entregada por participante IC-CT-P-22-16 con evaluación de  $\rho_f$  con inconsistencia en factor de conversión.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0,017%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

Resultados sistema hidráulico (aceite como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de debidamente los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correctas para cada caso.

Para el coeficiente de expansión volumétrica del fluido,  $\alpha_v$ , el participante solo indica valor numérico por lo que no se puede evaluar método de cálculo.

En la evaluación de  $\rho_f$  presenta inconsistencias entre las unidades de trabajo, utiliza la presión nominal aplicada,  $p_n$ , en hPa, mientras que el coeficiente de compresibilidad del fluido,  $E$ , es utilizado en Pa. Recordar que las unidades de las distintas variables y parámetros empleadas en una ecuación deben ser consistentes entre sí, esto es, todas las variables de una misma magnitud deben ser trabajadas en la misma unidad, de esta manera si se utiliza  $p_n$  en hPa,  $E$  también debe estar en hPa.

20			
21	Presión nominal aplicada ( $p_n$ )	500	hPa
22			
23	Densidad estándar del fluido de transmisión ( $\rho_0$ )	914	kg/m <sup>3</sup>
24	Coefficiente de dilatación térmica del fluido ( $\alpha_v$ )	0,00002	1/°C
25	Coefficiente de compresibilidad del fluido (E) (tabla)	4,97E+09	Pa
26			
27	Densidad del fluido de trans $p=F23*F25/((F25-F21)*((1+(F24*(F11-F18))))))$		

**Figura 5.b:** Sección de planilla entregada por participante IC-CT-P-22-16 con evaluación de  $\rho_f$  con inconsistencia de unidades.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0,001%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

### Laboratorio código IC-CT-P-22-17

Resultados sistema neumático (aire como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de forma apropiada los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correctas para cada caso.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

Resultados sistema hidráulico (aceite como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa correctamente los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\alpha_v$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones debidas para cada caso.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

**Laboratorio código IC-CT-P-22-19**

Resultados sistema neumático (aire como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de como corresponde los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_f$  aunque utiliza valores distintos a los dados en el enunciado del ejercicio.

En la evaluación de la densidad del aire utiliza el valor de humedad relativa como porcentaje (valor entre 0 y 1) cuando debe ser utilizada como un decimal positivo entre 0 y 100. Por otra parte, presenta un problema en la ecuación para el cálculo de  $\rho_a$  utiliza la ecuación:

$$\rho_a = \frac{0,34848 P_{atm} - (0,009 hr)^{0,061 t_{atm}}}{273,15 + t_{amb}}$$

Debe ser:

$$\rho_a = \frac{0,34848 P_{atm} - (0,009 hr) \exp(0,061 t_{atm})}{273,15 + t_{amb}}$$

Donde  $\exp()$  corresponde a la función  $e^x$ , con  $e$  la constante conocida como número de Euler o constante de Napier, número irracional con valor  $e = 2,718281828459045235360 \dots$

13		
14	$\rho_a$	$=(0,34848 * E8 - (0,009 * E16\%)^{(0,061 * E13)}) / (273,15 + E13)$
15		

**Figura 6.a:** Sección de planilla entregada por participante IC-CT-P-22-19 con evaluación de  $\rho_a$ .

Para la corrección del fluido de transmisión bajo condiciones de presión y temperatura utiliza la ecuación correcta, pero evalúa en valores distintos a los dados en el ejercicio.

Al calcular la corrección de la presión por la diferencia de altura,  $p_{\Delta h}$ , si bien el participante utiliza la ecuación correcta, invierte el signo obtenido para  $\Delta h$ . Recordar que este resultado debe utilizarse para corregir la presión en la referencia, por lo que el signo obtenido para  $\Delta h$  es importante y debe conservarse, ya que esto implicará un aumento de la presión de referencia, si el nivel de referencia

del estándar de medición se encuentra por sobre el nivel de referencia del calibrando, o bien una disminución de la presión de referencia cuando el nivel de referencia del patrón de medida se encuentra por debajo del nivel de referencia del calibrando.

3		-0,205 m
4	$\Delta h$	-20,5 cm
5		
6		
7		
8	$\rho_f$	3,5340 kg/m <sup>3</sup>
9		
10		
11		
12		
13		
14	$\rho_a$	1,1274 kg/m <sup>3</sup>
15		
16		
17		
18	$p_{\Delta h}$	=(J8-J14)*E18*-J3
19		

Figura 6.b: Sección de planilla entregada por participante IC-CT-P-22-19 con evaluación de  $p_{\Delta h}$  con cambio de signo de  $\Delta h$ .

Finalmente, para el cálculo de  $u_{\Delta h}$  no usa el resultado de  $\rho_a$  obtenido de su cálculo, sino que una constante fija y usa un valor de  $g_l$  distinto al indicado en el enunciado del ejercicio.

13		
14	$\rho_a$	1,1274 kg/m <sup>3</sup>
15		
16		
17		
18	$p_{\Delta h}$	4,8320 Pa
19		
20		
21	$u_{\Delta h}$	=(J8 1,1265 *9,79424696*0,005

Figura 6.c: Sección de planilla entregada por participante IC-CT-P-22-19 con evaluación de  $u_{\Delta h}$  con valor de  $g_l$  distinto al dado en enunciado del ejercicio y  $\rho_a$  distinto al calculado por el participante.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 492% para  $p_{\Delta h}$ , y de 684% para  $u_{\Delta h}$ .

Resultados sistema hidráulico (aceite como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de manera correcta  $\Delta h$ .

Presenta los mismos problemas encontrados en el desarrollo del ejercicio neumático para la determinación de la densidad del aire,  $\rho_a$ ,  $p_{\Delta h}$  y  $u_{\Delta h}$ .

No calcula el coeficiente de dilatación con la temperatura del fluido,  $\alpha_v$ .

Finalmente, para la corrección de la densidad del fluido bajo condiciones de presión y temperatura, utiliza la ecuación correspondiente al modelo de un fluido tipo gas en lugar del modelo de corrección para un fluido de tipo líquido lo que resulta en un valor de  $\rho_f$  sobreestimado, de esta manera sus resultados difieren significativamente de los obtenidos por el LCPN-P, alcanzando diferencias relativas de 395% para  $p_{\Delta h}$ , y de 489% para  $u_{\Delta h}$ .

DESARROLLO CONTROL DE EVALUACIÓN 2, CÓDIGO IC-CT-P-22-19						
DATOS						
	Altura Patron	$h_{ref}$	9 cm	90 mm	$\Delta h$	-0,205 m
	Altura Instr. bajo calibración	$h_{IBC}$	29,5 cm	295 mm		-20,5 cm
	Densidad del Aceite	$\rho_0$	914 kg/m <sup>3</sup>		$\rho_f$	=E7*(((G8+G9)*(E11+273,15))/(G12*(E13+273,15)))
	Presion Atmosferica	$p_{atm}$	950 hPa	95000 Pa		
	Presion Nominal Aplicada	$p_n$	2 bar	200000 Pa		
	Temperatura de referencia	$t_r$	20 °C			
	Presion de referencia	$p_r$	1 bar	100000 Pa	$\rho_a$	1,1274 kg/m <sup>3</sup>
	Temperatura	$t$	20,5 °C			

**Figura 6.d:** Sección de planilla entregada por participante IC-CT-P-22-19 con evaluación de  $\rho_f$  para fluido líquido con modelo para  $\rho_f$  tipo gas.

### Laboratorio código IC-CT-P-22-20

Resultados sistema neumático (aire como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa como corresponde los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correctas para cada caso, sin embargo, utiliza un valor para  $g_l$  distinto al dado en el enunciado del ejercicio, esto causa que existan pequeñas diferencias entre los resultados reportados por el participante con los obtenidos por el LCPN-P.

Las diferencias relativas calculadas para el participante fueron de  $(3 \times 10^{-5})\%$  para  $p_{\Delta h}$ , al igual que para  $u_{\Delta h}$ .

Resultados sistema hidráulico (aceite como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de correctamente los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\alpha_v$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones adecuadas para cada caso, sin embargo, utiliza valores distintos a los dados en el enunciado del ejercicio para  $g_l$  y  $E$ , por lo que sus resultados difieren a lo obtenido por el LCPN-P.

Las diferencias relativas calculadas para el participante fueron de  $(3 \times 10^{-5})$  % para  $p_{\Delta h}$ , al igual que para  $u_{\Delta h}$ .

## **Laboratorio código IC-CT-P-22-21**

Resultados sistema neumático (aire como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de manera correcta los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correspondientes para cada caso.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

Resultados sistema hidráulico (aceite como medio de transmisión de la presión):

El participante evalúa de debidamente los parámetros  $\Delta h$ ,  $\rho_a$ ,  $\alpha_v$ ,  $\rho_f$ ,  $p_{\Delta h}$ ,  $u_{\Delta h}$ , aplicando las ecuaciones correctas para cada caso.

Las diferencias relativas encontradas para el participante fueron de 0%, tanto para  $p_{\Delta h}$ , como para  $u_{\Delta h}$ .

## Conclusiones

Se recibieron y analizaron los resultados de 10 laboratorios al ejercicio “Control de evaluación de incertidumbre por diferencia de altura  $\Delta h$ ”, encontrando un buen desempeño en 6 de los 10 reportes recibidos al hallar que las diferencias relativas calculadas, para los resultados de  $p_{\Delta h}$  y  $u_{\Delta h}$ , estuvieron muy por debajo del 1% y que hubo un uso correcto de las unidades y ecuaciones. Si bien, se encontraron observaciones como problemas en factores de conversión, uso de valores distintos a los dados en el enunciado y confusiones en el uso de algunos parámetros dentro de las ecuaciones, se tiene que la mayoría de los participantes que reportaron resultados comprendió el planteamiento expuesto en el ejercicio y aplicó correctamente las ecuaciones presentes en la guía “Contribución de incertidumbre por diferencia de altura  $\Delta h$ , De acuerdo a DKD-R 6-1” versión 3.0 y revisadas en el taller del mismo nombre realizado en diciembre de 2021, entendiendo las diferentes consideraciones a tener en cuenta cuando se trabaja con un fluido de tipo gas, como es el aire, o de tipo líquido como es un aceite.

**Tabla 2:** Diferencias relativas calculadas para  $p_{\Delta h}$  y  $u_{\Delta h}$  a partir de los resultados al ejercicio “Control de evaluación de incertidumbre por diferencia de altura  $\Delta h$ ” reportados por los participantes

		<b>Aire</b>	<b>Aceite</b>
<b>IC-CT-P-22-02</b>	<i>Dif. relativa <math>p_{\Delta h}</math></i>	900%	900%
	<i>Dif. relativa <math>u_{\Delta h}</math></i>	0%	0%
<b>IC-CT-P-22-04</b>	<i>Dif. relativa <math>p_{\Delta h}</math></i>	0%	0,001%
	<i>Dif. relativa <math>u_{\Delta h}</math></i>	0,014%	0,001%
<b>IC-CT-P-22-10</b>	<i>Dif. relativa <math>p_{\Delta h}</math></i>	0%	0%
	<i>Dif. relativa <math>u_{\Delta h}</math></i>	0%	0%
<b>IC-CT-P-22-11</b>	<i>Dif. relativa <math>p_{\Delta h}</math></i>	0%	0,001%
	<i>Dif. relativa <math>u_{\Delta h}</math></i>	0%	0,001%
<b>IC-CT-P-22-15</b>	<i>Dif. relativa <math>p_{\Delta h}</math></i>	0%	0,001%
	<i>Dif. relativa <math>u_{\Delta h}</math></i>	0%	0,001%
<b>IC-CT-P-22-16</b>	<i>Dif. relativa <math>p_{\Delta h}</math></i>	0,017%	0,001%
	<i>Dif. relativa <math>u_{\Delta h}</math></i>	0,017%	0,001%
<b>IC-CT-P-22-17</b>	<i>Dif. relativa <math>p_{\Delta h}</math></i>	0%	0%
	<i>Dif. relativa <math>u_{\Delta h}</math></i>	0%	0%
<b>IC-CT-P-22-19</b>	<i>Dif. relativa <math>p_{\Delta h}</math></i>	492%	395%
	<i>Dif. relativa <math>u_{\Delta h}</math></i>	684%	489%
<b>IC-CT-P-22-20</b>	<i>Dif. relativa <math>p_{\Delta h}</math></i>	3,10E-05%	3,10E-05%
	<i>Dif. relativa <math>u_{\Delta h}</math></i>	3,10E-05%	3,10E-05%
<b>IC-CT-P-22-21</b>	<i>Dif. relativa <math>p_{\Delta h}</math></i>	0%	0%
	<i>Dif. relativa <math>u_{\Delta h}</math></i>	0%	0%

En la tabla 2 se ordenan las diferencias relativas halladas para cada participante al comparar los resultados reportados de  $p_{\Delta h}$  y  $u_{\Delta h}$  con los obtenidos por el LCPN-P. En color rojo se destacan los resultados no compatibles al obtenerse una diferencia relativa superior al 1%. En color amarillo se tienen diferencias menores al 1%, pero que igualmente se consideran incompatibles por presentar algún error en el desarrollo del ejercicio, como es la inconsistencia en las unidades de trabajo. Finalmente, en color verde se tienen los valores de diferencia relativa menores al 1% que se consideran compatibles y concordantes con los resultados obtenidos por el LCPN-P al realizar el procedimiento de acuerdo a lo visto en el taller y utilizar las formulaciones correctamente.

A continuación, se resumen los hallazgos tras el análisis realizado a los resultados reportados:

- 1-. De los reportes recibidos, 3 de los 10 participantes llegaron a valores equivalentes a los obtenidos por el LCPN-P, consiguiendo diferencias relativas de 0% en todos los resultados comparados, siendo estos los laboratorios identificados como IC-CT-P-22-10, IC-CT-22,17 e IC-CT-22-21.
- 2-. Los participantes identificados como IC-CT-P-22-02, IC-CT-P-22-11 e IC-CT-P-22-16 presentaron problemas con uso de unidades en alguna de sus ecuaciones y/o factores de conversión entre unidades.
- 3-. Los laboratorios con código IC-CT-P-22-04 e IC-CT-P-22-15 tuvieron una observación al utilizar  $p_n$  en el cálculo del coeficiente de dilatación del fluido,  $\alpha_v$ , en lugar de la amplitud total del rango de medida del instrumento, como fue convenido y expuesto en la guía “Contribución de incertidumbre por diferencia de altura  $\Delta h$ , De acuerdo a DKD-R 6-1” versión 3.0.
- 4-. El laboratorio identificado como IC-CT-P-22-20 usó valores diferentes a los proporcionados en el ejercicio, sin embargo, el uso de las formulaciones de manera correcta condujo a resultados compatibles con los obtenidos por el LCPN-P, consiguiendo diferencias relativas muy cercanas a 0%.
- 5-. El laboratorio con código IC-CT-P-22-19 presentó problemas en el cálculo de la densidad del aire, corrección por diferencia de altura, incertidumbre por diferencia de altura, densidad del fluido de trabajo para el caso hidráulico y utilizó valores diferentes a los dados en el enunciado del ejercicio, lo que resultó en valores sobrestimados y diferencias relativas superiores al 100%, de esta manera sus resultados no se consideran compatibles con los obtenidos por el LCPN-P. Se recomienda revisar la guía “Contribución de incertidumbre por diferencia de altura  $\Delta h$ , De acuerdo a DKD-R 6-1” versión 3.0

## Referencias

Guía EURAMET cg-3 Calibration of Pressure Balances, Version 1.0, Edición 03/2011

Guía DKD-R 6-1 Calibration of Pressure Gauges, Edición 03/2014

International Recommendation OIML R 111-1, Edición 2004

[https://www.engineeringtoolbox.com/fluid-density-temperature-pressure-d\\_309.html](https://www.engineeringtoolbox.com/fluid-density-temperature-pressure-d_309.html)