



Bogotá, 5 de Agosto de 2019

## Verificación de la implementación de la relación de Beer-Lambert

El sistema Tecni-RTM implementa la corrección de las lecturas de humo especificadas en la NTC4231 en el Anexo B, la cual se realiza mediante la aplicación de la relación de Beer-Lambert que se enuncia en la siguiente ecuación:

$$N_s = \left( 1 - \left( 1 - \frac{N_m}{100\%} \right)^{\frac{L_s}{L_m}} \right) * 100\%$$

Ecuación 1

El sistema Tecni-RTM es compatible con varias marcas de opacímetro, cada uno con características diferentes. A continuación se lista la forma de realizar la verificación de la implementación de la relación de Beer-Lambert para cada caso:

### Caso TEN y Motorscan

Para estos dos tipos de opacímetro, tanto la LTOE física del equipo como la reportada es de 430 mm y el haz de luz atraviesa la columna de humo una sola vez, por lo tanto el procedimiento es directo:

La opacidad del filtro  $N$  se calcula a partir del valor de porcentaje de transmitancia reportado en el certificado  $T$  de calibración mediante la siguiente ecuación:

$$N = \left( 1 - \frac{T}{100\%} \right) * 100\%$$

Ecuación 2

- Realice una verificación de linealidad del opacímetro introduciendo el valor de densidad de humo  $K$  de los dos filtros calculado mediante la ecuación 3. El valor de LTOE es de 0,43.

$$K = -\frac{\ln \left( 1 - \frac{N_m}{100\%} \right)}{LTOE}$$

Ecuación 3

- Asegúrese de que en la configuración del equipo, el valor de LTOE debe ser de 430.



- Realice una prueba de opacidad con un valor de diámetro de tubo de escape de 430, el resultado en el FUR debería ser el mismo valor de opacidad reportado en el certificado de calibración dentro del rango de tolerancia permitido por la norma técnica.
- Realice una prueba de opacidad con un valor de diámetro de tubo de escape menor, el resultado en el FUR debería ser el calculado mediante la ecuación 1 reemplazando los valores de  $N_m$  por el valor de opacidad del certificado,  $L_s$  por el valor de diámetro del tubo de escape y  $L_m$  por 430

**Ejemplo:**

Suponga que el valor de transmitancia del filtro de acuerdo a su certificado de calibración es  $T = 49,88\%$

De acuerdo con la ecuación 3, el valor de densidad de humo  $K$  que se deberá ingresar en el sistema Tecni-RTM a la hora de realizar la verificación de dicho filtro sera 1.9109 (nótese que debe usar separador decimal punto)

$$K = 1,9109$$

El valor de opacidad que debe ser obtenido al hacer una prueba de opacidad con diámetro del tubo de escape 430 se puede calcular mediante la ecuación 2:

$$N = 50,1\% \pm 2\%$$

Si se usa un valor de 51 como diámetro de tubo de escape, el valor obtenido en el FUR podrá ser obtenido mediante la ecuación 1:

$$N_s = 7,9\% \pm 0,2\%$$

**Caso BrainBee**

En este opacímetro, la LTOE es de 200 mm y el reporte se hace a este mismo valor, el haz de luz atraviesa la columna de humo una sola vez, por lo tanto el procedimiento es directo. La opacidad del filtro  $N$  se calcula a partir del valor de porcentaje de transmitancia reportado en el certificado  $T$  de calibración mediante la ecuación 2.

- Realice una verificación de linealidad del opacímetro introduciendo el valor de densidad de humo  $K$  de los dos filtros calculado mediante la ecuación 3. El valor de LTOE es de 0,2.
- Asegúrese de que en la configuración del equipo, el valor de LTOE debe ser de 200.
- Realice una prueba de opacidad con un valor de diámetro de tubo de escape de 200, el resultado en el FUR debería ser el mismo valor de opacidad reportado en el certificado de calibración dentro del rango de tolerancia permitido por la norma técnica.
- Realice una prueba de opacidad con un valor de diámetro de tubo de escape menor, el



resultado en el FUR debería ser el calculado mediante la ecuación 1 reemplazando los valores de  $N_m$  por el valor de opacidad del certificado,  $L_s$  por el valor de diámetro del tubo de escape y  $L_m$  por 200

### **Ejemplo:**

Suponga que el valor de transmitancia del filtro de acuerdo a su certificado de calibración es  $T = 49,88\%$

De acuerdo con la ecuación 3, el valor de densidad de humo  $K$  que se deberá ingresar en el sistema Tecni-RTM a la hora de realizar la verificación de dicho filtro sera 1.9109 (nótese que debe usar separador decimal punto)

$$K = 1,9109$$

El valor de opacidad que debe ser obtenido al hacer una prueba de opacidad con diámetro del tubo de escape 200 se puede calcular mediante la ecuación 2:

$$N = 50,1\% \pm 2\%$$

Si se usa un valor de 51 como diámetro de tubo de escape, el valor obtenido en el FUR podrá ser obtenido mediante la ecuación 1:

$$N_s = 16,2\% \pm 0,5\%$$

### **Caso Capelec**

En este opacímetro, la LTOE es de 215 mm y el reporte se hace a este mismo valor, el haz de luz atraviesa la columna de humo una sola vez, por lo tanto el procedimiento es directo. La opacidad del filtro  $N$  se calcula a partir del valor de porcentaje de transmitancia reportado en el certificado  $T$  de calibración mediante la ecuación 2.

- Realice una verificación de linealidad del opacímetro introduciendo el valor de densidad de humo  $K$  de los dos filtros calculado mediante la ecuación 3. El valor de LTOE es de 0,215.
- Asegúrese de que en la configuración del equipo, el valor de LTOE debe ser de 200.
- Realice una prueba de opacidad con un valor de diámetro de tubo de escape de 200, el resultado en el FUR debería ser el mismo valor de opacidad reportado en el certificado de calibración dentro del rango de tolerancia permitido por la norma técnica.
- Realice una prueba de opacidad con un valor de diámetro de tubo de escape de 51, el resultado en el FUR debería ser el calculado mediante la ecuación 1 reemplazando los valores de  $N_m$  por el valor de opacidad del certificado,  $L_s$  por 51 y  $L_m$  por 215



### Ejemplo:

Suponga que el valor de transmitancia del filtro de acuerdo a su certificado de calibración es  $T = 49,88\%$

De acuerdo con la ecuación 3, el valor de densidad de humo  $K$  que se deberá ingresar en el sistema Tecni-RTM a la hora de realizar la verificación de dicho filtro sera 1.9109 (nótese que debe usar separador decimal punto)

$$K = 1,9109$$

El valor de opacidad que debe ser obtenido al hacer una prueba de opacidad con diámetro del tubo de escape 200 se puede calcular mediante la ecuación 2:

$$N = 50,1\% \pm 2\%$$

Si se usa un valor de 51 como diámetro de tubo de escape, el valor obtenido en el FUR podrá ser obtenido mediante la ecuación 1:

$$N_s = 15,2\% \pm 0,5\%$$

### Caso Sensors

El opacímetro Sensors tiene una columna de humo física de 172 mm, pero cuenta con un diseño especial en el que el haz de luz atraviesa dicha columna de humo dos veces, por lo cual su longitud de trayectoria óptica efectiva (LTOE) es de 364 mm.

Lo anterior también implica que cuando se inserta un filtro de opacidad, este será atravesado dos veces por el haz de luz, por lo que la opacidad del filtro no se calcula con la ecuación 2 sino mediante la siguiente ecuación:

$$N = \left( 1 - \left( \frac{T}{100\%} \right)^2 \right) * 100\%$$

Ecuación 4

Para verificar la relación de Beer-Lambert en opacímetros Sensors, puede usar el siguiente procedimiento:

- Realice una verificación de linealidad del opacímetro introduciendo el valor de densidad de humo  $K$  de los dos filtros calculado mediante la ecuación 3. El valor de LTOE es de 0,364. Recuerde que el valor de  $N_m$  se obtiene mediante la ecuación 4
- Realice una prueba de opacidad con un valor de diámetro de tubo de escape de 364, el



resultado en el FUR debería ser el mismo valor de opacidad reportado en el certificado de calibración dentro del rango de tolerancia permitido por la norma técnica.

- Realice una prueba de opacidad con un valor de diámetro de tubo de escape menor, el resultado en el FUR debería ser el calculado mediante la ecuación 1 reemplazando los valores de  $N_m$  por el valor de opacidad del certificado,  $L_s$  por el valor de diámetro del tubo de escape y  $L_m$  por 364

En la configuración del equipo, se debe seleccionar el protocolo y la LTOE de alguno de los dos casos que se mencionan a continuación:

### **Configurado a 430 mm de LTOE**

Al pedir al equipo el reporte del dato de opacidad, el opacímetro Sensors realiza un cálculo interno mediante la ecuación de Beer-Lambert, entregando el valor normalizado a 430 mm, por lo que en la configuración del equipo el valor de LTOE debe ser de 430 y el protocolo configurado debe ser *lcs*.

Debido a lo anterior, al realizar la verificación de linealidad, se observará en el software como valor de opacidad el valor de opacidad calculado a partir del certificado de calibración del filtro y luego corregido mediante la ecuación 1 desde 364 mm a 430 mm.

#### **Ejemplo:**

Suponga que el valor de transmitancia del filtro de acuerdo a su certificado de calibración es  $T = 49,88\%$ , en este caso, durante la verificación de linealidad el valor observado en el software será  $80,4\%$

### **Configurado a 364 mm de LTOE**

Recientemente, Tecnimaq Ingeniería implementó en su sistema Tecni-RTM un método para leer la opacidad del opacímetro reportada a 364 mm para evitar confusiones en el momento de realizar la verificación con los filtros de densidad neutra. Para utilizar esta alternativa, se debe configurar como protocolo del equipo *lcs\_364* y como LTOE 364.

En este caso, al realizar la verificación de linealidad, el valor que se mostrará en el software será el calculado mediante la ecuación 4.

#### **Ejemplo:**

Suponga que el valor de transmitancia del filtro de acuerdo a su certificado de calibración es  $T = 49,88\%$

De acuerdo con la ecuación 3, el valor de densidad de humo K que se deberá ingresar en el sistema Tecni-RTM a la hora de realizar la verificación de dicho filtro será 3.8217 (nótese que debe usar separador decimal punto)



$$K = 3,8217$$

El valor de opacidad que debe ser obtenido al hacer una prueba de opacidad con diámetro del tubo de escape 200 se puede calcular mediante la ecuación 2:

$$N = 75,1\% \pm 4\%$$

Si se usa un valor de 51 como diámetro de tubo de escape, el valor obtenido en el FUR podrá ser obtenido mediante la ecuación 1:

$$N_s = 17,1\% \pm 0,3\%$$

---

Ing. Luis Alejandro Mongua López  
Director de ingeniería  
Tecnimaq Ingeniería SAS