



**Calibrador de Verificación en Campo Compatible EPA-FRM**

***Trazabilidad NIST– ISO 9001:2008***

BGI Incorporated  
58 Guinan Street  
Waltham, MA 02451  
Tel: 781.891.9380  
Fax: 781.891.8151  
[www.bgiusa.com](http://www.bgiusa.com)  
[info@bgiusa.com](mailto:info@bgiusa.com)

### NOTICIA

Cuando enciende el deltaCal la pantalla inicial muestra brevemente la versión de la programación. Si el número empieza con **2.3** o *menor* este manual aplica para este instrumento. Si la versión empieza con **2.4** cubre un ligero cambio en el intervalo el cual es detallado en el **Apéndice C**. Si la versión empieza con **2.5** o *mayor* contiene una programación mejorada la cual le permite mostrar mayor información significativa en la pantalla. Estas mejoras se cubren en el **Apéndice D**.

### Contenido.

Sección	Tópico	Página
1.0	Inicio Rápido	3
2.0	Introducción	3
3.0	Especificaciones	5
4.0	Principio de Operación	9
5.0	Ajuste del Instrumento	9
6.0	Uso del deltaCal	12
7.0	Software	14
8.0	Mantenimiento	14
9.0	Seguridad	14
10.0	Garantía	15
Apéndice A	Trazabilidad NIST	15
Apéndice B	Uso del deltaCal con Muestreadores No Volumétricos	18
Apéndice C	Cambio de intervalo para aplicaciones más vasto	19
Apéndice D	Expansión de la Programación y aplicaciones	19

## 1.0 Inicio Rápido

Con el objeto de poner al deltaCal en uso inmediato como dispositivo FRM de Verificación, siga estos pasos.

Paso 1: Saque el deltaCal de su estuche y enciéndalo.

Paso 2: Quite la admisión de "10 micras" de su muestreador FRM, pero deje el tubo de bajada de 12 pulgadas en su lugar.

Paso 3: Instale la cabeza de medición del deltaCal en el tubo de bajada de 12 pulgadas en lugar de la admisión de 10 micras. Si el instrumento que va a verificar no está funcionando, enciéndalo ahora.

Paso 4: Ahora podrá leer la pantalla del deltaCal para determinar el caudal volumétrico, la temperatura ambiental y la presión barométrica.

Paso 5: Apague la unidad verificada, abra el soporte del cartucho del filtro y quite el cartucho. Ahora vera la sonda de medición de la temperatura del filtro. Conecte al modulo de control la sonda manual de temperatura proporcionada con el deltaCal. Sostenga la punta de la sonda a 1 cm de la sonda de la temperatura del filtro, sin tocarla. Asegúrese que ningún sensor está expuesto a la luz solar directa. Ahora puede verificar la temperatura del filtro.

Refiérase a la Figura 1 para ver el diagrama con la aplicación inmediata.

## 2.0 Introducción

El deltaCal de BGI es un dispositivo para la verificación del flujo compatible con EPA FRM, basado en el principio del Venturi<sup>1</sup> para la medición del flujo de aire. Ha sido desarrollado por BGI y fabricado en las instalaciones de BGI certificadas ISO 9000:2000. El instrumento proporciona una indicación en LCD del *Caudal Volumétrico*, la presión barométrica, la temperatura ambiental y una prueba de la temperatura del filtro. Opera ya sea con cuatro baterías alcalinas AA o con un módulo eléctrico (proporcionado). Los componentes electrónicos están alojados en el módulo de control.

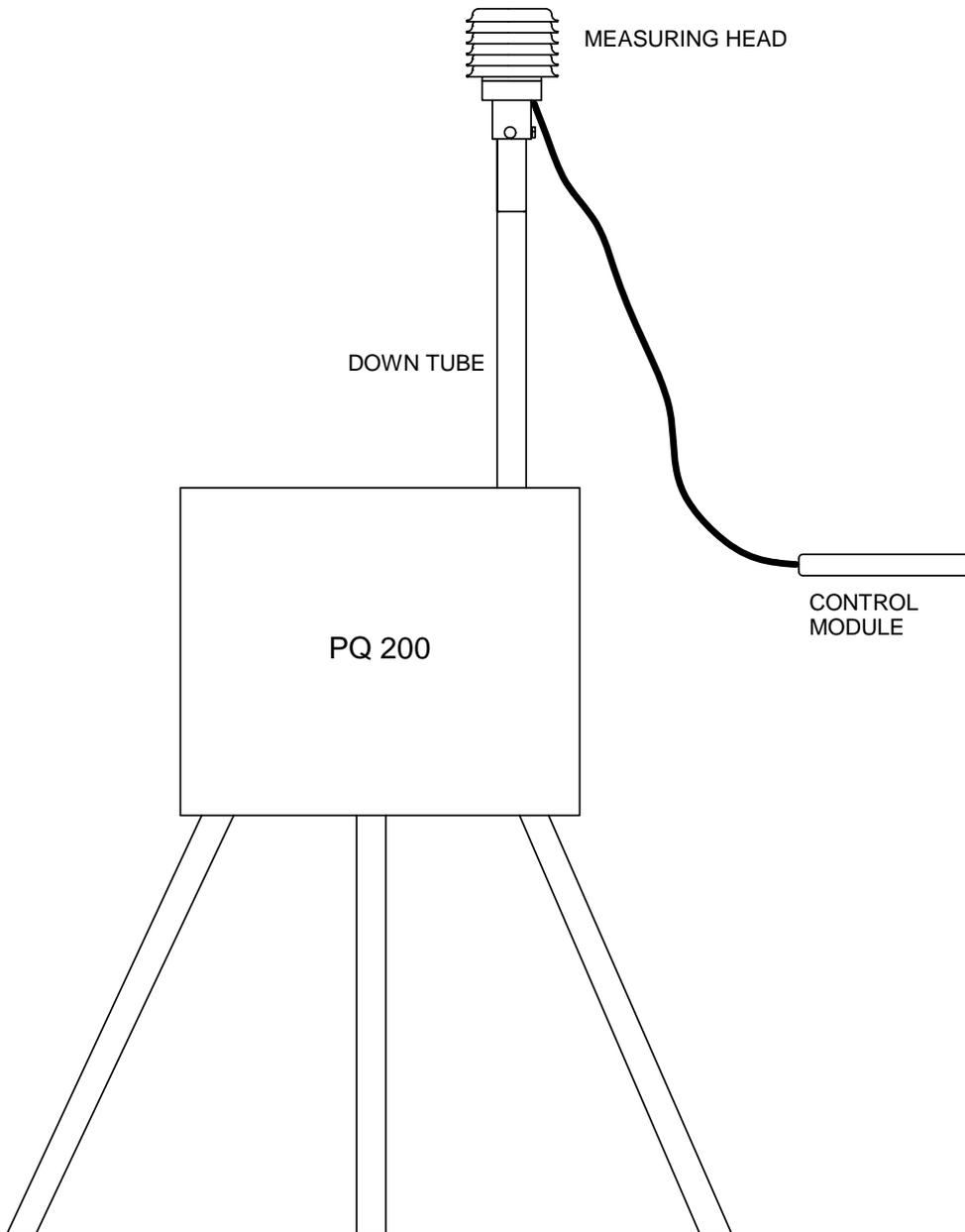


Figure 1- Instalation of deltacal on an FRM

2171

### 3.0 Especificaciones

Intervalo del caudal	2 – 20 Lpm ( $\pm 1\%$ )
Intervalo operativo de la Temperatura	-30° C a 55° C
Intervalo de lectura de la Temperatura	-30° C a 55° C ( $\pm .5^\circ$ C)
Intervalo de la Presión Barométrica	400 a 800 mm de Hg ( $\pm 5$ mm)

#### Dimensiones

Cabeza de Medición	5 pulg. Máx OD (12.7 cm) X 10 pulg. altura (25.4 cm)
Módulo de Control	8 pulg. alto (20.3 cm) X 4 pulg. ancho (10.15 cm) X 1.7 pulg. espesor ( 4.32 cm)
Peso Combinado	2.2 lbs (1 kg)

#### Sonda Manual de Temperatura

Longitud del cable	33 pulg (83.8 cm)
Longitud de la sonda	5 pulg (12.7 cm)

#### Estuche

Dimensiones	18 pulg ancho (45.7 cm) X 13 pulg alto (33 cm) X 7 pulg espesor (17.8 cm)
Peso completo con su contenido	5.5 lbs (2.5 kg)

#### Un instrumento completo incluye

Cantidad	Descripción	Catálogo/Parte No.
1	deltaCal	DC-1
1	Sonda de Temperatura	DC-2
1	Fuente de Poder	DC-3 (120/240V)
4	Baterías AA Extra	Reemplazos – se obtienen localmente por el usuario
1	Instructivo	Descargue el archivo PDF del sitio en Internet de BGI
1	Estuche Rígido	DC-4
1	Disco Software	DC-5

En la Figura 2 se muestra al deltaCal, en su estuche

Suministros de Reemplazo (no se incluyen con la compra inicial).

1	Juego con 4 "O" rings para el tapón de presión	DC-6
1	Reemplazo de tornillos de cabeza moleteada (c/u)	DC-7
1	Reemplazo de receptáculo de "O" rings (2)	X010

#### Adaptadores para aplicaciones no FRM

DC-8	deltaCal a ¼ pulg. lengüeta de manguera
DC-9	deltaCal a 5/16 pulg. lengüeta de manguera

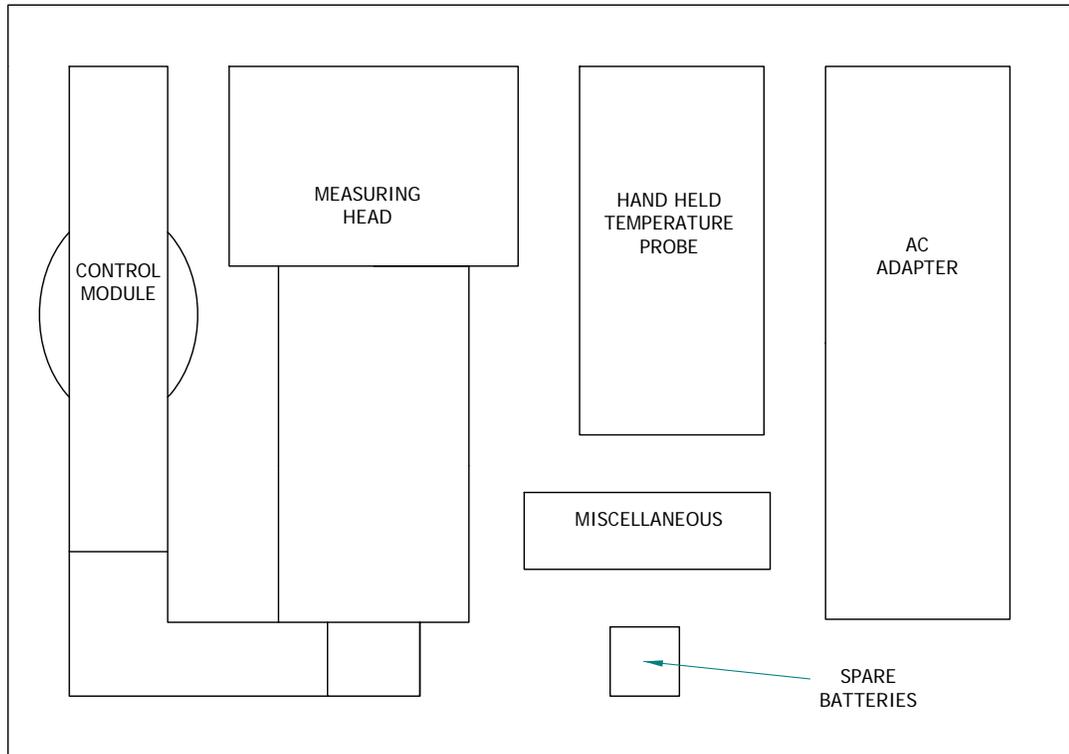


Figure 2- deltaCal In Travel case

2174

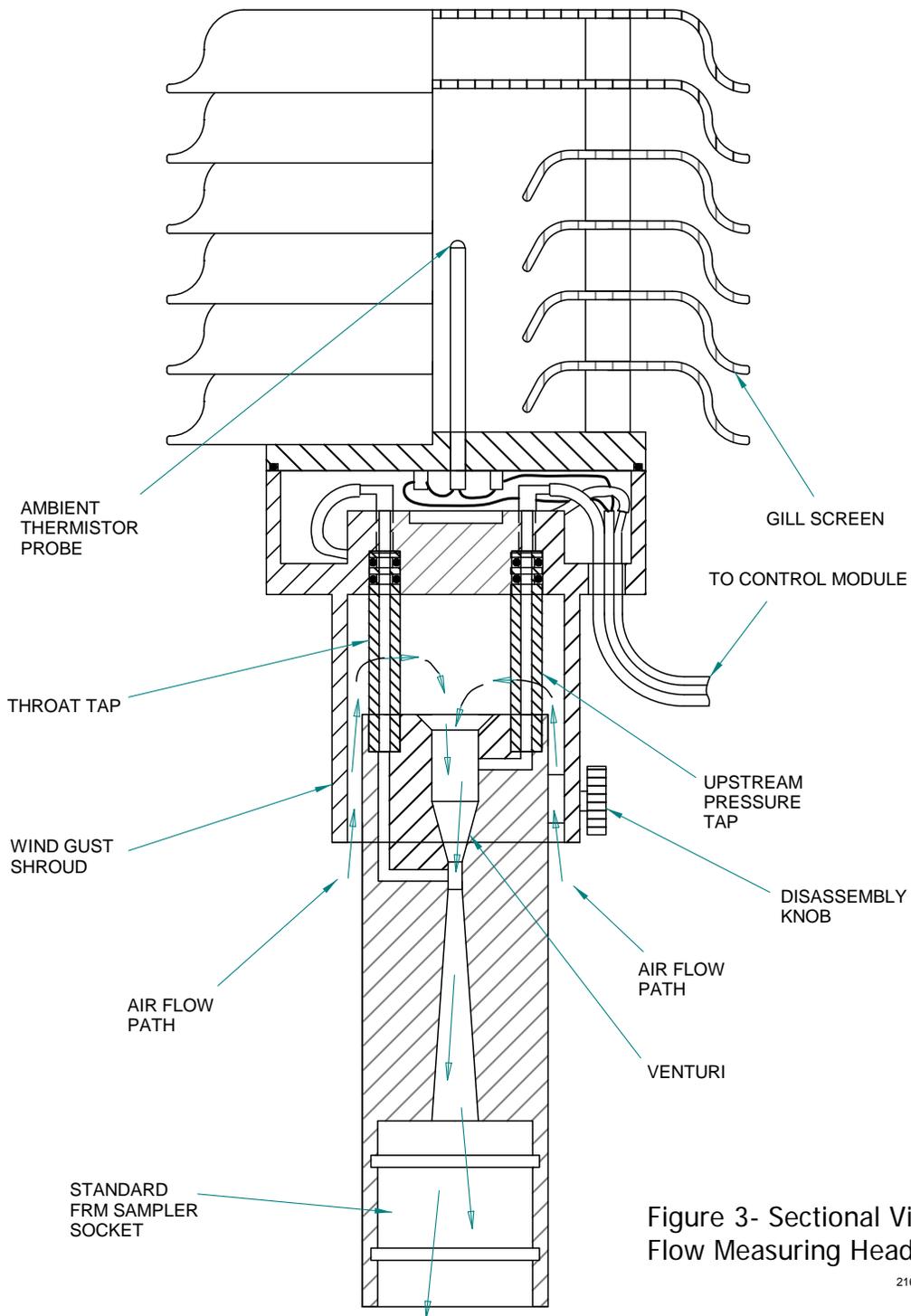


Figure 3- Sectional View of Flow Measuring Head

2167

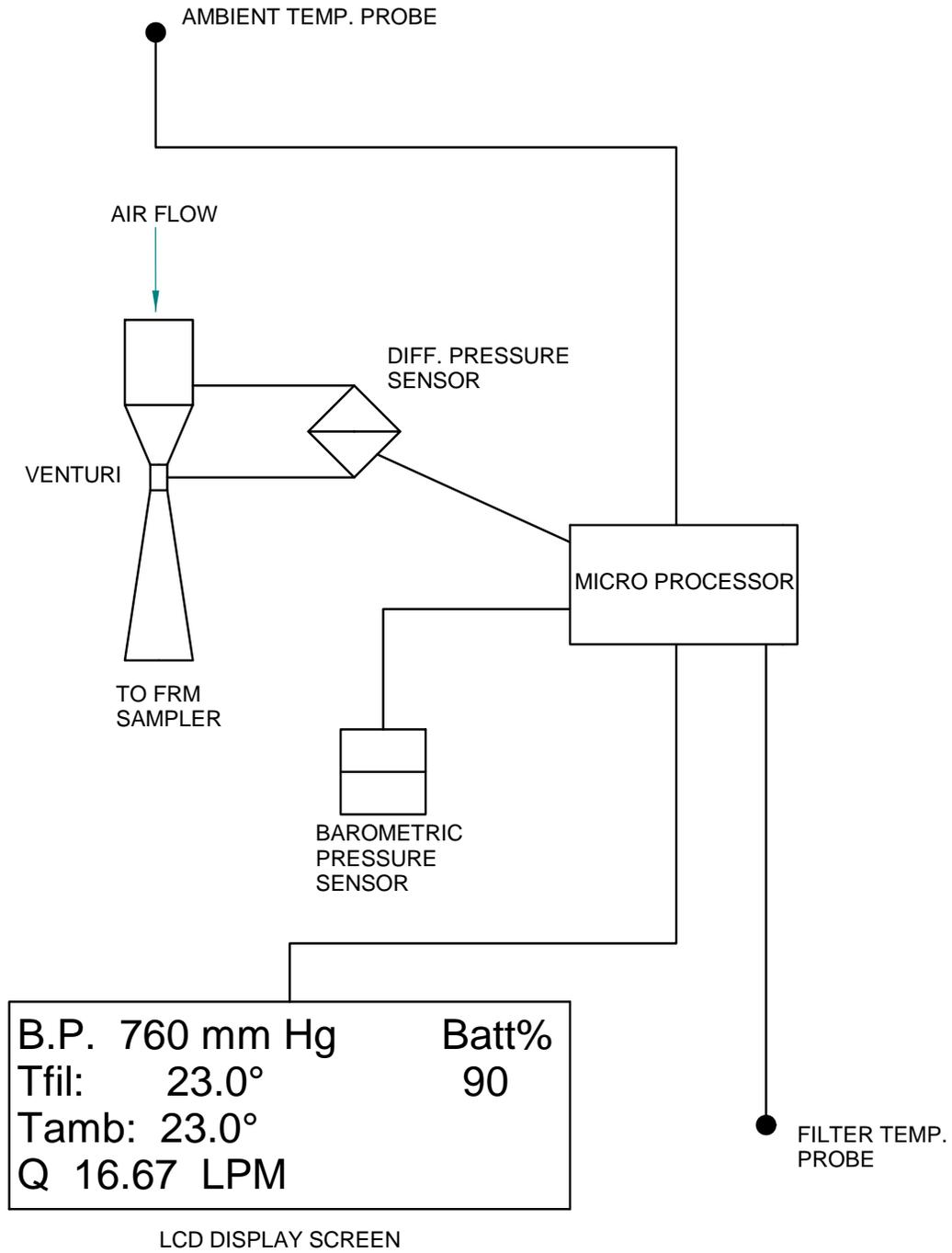


Figure 4- Schematic Diagram of deltaCal

2168

#### 4.0 Principio de Operación

El deltaCal mide el caudal volumétrico utilizando un transductor de presión para evaluar la caída de presión causada por el aire que pasa a través de un Venturi. A medida que el caudal a través del Venturi incrementa, la caída de presión incrementa como la raíz cuadrada<sup>1</sup>. Un incremento de cuatro veces en la caída de presión produce dos veces el caudal. Una característica deseable del Venturi es que la mayor parte de la caída de presión creada por el instrumento sea recuperada en la sección de expansión del Venturi. Por lo tanto, las mediciones se hacen lo más parecido posible a las condiciones reales de operación del muestreador.

La señal del transductor de presión se manda al microprocesador donde es combinado, por medio de un algoritmo, con la información de los sensores de la presión barométrica y la temperatura ambiental. Para eliminar la variación del caudal en la pantalla, se promedian las primeras 20 lecturas y después se presentan como un promedio progresivo. Cuando se enciende el instrumento, la presión barométrica y la temperatura son monitoreadas y mostradas continuamente. Una sonda para temperatura adicional puede ser usada para verificar la temperatura del filtro de un muestreador FRM. La temperatura de la sonda es mostrada en la pantalla cuando es conectada en el módulo. En la figura 3 se muestra un diagrama con la vista seccionada de la cabeza de medición y en la figura 4 se muestra un diagrama esquemático del sistema.

#### 5.0 Ajuste del Instrumento

Saque el instrumento de su estuche y conéctele la sonda de la temperatura del filtro en el Puerto indicado en el panel de control (Ver Figura 5).

##### **Puntos importantes a observar concernientes a la utilización del deltaCal**

- A. No debe haber aire fluyendo a través del Venturi cuando lo encienda.

*Cada vez que el instrumento se enciende, se pone en cero. Si hay aire fluyendo, el caudal será establecido en cero.*

- B. El modulo de control debe estar en la posición en el que será usado, cuando sea encendido (horizontal o vertical). La caja contiene los transductores de presión, los cuales están sujetos a la fuerza de la gravedad. Los cambios de posición pueden generar errores menores. Este efecto aplica para todos los dispositivos que contengan transductores de presión.

- C. Con el objeto de desarrollar la medición de verificación más precisa, es necesario que el deltaCal se encuentre en equilibrio térmico con el ambiente en el cual está el muestreador por ser probado. El mejor procedimiento es sacar el deltaCal de su estuche y desplegarlo cerca del muestreador por verificar. Con la introducción de componentes de aluminio anodizado desde 2004 esta restricción temporal se ha reducido a 10 minutos. Además, *si el deltaCal está sujeto a un cambio de temperatura de más de cinco grados, durante su uso, deberá ser restablecido.*

- D. Cuando se enciende el deltaCal, un XX % de carga remanente de batería es mostrado en la pantalla. Mientras el valor mostrado sea mayor 10%, es seguro continuar, dado que se tiene disponible por lo menos una hora de carga. Si se utiliza la fuente de poder AC, la pantalla indicará "DC In" por lo que el tiempo de operación no tendrá limite.

Nota: El uso de fuente de poder AC, diferente a la provista, puede causar daños severos a los componentes de los circuitos. Si la unidad provista se descompone o ya no sirve, use solo las baterías AA para su operación. En este momento se puede realizar la verificación.

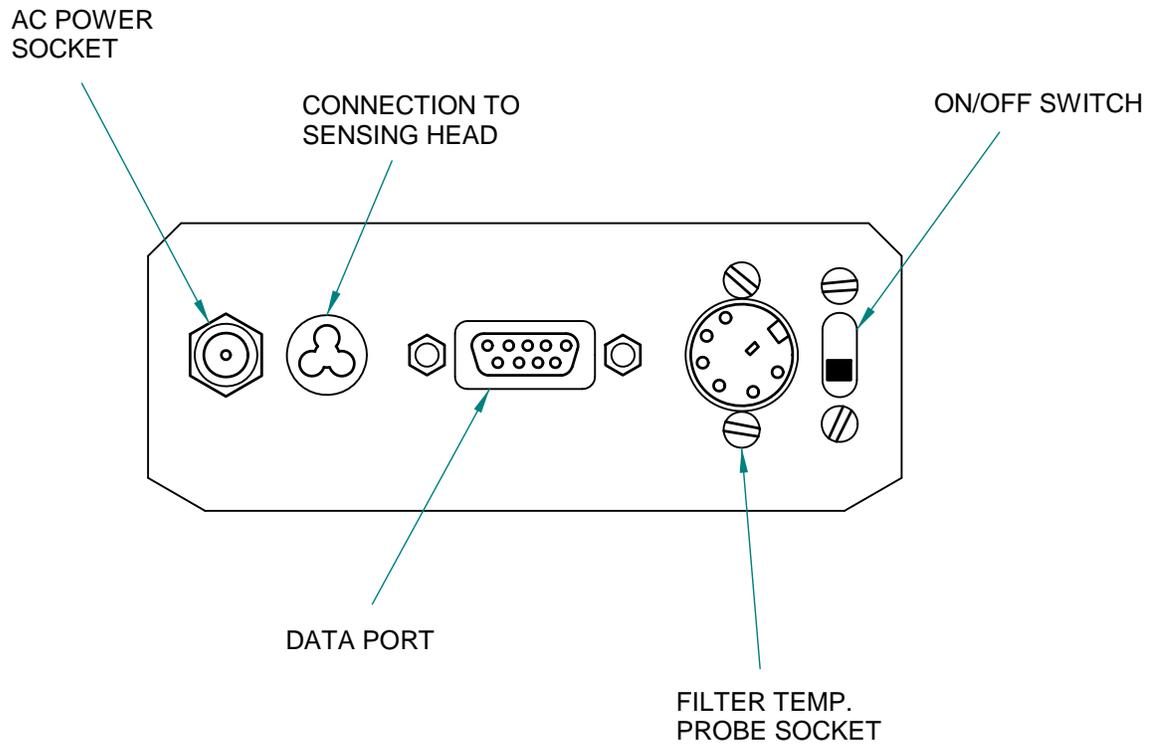


Figure 5- deltaCal Control Panel

2169

## Table 1 Formato para los Datos de la Verificación

Instrumento Verificado:

Marca: \_\_\_\_\_ Modelo: \_\_\_\_\_ N/S: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ deltaCal N/S: \_\_\_\_\_

---

Caudal – Lpm

Muestreador: \_\_\_\_\_ Dif. % =  $[(\text{deltaCal-muestreador})/\text{deltaCal}] \times 100$

DeltaCal: \_\_\_\_\_ Dif. Permitida = 4%; Pasa \_\_\_\_\_ Falla \_\_\_\_\_

---

Temp. Ambiental– °C

Muestreador: \_\_\_\_\_

DeltaCal: \_\_\_\_\_ Dif. Permitida =  $\pm 2$  C; Pasa \_\_\_\_\_ Falla \_\_\_\_\_

---

Presión Barométrica – mm de Hg

Muestreador: \_\_\_\_\_

DeltaCal: \_\_\_\_\_ Dif. Permitida =  $\pm 10$  mm; Pasa \_\_\_\_\_ Falla \_\_\_\_\_

---

Detenga el muestreador, abra el soporte del filtro, retire el cartucho y sostenga la punta de la sonda de Temperatura junto a la sonda de la temperatura del filtro, *sin tocarla*.

Temperatura del Filtro °C

Muestreador: \_\_\_\_\_

DeltaCal: \_\_\_\_\_ Dif. Permitida =  $\pm 2$  C; Pasa \_\_\_\_\_ Falla \_\_\_\_\_

## 6.0 Uso del deltaCal

### 6.1 Para realizar una verificación

Se debe de realizar *uno* de los dos procedimientos siguientes:

Procedimiento A. Apague el muestreador por verificar. Retire la admisión con difusores de "10 micras". Deje el tubo de bajada de 12 pulgadas en su lugar. Introduzca la cabeza de medición del deltaCal dentro del tubo de bajada de 12 pulgadas. Encienda el deltaCal, espere a que la pantalla termine su inicialización y encienda el muestreador de aire.

Procedimiento B. Con el muestreador por ser verificado operando, retire la admisión con difusores de "10 micras". Cuando la pantalla del calibrador haya terminado su inicialización, introduzca la cabeza de medición del deltaCal dentro del tubo de bajada de 12 pulgadas.

La resistencia al flujo de la cabeza de medición del deltaCal puede causar una inestabilidad momentánea en el circuito de control de flujo del muestreador de aire. Una vez que el indicador del caudal del muestreador se ha estabilizado, se podrá tomar la lectura. En la Tabla 1 se muestra un formato simple para registrar los datos de la verificación.

Una vez que se ha completado la lectura dinámica del caudal, se debe de apagar la bomba del muestreador de aire y se puede verificar la temperatura del sensor del filtro. Abra el mecanismo de mordazas del cartucho del filtro y retire el cartucho. Ahora puede visualizar el sensor de la temperatura del filtro. Conecte al modulo de control la sonda manual de temperatura proporcionada con el deltaCal. Sostenga la punta de la sonda del sensor de temperatura del filtro del deltaCal a 1 cm de la sonda del muestreador, *sin tocarla*. Proteja a ambos sensores contra la exposición a la luz solar directa. Lea y registre tanto la temperatura del filtro del muestreador indicada como la temperatura de la sonda del deltaCal.

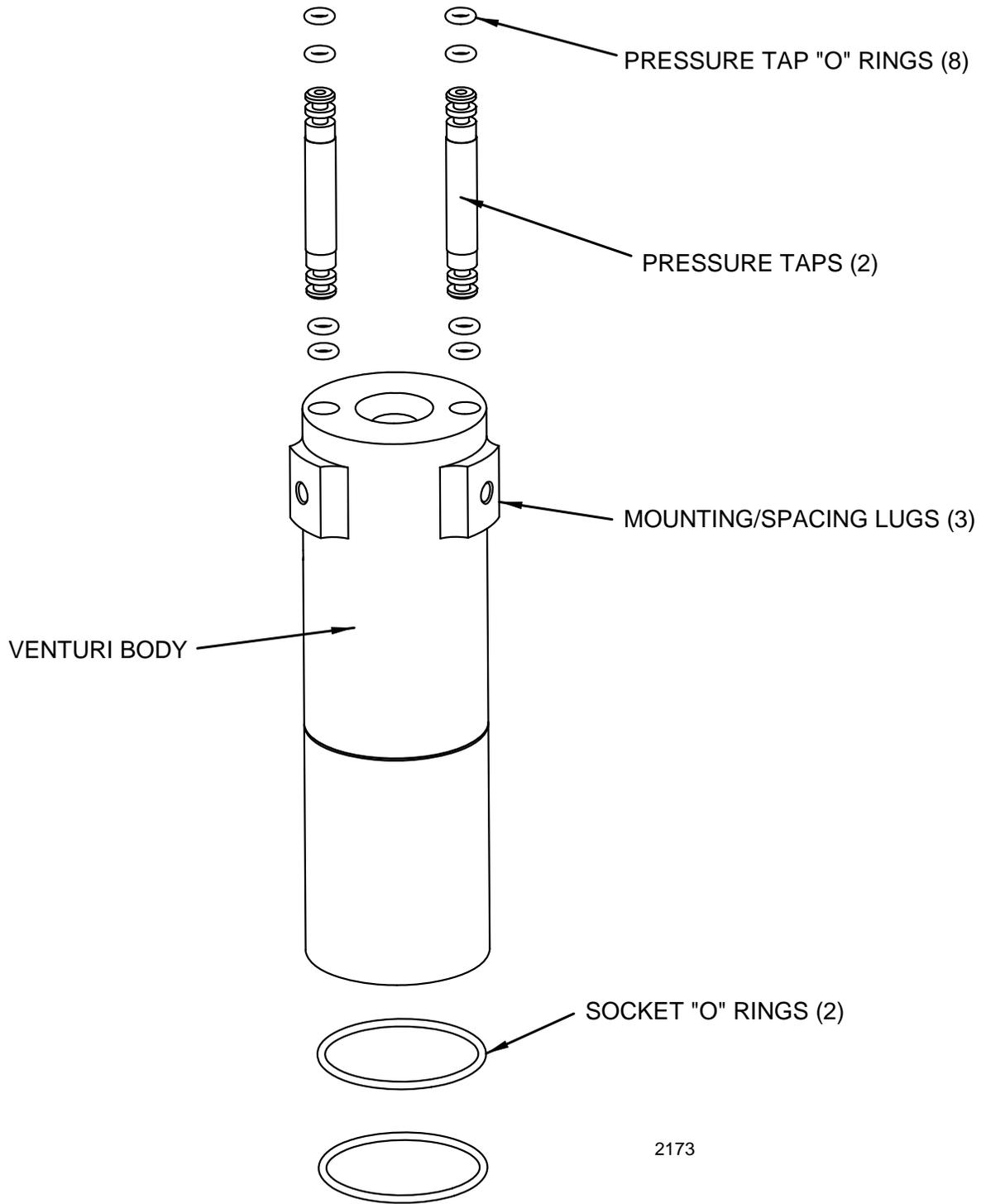
Es necesario hacer notar que en algunos muestreadores secuenciales de otras marcas el desensamble para acceder el sensor de temperatura del filtro puede ser menor.

### 6.2 Para realizar una calibración.

Los procedimientos y cálculos para usar el instrumento para calibrar un muestreador son los mismos que para la verificación, *con la excepción* de que la tolerancia del caudal es de  $\pm 2\%$  a diferencia de  $\pm 4\%$  permitida para la verificación. Mientras que los procedimientos completos de la EPA son descritos cuidadosamente en el FRM<sup>2</sup>, es importante notar que el caudal se debe de calibrar en el punto de operación y con un 10% arriba y debajo de este punto, de acuerdo con las indicaciones de la Tabla 2.

**Tabla 2 Puntos de Calibración del FRM de EPA**

		<b><math>\pm 2\%</math></b>
Caudal Estándar – Lpm	16.67	16.34 – 17.00
10% Abajo del Estándar – Lpm	15.00	14.7 – 15.30
10% Arriba del Estándar – Lpm	18.30	17.97 – 18.71



2173

**Figure 7 – Salient Details of Venturi Body**

## 7.0 Software

En Enero 2008, el software de todos los calibradores electrónicos de BGI ha sido reemplazado por una suite completamente nueva llamada BGI Open. Esta suite y un instructivo complete puede ser descargada desde: [http://www.bgiusa.com/cal/bgi\\_open.htm](http://www.bgiusa.com/cal/bgi_open.htm)

## 8.0 Mantenimiento

Además del reemplazo de la batería, la única parte del instrumento que requiere atención es el paso de aire a través del Venturi. Después de periodos *largos* de uso, algo de polvo atmosférico puede cubrir las superficies internas del paso del flujo de aire. La presencia de dicho depósito puede ser incierta al visualizar el interior del Venturi con luz brillante; es preferible usar la luz solar, vista a contraluz. Sosteniendo el instrumento en una posición invertida, eche una mirada hacia el interior, buscando cualquier decoloración de la superficie blanca o Plateada. Si determina que se requiere limpiar, refiérase a la Figura 3.

Retire los tres tornillos de cabeza moleteada del costado de la cabeza de medición y póngalos aparte. Tome el cuerpo del instrumento, bajo el hombro, con una mano y el venturi con la otra. Separe las dos secciones suavemente. *Evite jalar con fuerza la pantalla Gill.* Coloque a un lado la sección superior de la cabeza de medición junto con la pantalla Gill sujeta a ésta y se queda con el cuerpo del venturi mostrado en la Figura 7. Enjuague el cuerpo del venturi completo en agua tibia jabonosa. Cualquier depósito, que no esté flotando, puede ser retirado externamente con un paño suave. Si los depósitos internos no se quitaron con el enjuague, el mejor procedimiento es sumergir la unidad en un baño ultrasónico que contenga agua jabonosa. Si no hay disponible un baño ultrasónico, se recomienda el uso *sensato* de un limpiador de tubos.

Después de la limpieza, se puede secar el venturi usando aire comprimido o, si no hay disponible, dejarlo al aire libre. Asegúrese de soplar todos los líquidos que queden en los tapones de presión y sus pasos correspondientes.

Inspeccione los "O" rings de silicon de cada tapón de presión. Si observa cualquier daño, reemplace los cuatro. Antes de volver a ensamblar, lubrique los "O" rings con una cubierta de grasa ligera. Antes de reinstalar el venturi dentro del cuerpo del instrumento, note que solo hay una posición de giro en los cuales se pueden alinear los tapones de presión y los orificios de los tornillos del cuerpo. Por lo tanto, no es posible un ensamble incorrecto. Habiéndose asegurado sobre la posición correcta de rotación para el ensamblado, inserte suavemente la sección del venturi en el hueco, hasta que los extremos de los tapones de presión toquen el fondo. Gire suavemente de un lado al otro a la sección del venturi hasta que los extremos de los tapones de presión entren en los huecos provistos. Deslice longitudinalmente el venturi, de un lado al otro hasta que los tres orificios de los tornillos queden alineados y coloque y apriete fuertemente los tornillos de cabeza moleteada.

Los dos "O" rings del hueco del instrumento, que se colocan sobre el tubo de bajada de 12 pulgadas, durante los procedimientos de calibración, deberán inspeccionarse. Ante cualquier signo de desgaste deberán reemplazarse de inmediato y ser mantenidos con un capa ligera de grasa.

## 9.0 Seguridad

No hay otros componentes en la cabeza de medición del instrumento que puedan ser instalados por el usuario, más allá del venturi y de los "O" rings descritos en la sección anterior. Las únicas partes que requieren de servicio por el usuario en el módulo de control electrónico son las cuatro baterías AA. Estas deberán reemplazarse solo con baterías alcalinas de buena calidad y deberán ser retiradas cuando hayan expirado, para prevenir fugas y daños por químicos a los componentes electrónicos.

Cuando el instrumento se almacene por un periodo largo (más de dos meses) quítele siempre las baterías.

No sustituya las otras fuentes de poder. Use solo las que han sido provistas, u ocurrirán problemas eléctricos severos.

Aunque no hay razón para desensamblar el instrumento, si esto llegase a suceder, desconecte siempre la fuente de poder (si está en uso) y quítele siempre las baterías antes de proceder al desensamble.

Unos potenciómetros ajustables están contenidos en el interior del alojamiento electrónico, los cuales son calibrados en la fábrica. Si éstos son manipulados, se perderá la calibración por lo que se requerirá enviarlos a la fábrica para su recalibración.

La sonda de temperatura del filtro tiene un intervalo de -50 a +50° C; su exactitud está indicada en el certificado de trazabilidad y no se recomienda que sea utilizada fuera del intervalo normal de la EPA (-30 a +40° C). No apoye la punta de la sonda en superficies con más de 50° C o el daño será irreparable. Bajo ninguna circunstancia inserte la sonda en cualquier área, ya que le causará un daño a la sonda o, por el contrario, ésta podría causar el daño.

## **10.0 Información de la Garantía**

BGI Incorporated garantiza que el equipo de su manufactura y el rodamiento con su placa se encuentran libres de defectos de mano de obra y material. No garantizamos, expresa o implícitamente, nada que no esté incluido en este documento. La responsabilidad de BGI bajo esta garantía se extiende por un periodo de un (1) año a partir de la fecha de embarque de BGI. Se limita expresamente a reparar o reemplazar en la fábrica durante este periodo y a opción BGI, cualquier dispositivo o parte que pudiera, dentro del periodo de un año desde su entrega al comprador original, ser regresado a la fábrica, transportación pre-pagada y que se haya comprobado defectuoso después de su revisión.

BGI no asume responsabilidad alguna por daños consecuentes de ningún tipo. El comprador, al aceptar este equipo, asume toda la responsabilidad por el mal uso del mismo, ya sea por él mismo, sus empleados u otros. Esta garantía será invalidada si el equipo no es manejado, instalado u operado de conformidad con sus instrucciones. Si el daño ocurre durante la transportación hacia el comprador, se deberá de informar de inmediato, tan pronto el equipo sea recibido, a BGI. Los cargos de transportación de regreso serán por cobrar.

En el sentido de esta garantía, una parte defectuosa que pueda ser reparada o sustituida no deberá constituir una razón para considerar como defectuoso al equipo completo. Se deberá de recibir una aprobación y un acuse de recibo por parte de BGI antes de regresar partes o el equipo para su crédito. BGI Incorporated hace cambios técnicos de ingeniería y mejoras de vez en vez en los instrumentos que manufactura. No nos encontramos en la obligación de adecuar estas mejoras y/o cambios en instrumentos que ya han sido vendidos.

Ninguno de nuestros representantes tiene la autoridad para cambiar o modificar esta garantía de ningún aspecto.

## **Apéndice A. Trazabilidad NIST**

### **A1.0 Introducción**

La trazabilidad NIST para el deltaCal se establece con el uso de dispositivos que son, así mismos, trazables y para los cuales BGI mantiene los certificados de trazabilidad actualizados. La

calibración es realizada conforme a los procedimientos del conjunto de normas ISO 9001:2000, sujeta a una auditoría anual. Durante la calibración del caudal, la temperatura del cuarto se establece con un termómetro certificado por ASTM/trazable. La presión barométrica y la presión absoluta se establecen con manómetros electrónicos. Estos son respaldados por tres instrumentos de mercurio primarios normalizados /

### **A2.0 Calibración del Caudal**

En la Figura 1A se muestra un diagrama esquemático de un instrumento sometido a una calibración del caudal. Para este propósito se utilizan dos Venturi trazables. Sus detalles se enlistan en los certificados de calibración. Las lecturas del caudal se toman como se muestra en la Figura 2A, que es la forma típica de calibración. Mientras que el deltaCal utiliza la presión barométrica y la temperatura ambiental para mostrar constantemente las lecturas del caudal volumétrico, la calibración Venturi inicial es realizada y normalizada a un valor base. Así mismo, mientras cualquier valor es suficiente, se han seleccionado "Valores Técnicos Estándar" de 20° C y 760 mm de Hg. Usando una hoja de cálculo de Excel, la ecuación del caudal vs. la caída de presión para cada Venturi, bajo prueba, es determinada. Después, esta ecuación es instalada en cada unidad microprocesadora.

### **A3.0 Calibración de la Presión Barométrica**

El sensor de la presión barométrica es ajustado para igualar la presión barométrica actual determinada por un barómetro de mercurio. Se aplica una presión negativa de 150 mm de Hg al transductor de la presión barométrica y la lectura de salida es ajustada para cumplir con BP – 150mm.

### **A4.0 Calibración de la Temperatura**

El Termistor provisto para la medición para la temperatura ambiental está altamente normalizado y es probado por lote a temperaturas extremas de -20° C y +55° C, usando como referencia un termómetro certificado por ASTM/trazable.

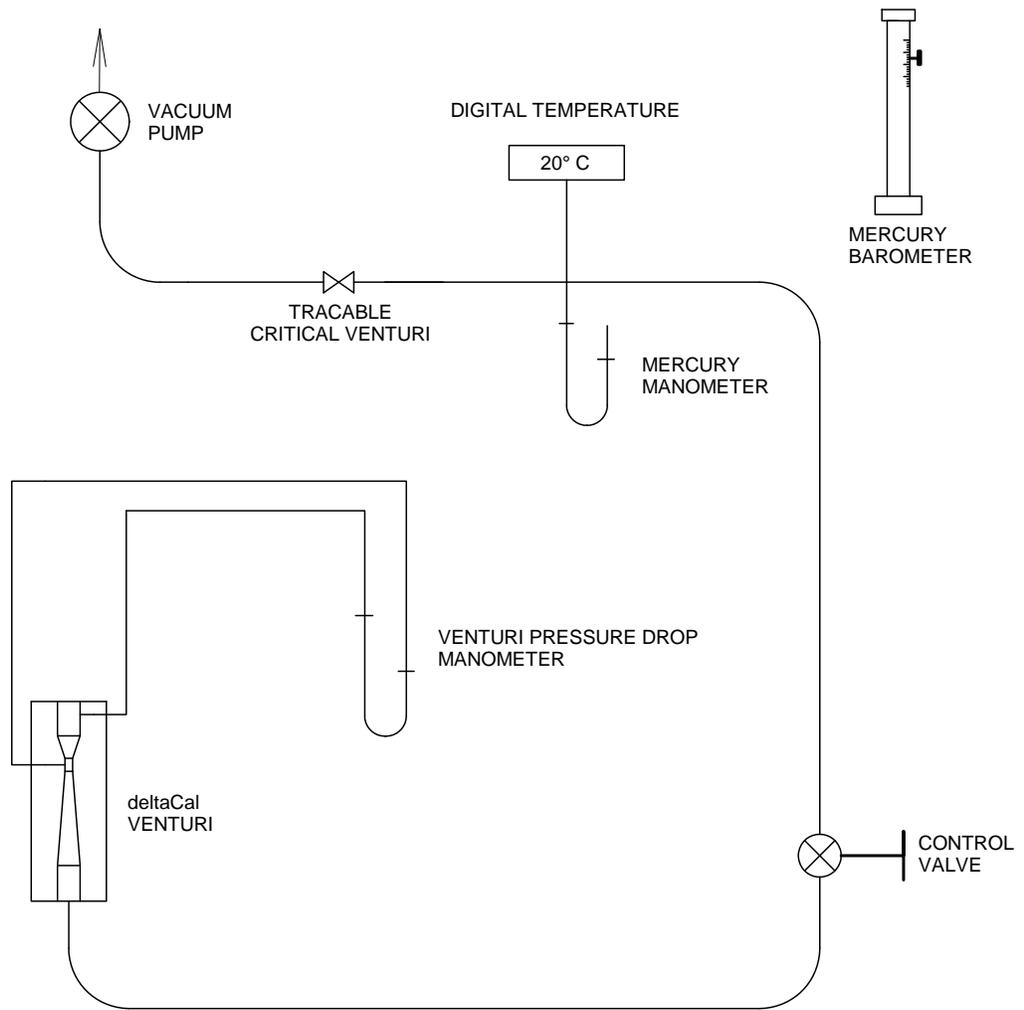


Figure A1- Schematic Diagram of Calibration Setup

2172

## A5.0 Recalibración

Si ocurre un daño físico de tal magnitud que el instrumento ya no se puede operar es necesario una recalibración de inmediato. En este caso, el instrumento será recalibrado como parte del servicio de reparación. No hay partes móviles o que se desgasten en el instrumento, por lo tanto, fuera del daño físico, no hay razón para una recalibración, excepto si es requerido por especificaciones de ISO, la compañía o alguna regulación. Básicamente, como principio casi universal, estos requerimientos son anuales, después del servicio correspondiente. Las unidades recibidas para recalibración serán sujetas a una revisión a fondo y de ser necesaria una reparación, ésta será realizada antes de la recalibración.

## Apéndice B. Uso del deltaCal con muestreadores no-volumétricos.

**[NOTA: Si su instrumento es Versión 2.5.X o mayor, ignore esta sección y vaya al Apéndice D]**

La función para la medición del flujo en el deltaCal está diseñada para verificar el caudal de los instrumentos controladores de flujo volumétricamente "verdaderos". Un instrumento controlador de flujo volumétrico verdadero es aquel que está tomando en cuenta constantemente la presión ambiental y la temperatura. Los instrumentos muestreadores de aire de este tipo están limitados, en gran medida, por aquellos dispositivos diseñados originalmente para cumplir con el muestreo *designado de 2.5* de la EPA. Los instrumentos controladores del flujo de masa son utilizados con frecuencia para el muestreo de aire, debido a su estabilidad extrema. Hay dos tipos de controladores de flujo de masa. Los antiguos contienen un calentador y un termistor, llamados "Anemométricos", dado que es lo que se usa en un anemómetro de hilo caliente. Un ejemplo es el tipo de controlador de flujo de masa llamado muestreador "high-vol" (gran volumen). Estos sistemas de caudal, son alterados por la densidad del aire, (la presión barométrica y la temperatura ambiental). Estos sistemas han sido sustituidos por el sensor de flujo de masa verdadero (termistor – calentador – termistor)<sup>3</sup>. Este sistema no se afecta por las variaciones en la densidad del aire. Una vez que el caudal es establecido, la masa de aire que fluye a través del instrumento es constante. Un ejemplo del tipo moderno de muestreador de aire controlador de flujo de masa es el PQ100 de BGI. En algunas zonas de los Estados Unidos de América y en la mayoría del mundo se reconoce que lo que se refiere como flujo de masa es más apropiado llamarlo Flujo Estándar, p.ej. flujo o volumen corregido a un conjunto de condiciones estándares.

Dado que un muestreador controlador de flujo de masa verdadero se debe de fijar, por medio de una calibración, a una presión barométrica y temperatura seleccionadas por el usuario, el deltaCal puede utilizarse para este tipo de instrumentos. Un cálculo simple será necesario para determinar si el instrumento controlador del flujo de masa opera correctamente. Este cálculo se muestra en el ejemplo siguiente.

Ajuste de las condiciones del instrumento

Caudal establecido:	<b>16.7</b> Lpm
Temperatura de referencia:	20 °C
Presión Barométrica de Referencia:	760 mm de Hg

Caudal verdadero a través del muestreador =  $Q_{ind} (T_{cal}/T_{ind}) \times (BP_{ind}/BP_{cal})$

Cuando las lecturas *indicadas* por el deltaCal son:  $(T_{ind}) = 3C$ ;  $(BP_{ind}) = 730$  mm de Hg y  $Q = 16.4$

Entonces el caudal de la masa para las condiciones establecidas es =  $16.4 (20 + 273.18)/(3 + 273.18) \times (730)/(760) = 16.7$  lpm

Por lo tanto, se ha demostrado que el caudal verificado a través de un muestreador varía un 0% con respecto del caudal de la masa establecido. Esta relación puede usarse para verificar cualquier conjunto de condiciones dentro del intervalo del deltaCal.

Alternativamente, se puede realizar un cálculo previo y usar al deltaCal para calibrar el muestreador de aire controlador de flujo de masa. El conjunto de condiciones deseadas del muestreador de aire son:

Caudal establecido: 16.7 Lpm  
Temperatura de referencia: 0 °C  
Presión Barométrica de referencia: 760 mm de Hg

Las condiciones del área donde se hace la calibración,

Temperatura indicada: 18 °C  
Presión Barométrica indicada: 770 mm de Hg

El muestreador de aire deberá ajustar de manera tal que el caudal indicado por el deltaCal sea igual a:

$$\begin{aligned} &= 16.7(T_{\text{ind}}/T_{\text{cal}}) \times (BP_{\text{cal}}/BP_{\text{ind}}) \\ &= 16.7 (18 + 273.18)/(0 + 273.18) \times (760)/(770) = \mathbf{17.57} \text{ Lpm} \end{aligned}$$

Otros dispositivos muestreadores de aire semi-volumétricos pueden calibrarse usando esta técnica con el deltaCal. Ejemplos de instrumentos controladores de flujo semi-volumétrico son aquellos que utilizan un orificio crítico para controlar el flujo o mantener el flujo constante midiendo alguna función del caudal y ajustando la velocidad de la bomba para mantener el caudal aproximadamente constante. Estos dispositivos no se ajustan por la densidad del aire y, generalmente, se acepta que mantengan un caudal establecido con  $\pm 5\%$ , cuando se usan en exteriores.

### Apéndice C. Cambios en el Venturi

Los instrumentos con una versión que empieza en **2.4.X** tienen un venturi nuevo con un leve cambio dimensional. Estas unidades se identifican por una marca alrededor del cuerpo del venturi, la cual está siempre fabricada en aluminio. Se ha cambiado el intervalo original del caudal de 2-20 lpm a un intervalo de **1.5 a 19.5 lpm**. El propósito de este cambio es ajustarse al renovado interés por los muestreadores de particulados Dicótomos. Estos muestreadores requieren una capacidad de medición de 1.67, 15 y 16.7 lpm. Este es un cambio permanente aplicado a todos los deltaCals producidos desde principios de 2007, aproximadamente.

### Apéndice D. Expansión de la Programación y aplicaciones

Los instrumentos con una versión empezando en **2.5.X** o superior han tenido una expansión en sus utilidades por un cambio mayor en su programación. Con el objeto de entender y utilizar estos cambios es necesario presentar un explicación más exhaustiva sobre las diferencias entre el caudal **Estándar** y **Actual**.

La EPA de EUA también especifica este tipo de medición para PM<sub>2.5</sub>. usualmente, los medidores *Electrónicos* del tipo de burbuja, pistón, venturi y orificio registran la tasa de flujo volumétrico o **Q<sub>A</sub>**. Hay excepciones que miden ambos.

La EPA, por razones Político Legales, usa **Q<sub>S</sub>** conocida como la tasa del caudal **Estándar** o de **Masa** para reportar PM<sub>10</sub>. Esto significa que el caudal es reportado en condiciones **Estándares**. Para la EPA de EUA, estas condiciones son 25° C y 1 atmósfera de presión. (1 Atmósfera = 760 mm de Hg = 29.92 pulg de Hg = 1013.25 milibares = 1013.25 hecto Pascales).

Debido a que la masa de aire que fluye puede ser calculada desde  $Q_s$  se ha determinado llamarlo el **Flujo de Masa**.

En el mundo, usualmente  $Q_s$  no se refiere al flujo de masa y es un estándar diferente. Las condiciones fuera de los EUA son  $0^\circ\text{C}$  y 1013.25 mb.

Los dispositivos volumétricos que se encuentran entre la mayoría de éstos pueden usarse para medir  $Q_s$  si hay también el conocimiento de T y PB, en el lugar inmediato, ya sea por el instrumento mismo o por un instrumento suplementario.

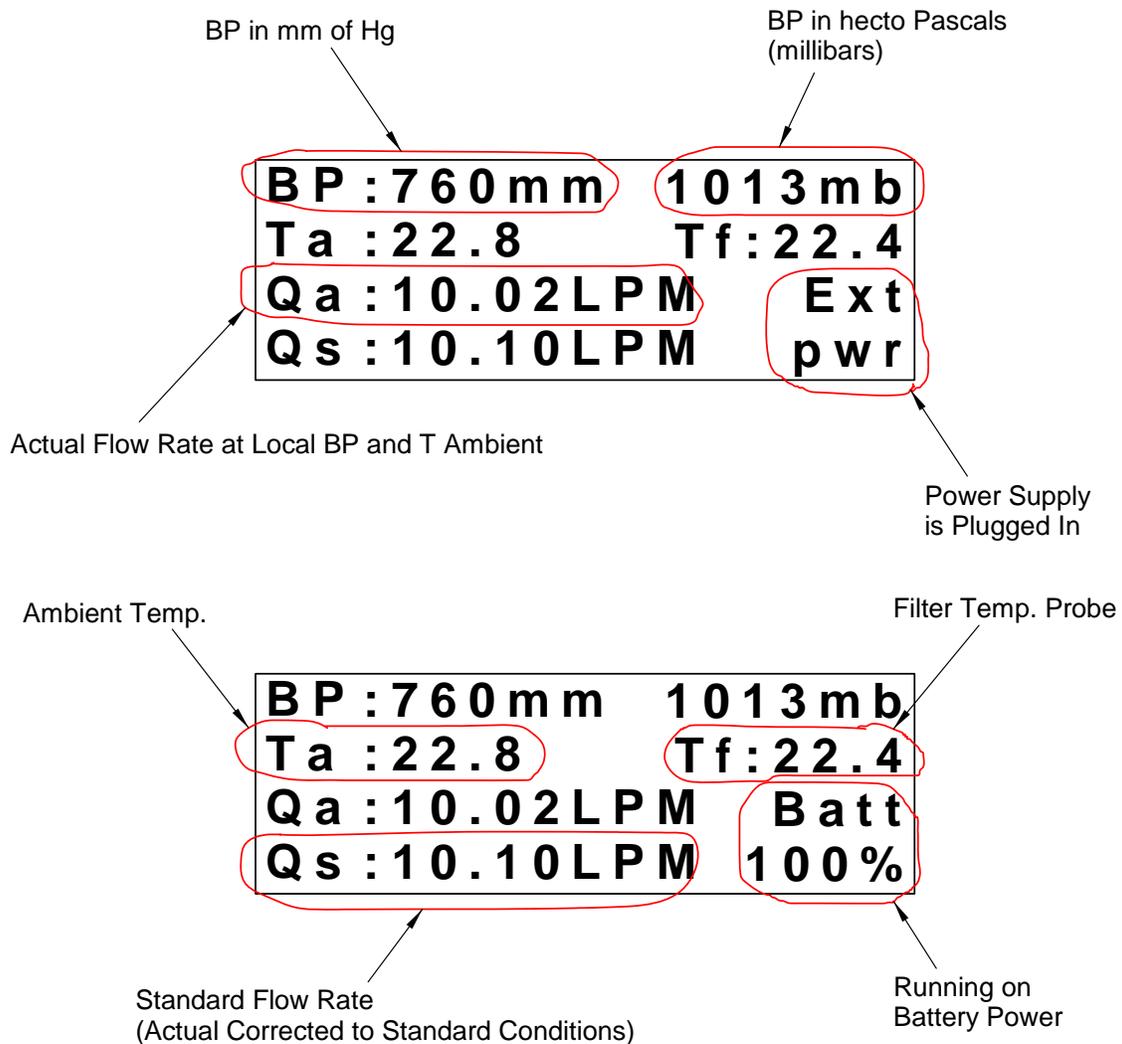
$$Q_s = Q_a * (BP_a/760)*(298.15/(T_a+273.15))$$

Para aplicaciones de EUA cuando  $T_s=25^\circ\text{C}$  y  $BP_s=760\text{ mm de Hg}$

$$Q_s = Q_a * (BP_a/1013.25)*(273.15/(T_a +273.15))$$

Para aplicaciones mundiales cuando  $T_s=0^\circ\text{C}$  y  $BP_s=1013.25\text{ mb}$

Aún cuando el deltaCal genera la información sobre  $Q_a$ ,  $T_a$  y PB de manera continua, se decidió a mediados de 2006 implementar un nuevo código que proporciona tanto la información sobre  **$Q_a$**  como  **$Q_s$** . Al mismo tiempo, se proporcionan las dos unidades más populares de la presión barométrica (mm de Hg y milibares o hecto Pascales). Esto resulta en dos nuevas pantallas;



*Recuerde*, Qs es ajustado siempre bajo condiciones a nivel del mar, pero la Temperatura Estándar se ajusta siempre en la fábrica ya sea a **25 °C** (EPA EUA, Canada u otros países usando las condiciones de la EPA) o **0 °C**. Si la versión de la programación incluye la letra **W** (de world) la temperatura de base es **0 °C**.

## Referencias

1. Fan Engineering, R. Jorgensen, ed. Buffalo Forge Co, Buffalo, NY. 6<sup>th</sup> Ed. 1961.
2. US EPA FRM 40 CFR Part 53, Federal Register, July 18, 1997.
3. Measurement Systems, E.O. Doebelin, McGraw-Hill Inc., New York, NY. 4<sup>th</sup> Ed. 1990.

## Revisión Histórica

Versión 1.1.2	Primera presentación pública	Agosto 2000
Versión 1.1.3	Revisiones menores	Abril 2001
Versión 1.2	Revisión de los procedimientos de calibración	Enero 2002
Versión 1.3	Aumento de tolerancias en la página de especificaciones	Julio 2003
Versión 1.4	Cambio del software a la Versión 1.4	Octubre 2002
Versión 1.4.1	Cambio del software a la Versión 1.6.1	Julio 2004
Versión 1.4.2	Aumento de la sección 7.4.3 Localización de Fallas	Noviembre 2004
Versión 1.5.0	Mejora de los detalles, aumento de los apéndices C & D	Marzo 2007
Versión 1.5.1	Correcciones menores	Abril 2007
Versión 1.6.1	Introducción del Software abierto de BGI	Enero, 2008
Versión 1.6.3	Actualizado Figura 7	Junio, 2009