

Comparación del caudal a través de los capilares del dispositivo generador de trazas

Lucero Chavarro Duarte^{1,*}, Pedro Sierra Maldonado², Elizabeth Ayala Blanco²

¹ Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Carrera 27 Calle 9. Bucaramanga, Colombia.

² Grupo de Investigación en Fluidos y Energía (GIFE). Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas. Parque Tecnológico Guatiguará, km 2 vía El Refugio. Piedecuesta, Colombia.

* lucerochavarro@gmail.com

Abstract

La Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas has developed a device for the generation of calibration gas mixtures (MGC), called TGD 2000. This device employs a dynamic dilution method for the preparation of the MGC, by means of a certified gaseous reference material (MRGC) and an inert matrix. Currently the calibration of carbon monoxide (CO) and methane (CH₄) detection devices is carried out using two gases as the dilution matrix, which in this particular case can be nitrogen or air. Since the final concentration of the mixture depends on the flow rate generated through the capillaries, experimental tests were carried out that allowed comparing the flow behavior by modifying the type of inert gas with which the mixture is made. In the present article the obtained results are presented and the behavior of the flows was evaluated, by means of an analysis of variance (ANOVA) as parametric statistical technique of hypothesis contrast.

Keywords: Dilutor, capillaries, pressure drop, analysis of variance.

Resumen

La Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas ha desarrollado un equipo para la generación de mezclas de gases de calibración (MGC), denominado TGD 2000. Este dispositivo emplea un método de dilución dinámica para la preparación de la MGC, por medio de un material de referencia gaseoso certificado (MRGC) y una matriz inerte. Actualmente la calibración de dispositivos detectores de monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄), se realizan utilizando dos gases como matriz de dilución que en este caso particular puede ser nitrógeno o aire. Dado que la concentración final de la mezcla depende del caudal generado a través de los capilares, se realizaron pruebas experimentales que permitieron comparar el comportamiento del caudal al modificar el tipo de gas inerte con el que se realiza la mezcla. En el presente artículo se presenta los resultados obtenidos y se evaluó el comportamiento de los caudales, mediante un análisis de la varianza (ANOVA) como técnica estadística paramétrica de contraste de hipótesis.

Palabras clave: Dilutor, capilares, caída de presión, análisis de varianza.

1. Introducción

Durante varias décadas el estudio de los fluidos a escala microscópica ha generado gran interés, debido a que se presentan comportamientos en términos de los efectos de no-equilibrio, tales como la rarefacción y las interacciones gas-superficie [1], que no suceden en fluidos en escala macroscópica. El CDT de Gas ha desarrollado un dispositivo generador de trazas (TGD 2000) para la obtención de MGC a partir del método de dilución dinámica, en donde las mezclas generadas deben tener una composición definida y estable para utilizarse como un patrón de trabajo de concentración, que debe cumplir requerimientos especiales de tolerancia en la preparación, incertidumbre y pureza de los componentes empleados [2].

El método de dilución dinámica del TGD

2000 se basa en la norma ISO 6145-5, por medio del cual para poder realizar la dilución es necesario utilizar un capilar para el MRGC y uno para el gas matriz, por medio de un ajuste de caídas de presión a través de los capilares (ver Figura 1) [3]. Inicialmente el equipo usó como gas inerte el nitrógeno para realizar las calibraciones de los equipos y analizadores de monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄), sin embargo para el caso de los detectores de CH₄ que cuentan con sensores potenciométricos y de estado sólido presentaban interferencias en sus lecturas. Esas interferencias se presentan principalmente a que esta clase de sensores poseen dos electrodos, uno de referencia y uno de medición, y la obtención de su señal está dada en función de la diferencia de presiones parciales de oxígeno. Por lo tanto se realizaron pruebas experimentales y un análisis de varianza, para evaluar el

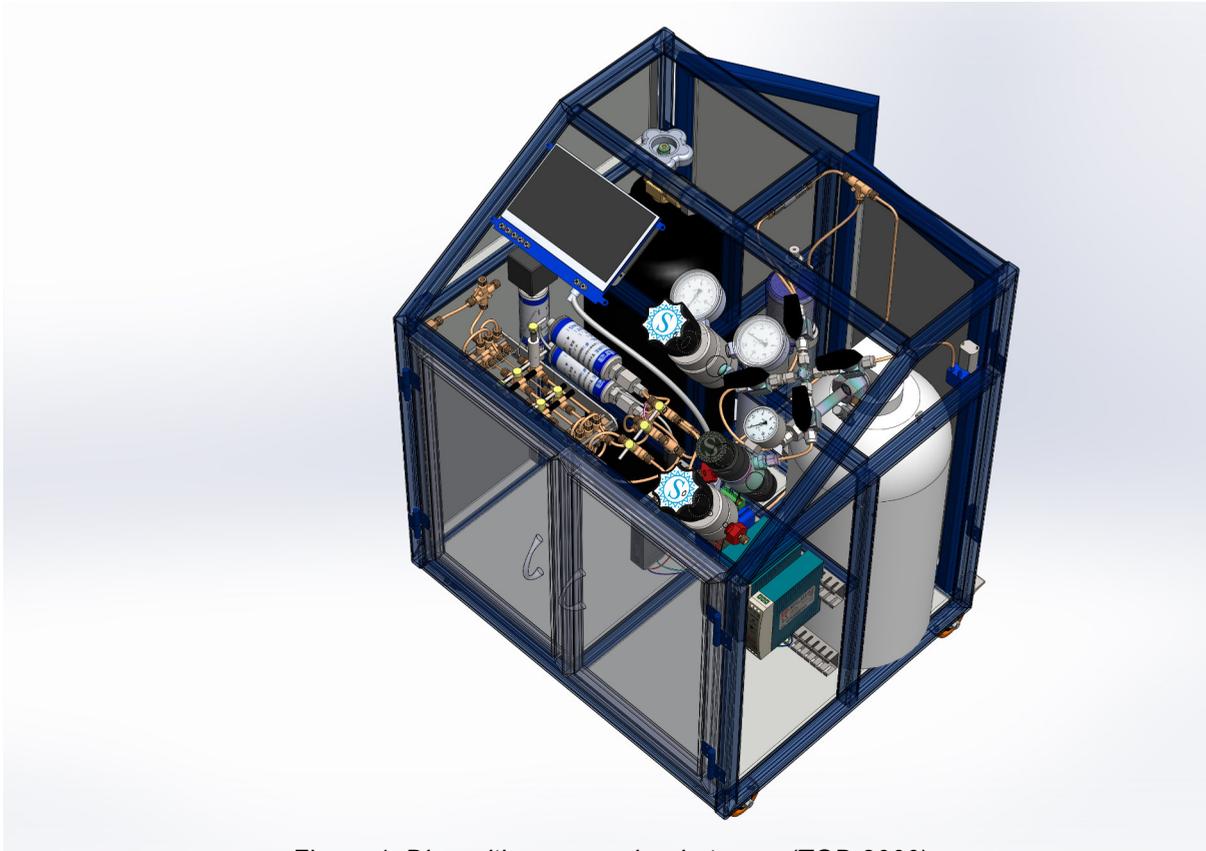


Figura 1. Dispositivo generador de trazas (TGD 2000)

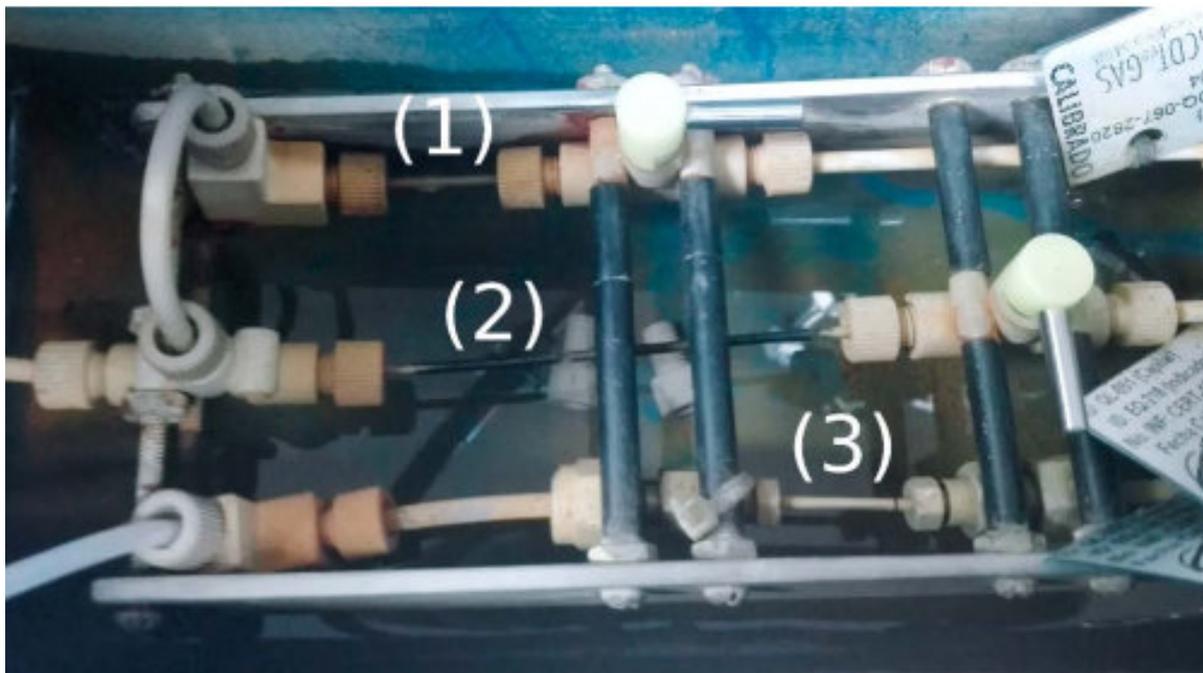


Figura 2. Sistema de capilares TGD 2000, (1) Capilar de 50 μm , (2) Capilar de 75 μm y (3) capilar de 250 μm .

comportamiento del caudal a través de una comparación entre los gases matrices de dilución nitrógeno (99% N₂) y aire (80% N₂ y 20% O₂). Los modelos ANOVA son técnicas de Análisis Multivariantes de dependencia, utilizados para analizar datos procedentes de diseños con una o más variables independientes que pueden ser de tipo cualitativo o cuantitativo. Estas variables independientes se denominan factores y pueden estar en diferentes estados posibles o niveles, y la variable dependiente es la respuesta.

2. Metodología

Para realizar el estudio de la influencia de la variación del gas matriz en los microflujos que atraviesan el sistema de capilares del TGD 2000 (ver Figuras 1 y 2), se realizaron pruebas experimentales

utilizando un diseño de experimentos por bloques con una réplica para 4 caídas de presión en el intervalo de 144 790 Pa a 551 581 Pa (21 psi a 80 psi) manteniendo la temperatura constante a 293,15 K (20 °C). En la primera etapa se preparó el sistema de dilución TGD 2000 realizando la respectiva prueba de hermeticidad, y posteriormente se dio apertura de la válvula del capilar de 250 µm utilizando gas nitrógeno. Las caídas de presión se ajustaron de manera ascendente de menor a mayor, y este mismo repitió el procedimiento con aire.

En la segunda etapa se generaron las mismas caídas de presión para los gases a evaluar, pero conectando la salida del TGD 2000 a un medidor de caudal que para este caso fue un patrón primario tipo pistón desarrollado por el CDT de Gas [4], el cual es un equipo que permite realizar el aseguramiento metrológico de diferentes dispositivos medidores de flujo. Finalmente los caudales generados a

Tabla 1. Resultados de las pruebas experimentales.

| Presión entrada | Presión salida | Diferencial de presión (ΔP) | Caudal aire | Caudal nitrógeno |
|------------------------|-----------------------|---|-----------------------|-------------------------|
| [Pa] | [Pa] | [Pa] | [m ³ /s] | [m ³ /s] |
| 524 093 | 93 102 | 430 991 | 2,02x10 ⁻⁵ | 2,00x10 ⁻⁵ |
| 448 274 | 92 574 | 355 701 | 1,72x10 ⁻⁵ | 1,67x10 ⁻⁵ |
| 344 761 | 91 999 | 252 762 | 1,35x10 ⁻⁵ | 1,37x10 ⁻⁵ |
| 248 303 | 91 493 | 156 810 | 9,48x10 ⁻⁶ | 9,50x10 ⁻⁶ |

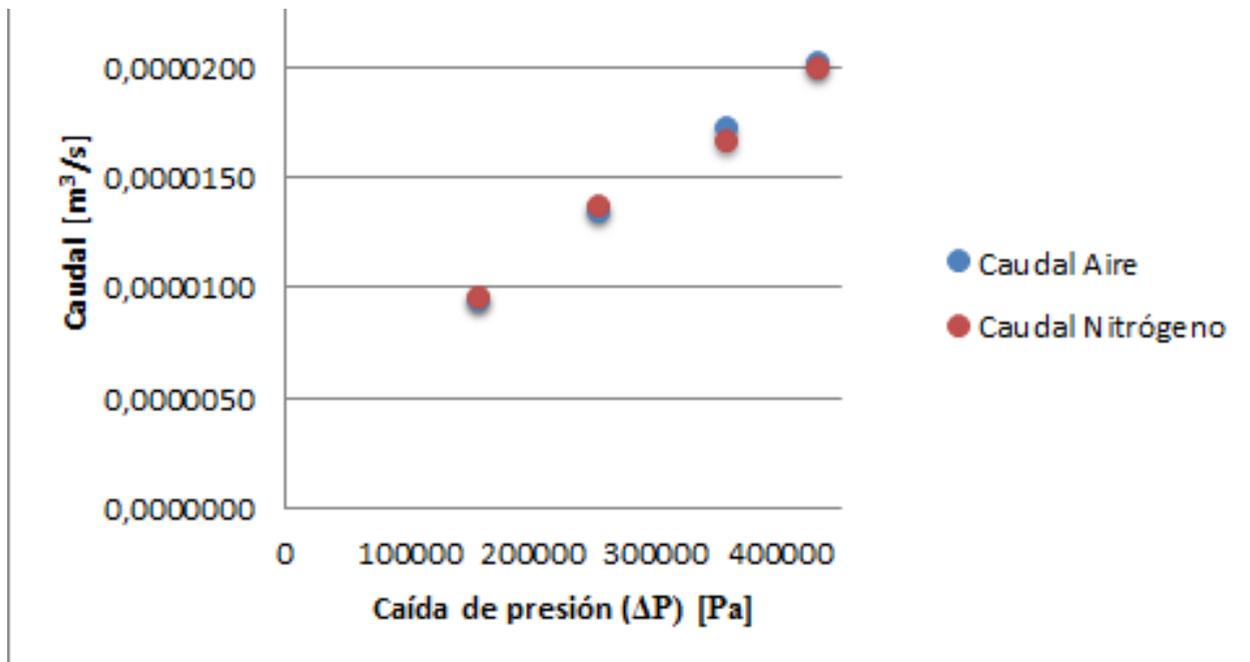


Figura 3. Caudal de los gases matrices en función de la caída de presión.

través del dilutor y del pistón fueron comparados y evaluados por medio de un análisis de varianza ANOVA.

3. Resultados

Los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales para las 4 caídas de presión (430 991 Pa, 355 701 Pa, 252 762 Pa y 156 810 Pa) se presentan en la Tabla 1.

A cada diferencial de presión que se presenta anteriormente se registró el caudal para los gases matrices nitrógeno y aire, y así comparar su comportamiento a través del capilar.

En la Figura 3 se presenta el

comportamiento de los caudales en función de la caída de presión, en donde se puede observar que el comportamiento es directamente proporcional. Por lo tanto a medida que se genera un incremento en la presión, se produce un incremento en el caudal generado, sin embargo esta variación en el caudal no se ve significativamente alterada al utilizar diferente gas matriz. El comportamiento del caudal al utilizar gas nitrógeno como matriz es muy similar al utilizar aire.

4. Discusión

Para poder determinar si los caudales generados con diferentes gases muestran

Tabla 2. Resumen del diseño de experimentos

| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
|-----------|--------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Aire | 4 | $6,04 \times 10^{-5}$ | $1,51 \times 10^{-5}$ | $2,15 \times 10^{-11}$ |
| Nitrógeno | 4 | $5,99 \times 10^{-5}$ | $1,50 \times 10^{-5}$ | $1,99 \times 10^{-11}$ |

Tabla 3. Análisis de varianza del diseño de experimentos

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | Razón-F | Valor-P | Valor crítico para F |
|---------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|---------|---------|----------------------|
| Entre grupos | $2,88 \times 10^{-14}$ | 1 | $2,88 \times 10^{-14}$ | 0,0014 | 0,971 | 5,987 |
| Dentro de los grupos | $1,24 \times 10^{-10}$ | 6 | $2,07 \times 10^{-11}$ | | | |
| Total | $1,24 \times 10^{-10}$ | 7 | | | | |

diferencias significativas o en caso contrario que sus medias poblacionales no difieren se realizó un análisis de varianza por un factor. Este análisis es de un factor, el cual es el diferencial de presión (ΔP) a través del capilar y para ello se planteó la siguiente hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

H_0 : Los caudales se comportan igual al variar el gas matriz de dilución.

H_1 : Los caudales se comportan diferente al variar el gas matriz de dilución.

Por medio de la herramienta Análisis de Datos de Microsoft Office Excel 2016 se realizó el análisis de varianza que se presenta en las Tablas 2 y 3.

En la Tabla 3 se evidencia el comportamiento de los gases en el capilar, y los resultados de las medias poblacionales permiten evidenciar que se falla en rechazar la hipótesis nula, es decir, no hay evidencia de que los caudales se comporten diferentes al variar el gas matriz de dilución. El rechazo de la hipótesis planteada se determinó a través de los estadísticos P y F, con valores de 0,971 y 0,0014 respectivamente. El valor-P representa el

nivel de significancia más pequeño posible que permite rechazar la hipótesis nula planteada con las observaciones actuales, y se basa en el nivel de riesgo que se establezca. Como se observa, el valor-P es muy grande; teniendo en cuenta que la significancia es un número entre 0 y 1, en este caso para rechazar la hipótesis nula habría que utilizar un nivel de confianza menor a 2,9 %. De esta manera, se evidencia que no hay evidencia fuerte de que existan diferencias significativas en los caudales generados de acuerdo al gas usado como matriz, considerando únicamente las opciones “aire” y “nitrógeno”.

capilares se ve afectado por otros factores como la temperatura y la presión, pero no por utilizar diferente gas matriz de dilución.

5. Conclusiones

- Por medio del análisis de varianza se comprobó que el comportamiento del caudal no varía al cambiar el gas matriz de dilución utilizado en el TGD 2000, y por lo tanto no se generaría un cambio en la concentración generada.
- El caudal presenta un comportamiento directamente proporcional a la caída de presión, por lo tanto a medida que el diferencial de presión se incrementa, el caudal generado a través del TGD 2000 aumenta.
- Dado que los gases inertes son considerados gases no reactivos bajo determinadas condiciones de presión y temperatura, el nitrógeno y/o aire utilizado en la preparación de los MRG no modifican su comportamiento. El caudal generado a través del sistema de

Bibliografía

[1] Barber RW, Emerson DR. 2006. Challenges in modeling gas-phase flow in microchannels: From slip to transition. *Heat Transfer Engineering* 27(4): 3-12.

[2] International Organization For Standardization. 2007. Gas analysis - Comparison methods for determining and checking the composition of calibration gas mixtures. ISO 6143:2001 (2a ed). Madrid, España: AENOR.

[3] International Organization For Standardization. 2008. Gas analysis - Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods. Part 1: Methods of calibration. ISO 6145-1:2003 (2a ed). Madrid, España: AENOR.

[4] Adaniya Higa BJ. 2013. Metodología para la Estimación de la Incertidumbre asociada a los medidores de Flujo de Gas Natural de Tipos: Ultrasónico y por Presión Diferencial. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, p. 202.
