

## DE LA HIPSOMETRIA DE CALDAS. DOSCIENTOS AÑOS DESPUÉS.

Corchuelo Mora Miguel Hugo<sup>1</sup>  
Departamento de Física  
Universidad del Cauca. Popayán, Colombia

### RESUMEN

En el rescate de la historia de la Física en nuestro territorio y como muestra del trabajo alrededor de la solución de problemas, se hace en primer lugar la recopilación bibliográfica para la identificación y génesis del problema sobre "la determinación de la elevación de las montañas" por Francisco José de Caldas y posteriormente se hace la prueba experimental en Popayán y se confrontan con los datos obtenidos por el sabio. En este proceso se encuentran la necesidad de indagar sobre el sistema de medición de la época (toesas, pulgadas francesas, grado Reamur) para hacer la conversión al sistema utilizado en la actualidad. Finalmente se propone el coeficiente Hipsométrico en unidades de la escala Celsius para la temperatura y de centímetros de Mercurio para la presión hidrostática y la aplicación con la ecuación Hipsométrica para la determinación de la altitud de Popayán.

### INTRODUCCIÓN

¿Por qué uno de los instrumentos inscritos que aparece en el monumento a Francisco José de Caldas en Popayán es un termómetro?. Este constituye el interrogante que gesta el desarrollo del presente trabajo. Con el apoyo de las lecturas de las obras de Caldas que aparecen en el archivo histórico de esta ciudad se emprendió la tarea de retomar la técnica de la hipsometría propuesta y registrada por el sabio hacia el año de 1.802. Tal como él lo relata se puede constatar que su trabajo se encontró motivado por deseo de solucionar un problema: “En un pequeño viaje que hicimos al volcán de Puracé, distante cinco leguas al este de Popayán, para reconocer sus bocas elevación, término de la nieve permanente en esta latitud, muchas vertientes de agua minerales y plantas, no tuve acontecimiento más feliz que romper un termómetro por la extremidad del tubo. Si este fue el fruto más precioso de esta expedición porque fue la causa que nacieran en mi alma ideas de que en otro modo nunca se habrían excitado.”<sup>[1]</sup> Lo interesante es que a partir de esta situación, Caldas estableció una relación entre punto de ebullición del agua y presión atmosférica. Con el apoyo en las relaciones barométricas como la de Laplace pudo calcular la elevación sobre el nivel del mar de diferentes sitios de la geografía neogranadina. Se pretende con este trabajo llevarlo a la práctica empleando para la temperatura la escala Celsius y la longitud expresada en metros.

### MARCO TEORICO

Se retoma la hipótesis y las observaciones de Caldas: “ El calor del agua hirviendo es proporcional a la presión atmosférica; La presión atmosférica es proporcional a la altura sobre el nivel del mar; la presión atmosférica sigue la misma ley que las elevaciones del barómetro, o hablando con propiedad, el barómetro no nos enseña otra cosa que la presión atmosférica: Luego el calor del agua nos indica la presión atmosférica del mismo modo que el barómetro; luego puede darnos las elevaciones de

---

<sup>1</sup> E-mail: micorcho@atenea.ucauca.edu.co

los lugares, sin necesidad del barómetro y con tanta seguridad como él” [1]. Guiado por esta hipótesis Caldas hace el siguiente registro de observaciones [2] :

Tabla No.1. Registros de Caldas entre temperatura y presión atmosférica

Lugares	Calor del agua T° *	Calor del agua T° Fahrenheit	Alt. del B. Observadas	Alturas del B. Calculadas por el calor de agua	Diferencias
Popayán	75°,65	202°,21	22 <sup>p</sup> 11,2		
Juntas	74,50	199,62	21,9,0	21,9,04	+0 <sup>l</sup> ,04
País pamba	73,50	197,37	20,9,1	20,8,72	-0,38
Sombreros	72,40	194,90	19,6,05	19,7,15	+1,10
Tambores	71,75	193,43	18,11,6	18,11,15	-0,45
Estrellas	73,30	196,87	20,7,0	20,6,25	-0,75
Población	74,30	199,17	21,6,9	21,6,59	-0,31
Buenvista	73,80	197,05	21,1,15	21,0,5	-0,65

Con base en estos registros, Caldas [2] llega a la siguiente conclusión:



$$\frac{0^{\circ}.974R}{\text{pulgada}} = \frac{b - d}{a - z} \quad [1]$$

En donde

b: Calor del agua al nivel del mar

d: Calor del agua en lugar cualquiera

a: Altura del barómetro a nivel del mar

z: Altura del barómetro que se quiere calcular en pulgadas francesas de la época.

Aquí debe interpretarse el termino “calor” como la temperatura de ebullición del agua y es de anotar que se presentan diferencias notorias entre el sistema de unidades de temperatura y en especial de longitud de aquella época y el actual sistema de medición de estas cantidades .

### METODOLOGÍA

Se pretende expresar el coeficiente de Caldas en términos de grados centígrados y centímetros de mercurio. En principio el trabajo parece sencillo: hacer una conversión de unidades. Utilizando la actual pulgada inglesa (2,54 cm.) aparece una diferencia significativa para la presión y temperatura de Popayán. Diferencia que no puede ser admisible conociendo el trabajo esmerado de Caldas [3]. Se descubre entonces que la actual pulgada inglesa no coincide con la pulgada empleada con Caldas (dividida en doce líneas), además los datos de elevación de los diferentes sitios aparecen en toesas [4]. (1 toesa = 1.93 m.). De aquí que el trabajo se dimensiona en dos sentidos. Primero se hace una observación de la presión atmosférica y de la temperatura del punto de ebullición del agua en Popayán. Para ello se monta un barómetro de mercurio y se emplean dos termómetros: uno de columna de mercurio y otro electrónico. Al hacer las mediciones se tienen en cuenta los ajustes por:

- a.- Dilatación del mercurio, del latón y del vidrio
- b.- Por adherencia
- c.- Por la forma del menisco
- d.- Variación del campo gravitacional

En segundo lugar se hace una revisión bibliográfica con respecto al sistema de medición de longitudes de la época.

**RESULTADOS**

Se tomaron los datos de temperatura del punto de ebullición del agua y presión atmosférica durante un mes, en la tabla 2 aparece el promedio de dos registros diarios: uno hacia el medio día y otro al caer la tarde por la fluctuación de la presión atmosférica durante el día.

Tabla 2. Registros de temperatura y presión atmosférica a la fecha tomados en el laboratorio durante un mes.

Fecha	Punto de Ebullición °C	Altura Barométrica (cm)	Altura Barométrica calculada con la temperatura del agua	Diferencia entre estas alturas
Julio 12	94.52	62.5	62.55	0.085%
Julio 15	94.3	62.4	62.01	0.6%
Julio 23	94.4	62.3	62.26	0.06%
Julio 25	94.45	62.4	62.38	0.02%
Julio 27	94.5	62.6	62.5	0.1%
Julio 30	94.3	62.3	62.01	0.4%
Agosto 03	94.6	62.4	62.75	0.5%
Agosto 04	94.3	62.4	62.01	0.6%
Agosto 05	94.35	62.2	62.13	0.01%
Agosto 10	94.55	62.4	62.62	0.36%
Agosto 11	94.43	62.3	62.33	0.04%
Agosto 12	94.25	62.25	61.89	0.5%

La expresión del coeficiente hipsométrico de Caldas en términos de temperatura Celsius y presión en centímetros de mercurio según los datos de laboratorio es:

$$\frac{0.4095^{\circ}C}{cm} = \frac{b - d}{a - z} \tag{2}$$

Según la conversión de unidades de Caldas:

$$\frac{\Delta T}{\Delta P} = \frac{0,4076^{\circ}C}{cm} \tag{3}$$

Para calcular la altura barométrica con referencia en el nivel del mar se tiene:

$$\frac{100^{\circ}C - T_e}{76cmHg - H_b} = 0.4076^{\circ}C/cm \tag{5}$$

Para una temperatura de ebullición de  $94,4^{\circ}\text{C}$  le corresponde una altura barométrica de 62,26 cm de Hg.

La ecuación barométrica para determinar la elevación sobre el nivel del mar esta dada por:

$$H = -8631,56 \ln(Hb/76\text{cmHg}) \quad [6]$$

Según la anterior expresión y los datos registrados a Popayán le corresponde una altura sobre el nivel del mar de 1721 m., frente al dato oficial de 1737 m.<sup>[5]</sup>

### CONCLUSIONES

Con la técnica de la hipsometría desarrollada por Caldas es posible determinar la altura barométrica en un punto geográfico a partir del punto de ebullición del agua en dicho punto con un porcentaje de error inferior al 1%. Este procedimiento en su época constituyó un gran aporte para el trazado de la geografía del territorio de la Nueva Granada ya que evitó el montaje de barómetros en las difíciles condiciones geográficas de los Andes.

De otra parte, el rescate de los trabajos de Caldas tiene un gran valor pedagógico. Constituye un buen ejemplo para el desarrollo del talento investigativo, de perseverancia ante las vicisitudes y de compromiso con las generaciones futuras tal como él lo afirmara: “ ¿Podrá algún pueblo de la tierra llegar a ser sabio sin una acelerada comunicación con la culta Europa? ¡Qué tinieblas las que nos cercan! ¡ pero ha! Ya dudamos, ya comenzamos a trabajar ya deseamos. Esto es haber llegado a la mitad de la carrera. ....apenas conocemos el momento presente, qué podemos decir de los futuros? No usurpemos los derechos dela posteridad, aspiremos a merecer su reconocimiento, o al menos a que no se nos califique de pereza”<sup>[2]</sup>.

### REFERENCIAS

- [1]. CALDAS, Francisco José de. *Ensayo de una memoria sobre un nuevo método de medir las montañas por medio del termómetro y el agua hirviendo*. Imprenta de Lawalle Joven y sobrino. Burdeos, 1819
- [2]. Universidad Nacional de Colombia. *Obras Completas de Francisco José de Caldas*. Imprenta Nacional. Bogotá, 1966.
- [3]. CALDAS, Francisco José de. *Viajes (viaje al corazón de Barnuevo)*. Selección Samper ortega de Literatura Colombiana. Ciencia y Educación N° 41. Editorial Minerva S.A. Bogotá
- [4]. CALDAS, Francisco José de.- *Semanario de la Nueva Granada*. Lasserre, editor. Librería Castellana. Paris, 1.849.
- [5]. PUBLICAR. *Popayán en Cifras*. En: Popayán. Directorio Telefónico. 2001