UN SENCILLO MEDIDOR DE CAUDAL DE GRADUACION LINEAL

Por el Profesor contratado Dr. CESAR CREMONA

1 — INTRODUCCION.

No siempre el técnico—ingeniero, químico o investigador— dispone en sus laboratorios (o puede adquirir en el mercado) de los aparatos que desearía, para la ejecución de sus controles o para el desarrollo de sus investigaciones, excepción hecha de aquellos de más amplia y generalizada utilización; pero también muchas veces los instrumentos que se encuentran en el mercado no resultan adecuados al tipo de control, de medida o de experimento que él piensa efectuar.

El técnico, entonces debe familiarizarse con esa especial aplicación de las disciplinas escolásticas que toma el nombre de "Metodología de la investigación técnico-científica" y ponerse en grado de construirse en sus propios laboratorios, o de encomendar la construcción —pero en cada caso proyectar y calcular— los aparatos más adecuados a sus necesidades.

Tres clases principales de instrumentos están sujetos a estas necesidades que son todos los que se basan en el empleo de manómetros, acelerómetros e indicadores de nivel especialmente en lo que se refiere a la graduación de la escala, al valor del llamado "fondo de escala" y a la precisión de la interpolación.

En esta primera nota deseamos recordar el modo de fabricar un manómetro destinado a pedir alturas piezométricas variables de acuerdo a leyes exponenciales (exponente igual a 1/2) como por ejemplo sucede en los medidores o registradores de caudales tipo Venturi, pero en forma tal que las indicaciones del tubo manométrico resulten de graduación lineal.

Es evidente que para obtener este objeto es necesaria la búsqueda de la configuración especial que debe asumir el tubo manométrico; configuración que permitirá la lectura directa o el registro de los valores sobre escalas de intervalos iguales de tal modo que resulten, en definitiva: simple la lectura directa, aproximada al máximo e uniforme la interpolación, posible la integración gráfica directa del diagrama en los aparatos registradores.

En notas sucesivas examinaremos otras aplicaciones similares.

2 — MEDIDORES DE CAUDAL TIPO VENTURI.

La medida del caudal de un fluído cualquiera en una tubería se presenta en general como una operación más bien compleja y delicada y requiere la intervención del ingeniero especializado para su exacta determinación. En la práctica ella se efectúa normalmente adoptando la intercalación en el conducto —o en una derivación del mismo— de un tubo cónico convergente que a continuación empalma con dicho conducto — o con

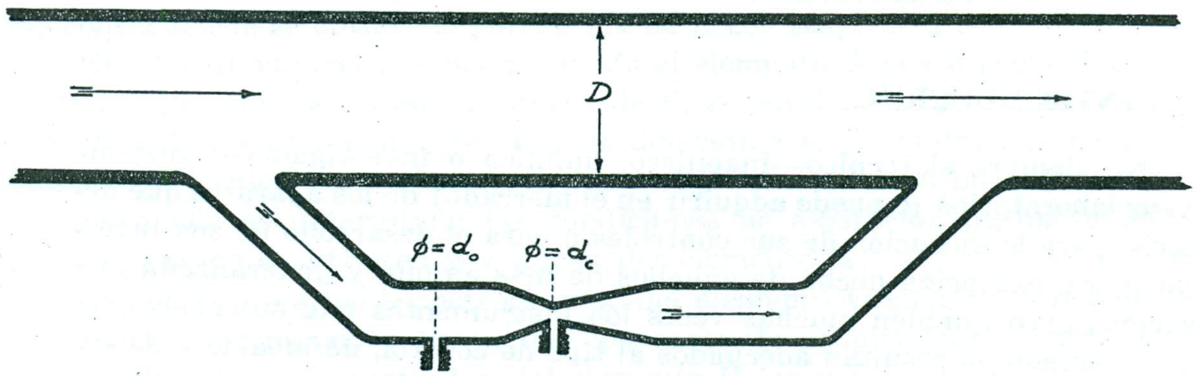

Fig: 1

su derivación — conocido con el nombre de "tubo Venturi" en el cual como es sabido (fig. 1) se puede aplicar —salvo lo especificado más adelante en las observaciones— el principio de Bernoulli entre dos secciones, una anterior a la parte cónica y la otra en la parte más estrecha (sección crítica) del tubo Venturi, obteniendo de la:

$$P_o + \varsigma \frac{1}{2} V_o^2 = P_c + \frac{1}{2} \varsigma V_c^2$$

la expresión de la velocidad V_c en la sección crítica en función de la diferencia de presión (siendo P_o la presión en el conducto; P_c la presión en la sección crítica; ς la densidad del fluído y V_o la velocidad en el conducto):

$$P_o - P_c = \frac{1}{2} \varsigma (V_c^2 - V_o^2)$$

Si se considera que debido a la continuidad deberá ser también (siendo d_o el diámetro del conducto y d_c el de la sección crítica)

$$\frac{1}{4} \pi d_o^2 V_o = \frac{1}{4} \pi n d_c^2 V_c$$

Será también:

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{d_o^2}{d_c^2}}} \sqrt{2\ g\ H}$$

(llamando H el desnivel piezométrico debido a la velocidad V_c).

Se obtendrá, por lo tanto, el caudal Q de la

$$\text{(1)} \qquad Q = \frac{1}{4} \pi\ d_c^2 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{d_o^2}{d_c^2}}} \sqrt{2\ g\ H}$$

en el cual el término

$$\frac{d_c}{d_o} = c$$

toma comunmente el nombre de coeficiente de estrangulación (generalmente igual a 0,125) y se debe tener en cuenta el valor de los coeficientes relativos al movimiento del fluído en la sección crítica.

Ahora bien, si llamamos con

$$h = \frac{1}{4} \pi\ d_c^2 \qquad ; \qquad k = \frac{1}{\sqrt{1 - c^2}} \sqrt{2\ g}$$

la (1) toma la forma sencilla:

$$\text{(3)} \qquad Q = h\ V_c = h\ k \sqrt{H}$$

que expresa la posibilidad de medir el caudal mediante la medición experimental de la función $\sqrt{H}$.

En este principio se basa el conocido "contador de agua" llamado "tubo Venturi" así como lo propuso oportunamente Clement Herschel.

El dispositivo, convertido en registrador antes por Connet y Jackson, perfeccionado después por la firma Kent y por otras firmas, encontró amplia aplicación también en tuberías de gran diámetro, como por ejemplo la de m. 1.20 en el primer acueducto de Buenos Aires, la de m. 2.40 de Steins (Inglaterra) o la de m. 2.49 de Baltim (Egipto), etc.

Estos dispositivos miden o registran la cantidad $\sqrt{H}$ (más fácil de obtener que la cantidad V) por medio de un manómetro diferencial constituído por un tubo en forma de U conteniendo un líquido manométrico no misible con el fluído del conducto y la medición de la diferencia de presión se hace directamente referida a una escala graduada en caudales con divisiones proporcionales a $\sqrt{H}$, es decir, desiguales.

Generalmente se utilizan manómetros diferenciales metálicos de ramas adosadas o concéntricas, en una de las cuales se encuentra un flotador que sirve como órgano motor de un sistema mecánico magnético o eléctrico para registrar los movimientos de la columna líquida, si el indicador de caudal debe servir como **medidor de cantidades erogadas.** (°).

El diagrama obtenido ya sea directamente o mediante trazado automatico presenta el no leve inconveniente de tener las ordenadas proporcionales a los caudales con subdivisiones en número creciente (en magnitud y cantidad) es decir de graduación exponencial, como ya se dijo, y no lineal.

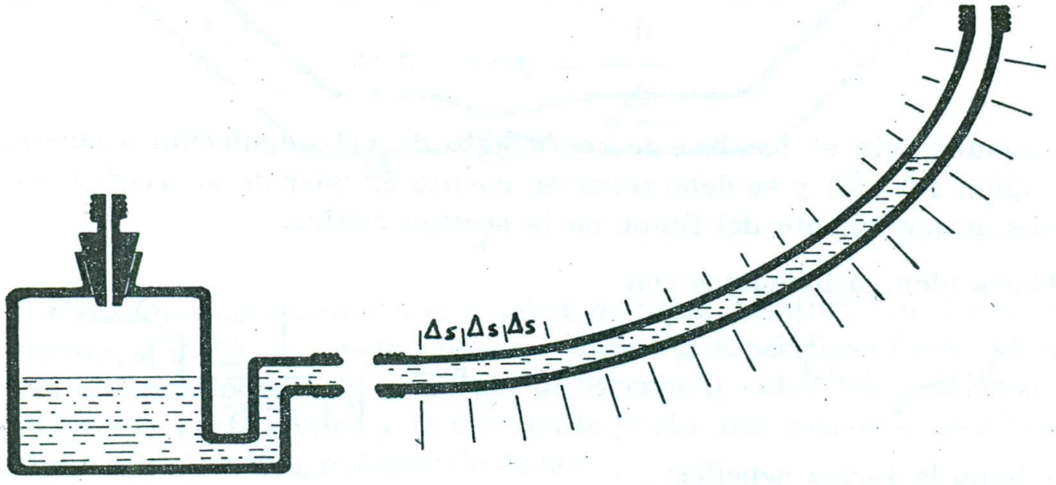

Fig: 2

Esta particularidad complica la lectura o el registro y en general los cálculos debido a la dificultad de obtener un grado igual de precisión en el avalúo de las varias indicaciones especialmente en los conductos de caudal variable con el tiempo y presume el control del técnico especializado para determinar los gradientes de variabilidad.

En esta nota se expone un método para una fácil realización práctica de un dispositivo de graduación lineal de la escala graduada en caudales, de lectura directa o de registrador.

(°) En las aplicaciones industriales o seguidas se emplean manómetros registradores de varios tipos y precisamente: **mecánicos** que utilizan ejes desplazables o rodantes a través de prensa-estopas; **magnéticos** en los cuales el movimiento del flotador es transmitido al exterior por el flujo magnético a través de una pared amagnética; **de pesadas** de columnas manométrica; **de balanza de toro,** etc., sin lograr ninguno de ellos una independencia de inevitables rozamientos o de deformaciones elásticas, bajo presión, de las juntas.

3 — CALCULO DE LA CONFIGURACION DEL CAUDALOMETRO.

El caudalómetro, que se propone, se reduce a un manómetro cuyo tubo deberá poseer una forma tal que satisfaga la ley de la graduación lineal. Este se presentará, por lo tanto, como está indicado en la figura 2 y deberá satisfacer la exigencia:

$$\sqrt{dx^2 + dy^2} = d\,Q$$

o bien por la (3)

$$\sqrt{dx^2 + dy^2} = h\,d\,V_c$$

es decir

$$d\,x^2 + d\,y^2 = d\,V_c^2 \tag{4}$$

Para el equilibrio entre la presión $p - p_c$ y la columna de líquido manométrico de densidad ς_1 deberá ser además

$$\tfrac{1}{2}\,\varsigma\,V_c^2 = \varsigma_1\,g\,y$$

es decir

$$V_c^2 = \frac{\varsigma_1}{\varsigma}\,g\,y$$

de la cual se deduce

$$2\,V_c\,d\,V_c = 2\,\frac{\varsigma_1}{\varsigma}\,g\,dy\ ;\ V_c^2\,dV_c^2 = g^2\left(\frac{\varsigma_1}{\varsigma}\right)^2 dy^2;\ dV_c^2 = \tfrac{1}{2}\,g\,\frac{\varsigma_1}{\varsigma}\,\frac{dy^2}{y}$$

entonces la (4) se convierte en

$$d\,x^2 + dy^2 = \tfrac{1}{2}\,g\,\frac{\varsigma_1}{\varsigma}\,h^2\,\frac{dy^2}{y} \tag{5}$$

llamando ahora con

$$\mu = \tfrac{1}{2}\,g\,\frac{\varsigma_1}{\varsigma}\,h^2$$

la (5) toma la forma:

$$d\,x = dy\,\sqrt{\frac{\mu - y}{y}} \tag{6}$$

Para integrar esta expresión hacemos

$$(7) \qquad y = \frac{\mu}{z^2 + 1}$$

y diferenciando

$$dy = -2\,\mu \frac{z}{(1+z^2)^2}\,dz$$

Sustituyendo estos valores en la (6)

$$dx = -2\,\mu \frac{z^2}{(1+z^2)^2}\,dz$$

e integrando tenemos

$$x = -2\,\mu \int \frac{z^2}{(1+z^2)^2}\,dz$$

es decir

$$x = \mu \frac{z}{(1+z^2)^2} - \mu \operatorname{arctg} z$$

Sustituyendo z por el valor dado por la (7) se obtiene

$$(8) \qquad x = \sqrt{\mu y - y^2} - \mu \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\mu - y}{y}}$$

siendo nula, en las condiciones iniciales, la constante de integración (°)

4 — OBSERVACIONES.

Derivando la (8) e igualando a cero se obtiene

$$\frac{dx}{dy} = \frac{\mu - 2y}{2\sqrt{\mu y - y^2}} + \frac{\mu}{2\sqrt{\mu y + y^2}} = 0$$

es decir

$$y = \mu = Y$$

(°) A una fórmula análoga se llega en aerodinámica para los manómetros diferenciales de tubo Pitot:

$$x = \sqrt{cy - y^2} - c \operatorname{arcsen} \sqrt{\frac{y}{c}}$$

(M. Panetti. Aerodinámica II).

que, como puede fácilmente verificarse, representa un máximo de la función (fig. 3, punto M).

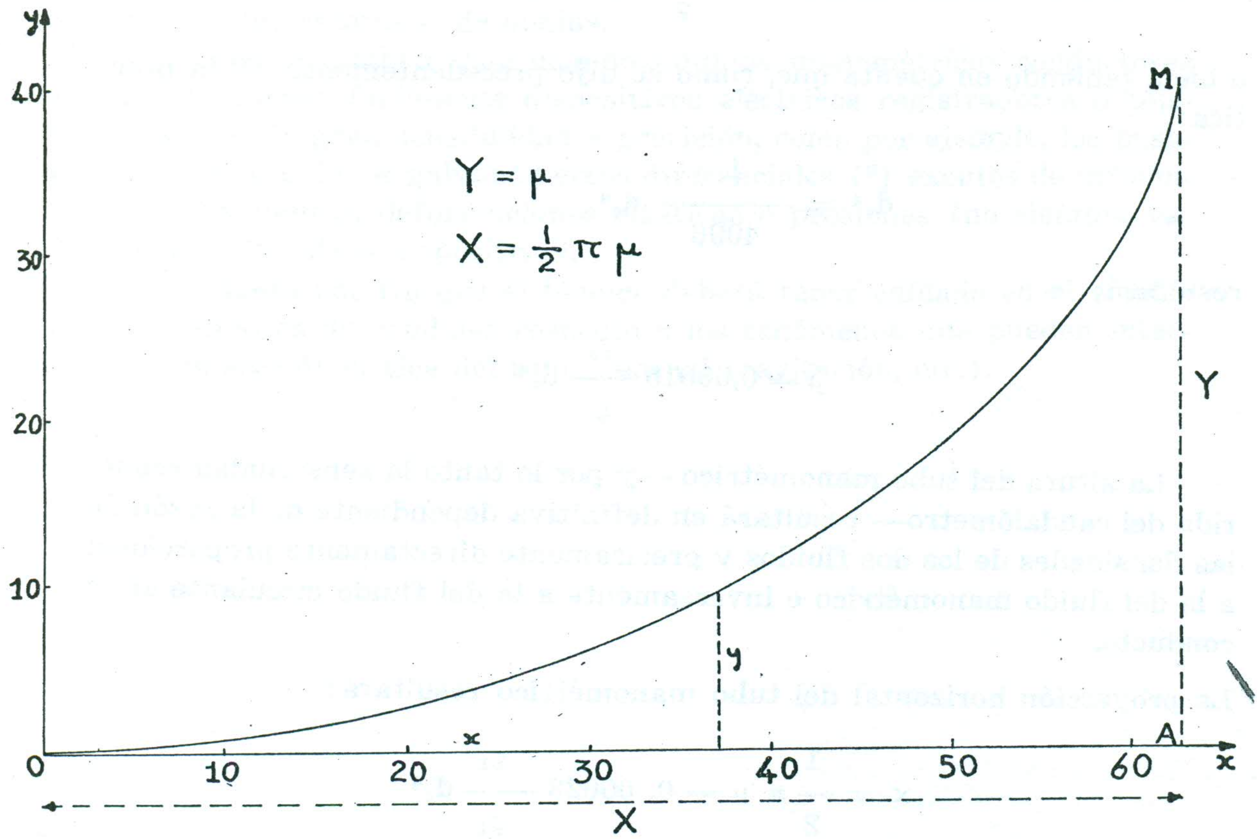

Fig: 3

La (8) da en tal forma la configuración geométrica del eje del tubo manométrico resultando la altura máxima AM $= \mu$ y la base OA $= \frac{1}{2} \pi \mu$.

Las dimensiones del tubo manométrico resultan entonces dependientes solamente de la cantidad μ y son por lo tanto, como observaremos a continuación, dentro de un campo suficientemente vasto, a voluntad del constructor. Es evidente que el volumen del líquido manométrico deberá ser oportunamente proporcionado al de la cubeta.

La cantidad μ está dada por

$$(9) \qquad \mu = 4,905 \frac{\varsigma_1}{\varsigma} h^2$$

es decir por

$$\mu = 0,616 \frac{\varsigma_1}{\varsigma} d_c^2$$

o bien, teniendo en cuenta que, como se dijo precedentemente, en la práctica:

$$d_c^4 = \frac{1}{4096} d_o^4$$

resultará:

$$\mu = 0,00015 \frac{\varsigma_1}{\varsigma} d_c^4$$

La altura del tubo manométrico —y por lo tanto la sensibilidad requerida del caudalómetro— resultará en definitiva dependiente de la razón de las densidades de los dos fluídos y precisamente directamente proporcional a la del fluído manométrico e inversamente a la del fluído circulante en el conducto.

La proyección horizontal del tubo manométrico resultará:

$$x = \frac{1}{2} \pi \mu = 0,00023 \frac{\varsigma_1}{\varsigma_1} d_c^4$$

El aparato, entonces, presentará cómodas y prácticas dimensiones, y quedando al arbitrio del proyectista la longitud del tubo manométrico se podrá prefijar el tamaño de la unidad de la escala en función del número de submúltiplos deseados.

Siendo

$$d^4 = \frac{16 Q^2}{\pi^2 V^2}$$

será también en la práctica

$$\mu = 0,00024 \frac{\varsigma_1}{\varsigma} \frac{Q^2}{V^2}$$

que expresa la relación que suministra los datos constructivos del caudalómetro.

5 — CONCLUSIONES.

De todo lo que precede resulta evidente que el caudalómetro no requiere el empleo de tubos calibrados, viceversa, permite la utilización —y ésto es muy interesante— de nonius.

Es evidente también que usando líquidos manométricos conductores es posible realizar fácilmente dispositivos eléctricos registradores o teleregistradores de gran sensibilidad y precisión, como por ejemplo, los basados en el empleo de los galvanómetros diferenciales (9) exentos de influencias de rozamientos, deformaciones elásticas o presiones (no siempre valorables) de los otros dispositivos.

Es evidente por fin que el técnico deberá tener cuidado en el empleo de los medidores de caudales respecto a los fenómenos que pueden intervenir en la sección crítica del tubo Venturi (cavitación, etc.).

(9) Cremona C. — Bericht über Untersuchungen und Versuche im Schleppkanal zu Guidonia. Haupt-Versammlung der Lilienthal Luftfahrtforschung - Fachgruppe Hydrodynamik. - Berlín, octubre de 1938.