

METODO RADIOISOTOPICO PARA LA INVESTIGACION DE LA CIRCULACION EN LOS TACHOS AL VACIO DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

ERNESTO PEREZ CARDERO, BORIS VERHOVTSKY, LEL MELTZER

(Trabajo recibido en octubre de 1968)

El tacho, en la Industria Azucarera, juega un importantísimo papel, ya que es en él donde tiene lugar la cristalización final, pero sin embargo resulta un "cuello de botella" en la producción, puesto que el proceso que en él se efectúa tiene una duración considerable; es por esto que en el mundo entero todos los interesados en esta industria, ponen los más grandes empeños en el diseño de tachos más rápidos a la vez que más eficientes; por lo tanto, el análisis comparativo de los tachos al vacío existentes, y la relación de los modelos que tiene un trabajo más eficiente, así como también la construcción de los tachos nuevos de mayor eficiencia, es un problema de gran importancia para la economía cubana.

La eficiencia de trabajo de los tachos al vacío depende en gran manera de la buena circulación de la masa cocida dentro del tacho, y de la ausencia de "zonas muertas" (lugares o puntos en el interior del tacho donde el movimiento es nulo o casi nulo). Al mismo tiempo los métodos existentes de medición de las velocidades de flujo en el tacho (por ejemplo: por el electroconductividad /1/) no permiten obtener un cuadro completo de la circulación en el tacho. Este problema es bastante complicado, porque la masa cocida es una masa muy viscosa y opaca, al mismo tiempo que las dimensiones de los tachos alcanzan algunos metros de diámetro, y es muy difícil modelar físicamente los procesos que tienen lugar en los mismos.

El primer intento en usar isótopos para la medición de la circulación en los tachos al vacío ha sido reportado por Australia en el año 1963 /2/ dando unos resultados positivos. En dichos experimentos se introdujo un isótopo encapsulado dentro del tacho, en forma tal que el mismo se movía junto con la masa cocida. Los detectores colocados alrededor del tacho permitieron determinar los movimientos de la fuente en el interior del mismo, y en función del tiempo.

Se hizo el experimento usando un tacho industrial usando 8 detectores con ratemeters y recorders. Para descifrar las mediciones emplearon un tiempo considerable.

CENIC

Publicación periódica del Centro Nacional de Investigaciones Científicas.

Serie B. Ciencias Físicas

Vol. 1. No. 2. Diciembre de 1969

Nosotros decidimos basarnos en el principio de medición usado por los australianos, pero primero investigar profundamente las características de dicho método para desarrollar un sistema general que sea válida para mediciones de circulación en cualquier tacho de la industria azucarera cubana.

Algunas modificaciones del método usado por los australianos en principio han sido evidentemente claras, por ej.: compensación por densidad de la cápsula, uso de los ratemeters logarítmicos de banda ancha, necesidad de convertir la información a una forma utilizable por las máquinas computadoras (para reducir al mínimo el tiempo de cálculo). Pero para recomendar un método para ser usado en la industria, falta primero hacer una investigación teórica y experimental.

Vamos a partir primero suponiendo que la fuente se encuentra en un punto cualquiera dentro del tacho alejado a la distancia r del detector de radiación n , en ese caso la intensidad del flujo de radiación j que alcanzan al detector n es:

$$J_n = K \frac{1}{r^2} e^{-\mu \rho r}$$

donde:

μ — Coeficiente de absorción de masa para los cuantos gamma de una energía dada.

ρ — Densidad de la masa cocida

$$K = 3.7 \times 10^7 n_q a \frac{S_d}{4 \pi} e^{-\mu \rho_p d} \quad (2)$$

n_q — Cantidad de cuantos gamma en cada desintegración

a — Actividad de la fuente [mCi]

S_d — Área efectiva del detector de radiaciones

ρ_p — Densidad del material de las paredes del tacho

d — Espesor de las paredes del tacho [cm] (suponemos que $\ll r$).

Derivamos en (1) por r y dividiendo ambas partes de la relación recibida por Jn y por r , buscamos la relación entre los errores relativos de medición de distancia $\delta_r = dr/r$ y de intensidad. $\delta J = dJ/Jn$

$$\delta_r = - \frac{\delta J}{\mu \rho r + 2} \quad (3)$$

En el caso general el error en la medición de distancia, se determina por tres factores independientes relacionados por el carácter estadístico de la desintegración radioactiva $(\delta_r)_{st}$ con la inestabilidad del equipo de medición $(\delta_r)_{eq}$ y por último con el error metodológico relacionado con los cambios en densidad de la masa cocida en el proceso de medición. $(\delta_r)_{met}$.

Método radioisotópicos para la investigación de la circulación en los tachos al vacío de la Industria Azucarera.

Por tanto:

$$\delta_r = \sqrt{(\delta_r)_{st}^2 + (\delta_r)_{eq}^2 + (\delta_r)_{met}^2} \quad (4)$$

En la determinación de las trayectorias del movimiento de la fuente dentro del tacho, es más cómodo frecuentemente operar con un error absoluto en la medición de la distancia. $\Delta r = \delta_r \cdot r$ (5)

En este caso:

$$\Delta r = \sqrt{(\Delta r)_{st}^2 + (\Delta r)_{eq}^2 + (\Delta r)_{met}^2} \quad (6)$$

Analicemos detalladamente los factores antes mencionados:

1.—Error estadístico

$$\delta J_{st} = \frac{1}{\sqrt{2 v J_n \tau}} \quad (7)$$

donde: v es la eficiencia del detector de radiaciones.

τ Constante de tiempo del circuito integrador del ratemeter. $[_{seq}]$ Sustituyendo el valor de δJ_{st} en la fórmula (3) y tomando en cuenta (1) (5) recibimos la expresión para el error absoluto en la medición de la distancia r como consecuencia del carácter estadístico de las desintegraciones.

$$\Delta r_{est} = - \frac{r^2 e^{\frac{\mu \rho r}{2}}}{\mu \rho r + 2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2 k v \tau}} \quad (8)$$

2.—Error por la inestabilidad del equipo

En el caso general el error en la medición de la intensidad del flujo de las radiaciones puede ser dado como el error relativo en por ciento de la intensidad de medición, así como también por el error absoluto, en pulsos/seg. El primer caso es el más frecuente y es el que tiene lugar en nuestras mediciones, por eso, si consideramos que δJ_{eq} es un valor dado usando las expresiones (3) y (5) obtenemos:

$$\Delta r_{eq} = - \frac{r \delta J_{eq}}{\mu \rho r + 2} \quad (9)$$

3.—Error metodológico

Diferenciando J_n en la fórmula (1) por ρ y dividiendo ambas partes de la expresión recibida por J_n y por ρ , obtenemos la relación entre las varia-

ciones de densidad $\delta \rho = \Delta \rho / \rho$ y las variaciones en la intensidad de flujos de las radiaciones correspondientes δJ_{met}

$$\delta J_{met} = -\delta \rho \cdot \mu \rho r \quad (10)$$

Sustituyendo en la fórmula (3) el valor recibido de δJ en (10) y tomando en cuenta (5), recibimos:

$$\Delta r_{met} = \delta \rho \frac{\mu \rho r^2}{\mu \rho r + 2} \quad (11)$$

Sustituyendo los valores Δr_{est} , Δr_{eq} y Δr_{met} dados por las fórmulas (8) (9) y (11) en la fórmula (6) recibimos el error absoluto total en la medición de la distancia r .

$$\Delta r = \frac{r}{\mu \rho r + 2} \sqrt{\frac{r^2 e^{\mu \rho r}}{2 K \nu \tau} + (\delta J_{eq})^2 + (\delta \rho)^2 (\mu \rho r)^2} \quad (12)$$

Si sustituimos el valor de K en la fórmula (12) y resolviendo la ecuación recibida en relación a la actividad a , recibimos la ecuación principal (13) del sistema de medición, que relaciona entre sí los principales parámetros del sistema de medición.

$$a = \frac{1.7 \times 10^{-7} r^4 e^{\mu(\rho r + \rho p d)}}{\eta_a S_a \nu \tau [(\Delta r)^2 (\mu \rho r + 2)^2 - (\delta J_{eq})^2 r^2 - (\delta \rho)^2 (\mu \rho r)^2 r^2]} \quad (13)$$

El análisis de la expresión (12) muestra que el error aumenta con el aumento de la distancia entre el detector y la fuente de radiación, por lo que al calcular la actividad, es necesario tomar en cuenta la distancia max. posible, que regularmente es igual o ligeramente mayor que el radio del tacho. De la expresión (12) se desprende también que la influencia del error del equipo en las distancias grandes es relativamente pequeña, y no es necesario exigir una gran precisión en los equipos de medición, al mismo tiempo las variaciones de la densidad de la masa cocida influye grandemente en los resultados de medición, y puede exigir en algunos casos una corrección adicional. La aparición de un signo negativo en el denominador de la expresión (13) nos indicaría en particular que la precisión deseada no es posible de alcanzar para cualquier valor de la actividad sin antes haber introducido una corrección por las variaciones en densidad.

Los cálculos realizados para condiciones concretas de medición en los tachos con diámetros de 1.5 hasta 5 ms. muestran que si los requisitos en la medición en distancia no son muy exigentes, no es necesaria ninguna corrección por las variaciones de densidad.

La densidad de la masa cocida en el proceso de medición varía de 1.35 hasta 1.45 gr/cm³ ($\rho = 1.4$ gr/cm³; $\delta\rho = 0.0357$)

Como fuente de radiación Co 60 ($\mu = 0.04$ y $\eta_0 = 2$)

En el equipo de medición usamos los contadores de centelleo $S_d = 11.4$ cm², $v = 0.2 \div 0.25$) y los ratemeters logarítmicos con una precisión no muy alta $\delta J_{eq} = 0.05$) y una constante de tiempo que cambia automáticamente desde algunos segundos hasta milésimas de segundo cuando el conteo promedio cambia desde 10 hasta 10⁵ pulsos/seg. Los tachos tienen las paredes de hierro con un espesor de 1 cm ($\rho_p = 7.5$ gr/cm³; $d = 1$ cm).

Los resultados de los cálculos utilizando las relaciones (12) y (13) muestran que en esas condiciones la precisión máxima en la determinación de la posición de la fuente en el tacho piloto experimental con un diámetro de 1.5 ms. ($r_{max} = 80$ cm) es de alrededor de 3 cm (Δr) y se puede obtener con una fuente de 10 mCi de actividad y $\tau = 0.1 \div 0.2$ seg.

La actividad necesaria para las mediciones en los tachos standard con un diámetro de 3 ms ($r_{max} = 1.60$ cm es de 100 mCi con una precisión en la determinación de la fuente $\Delta r = 6 \div 8$ cm y $\tau = 1 \div 2$ seg.

De la fórmula (13) es posible concluir que la actividad crece rápidamente con el aumento del diámetro del tacho, y por ejemplo para los tachos del tipo low head (diámetro alrededor de 5 ms) ya es necesaria una actividad de 5 Ci con $\Delta r = 10$ cm y $\tau = 5 \div 10$ seg.

Es necesario mencionar también que con el aumento de la actividad aumenta también la zona muerta en las mediciones de los puntos cerca de los detectores, lo que está relacionado con la saturación del sistema de medición.

Por ejemplo, para el conteo max. 10⁵ pulsos/seg. el radio de la zona muerta en las mediciones de los puntos cerca de los detectores es de 15 cms. para una actividad de 10 mCi, 30 cms para 100 mCi y 70 cms para 5 Ci.

El problema de las mediciones en las distancias min. y max. para un detector dado se resuelve por la información recibida por los otros detectores más cercanos.

Para mediciones en los tachos más grandes es posible también utilizar detectores con cristales de mayores dimensiones y fuentes de radiación con cuantos gamma de energía mayores. Por ej. en los experimentos descritos en /2/ utilizaron como fuente de radiación Na²⁴ que tiene cuantos gamma de energía 2.8 Mev. que es mucho mayor que la energía de los cuantos gamma del Co⁶⁰, pero el período medio de desintegración del Na²⁴ es solamente de 15 horas, lo que no nos permite usarlo para mediciones sucesivas en los centrales azucareros de Cuba.

Una visión completa del experimento se muestra en la fot. /1/.

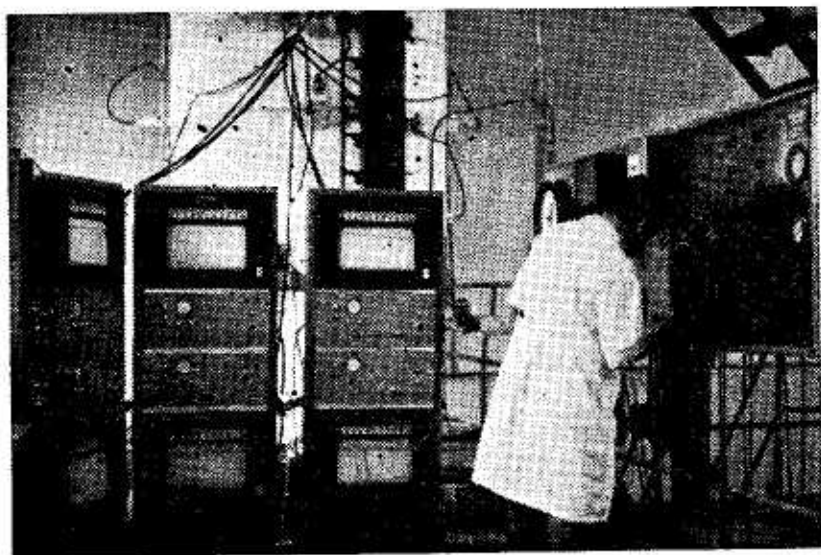
La fuente se introdujo a través del dispositivo (2) después que el tacho alcanzó el nivel establecido.

Los detectores de radiación (3) contadores de centelleo con cristales de NaI - Tl con un diámetro y altura de 1.5×1.5 pulgadas, fotomultiplicador Emi- 9536A y un preamplificador transistorizado han sido puestos en dos niveles horizontales, tres en cada nivel. Los tres primeros en el nivel a 40 cm. sobre la calandria y el segundo a 1 m. aprox. El ángulo entre los contadores en el mismo plano es de 120° . Un contador adicional se colocó debajo de la calandria para fijar el momento del paso de la fuente por la misma. La señal de los detectores después de amplificados pasan a los ratemeter logarítmicos NE5457 (Nuclear Enterprises, Inglaterra). La salida de los cuales está conectada con los recorders. Simultáneamente se realizó la transformación de la información de los ratemeter en forma digital para introducir la misma en la computadora electrónica Elliot 803. La transformación mencionada se realizó a través de un código binario con ayuda de un convertidor análogo-digital en forma de un disco colocado en el eje del recorder fot. (2). La calibración de las combinaciones del disco se realizó en un tanque especial con masa cocida de tal manera que a cada combinación de cinco contactos correspondía un intervalo determinado de distancia ($5 \div 10$ cm). La información recibida se introdujo a través de la cinta perforada, en la computadora donde se realizaron los cálculos de la trayectoria de la fuente así como también la velocidad de la misma se realizó por el método iterativo (aprox. sucesivas) en tal forma que si en cualquier momento como consecuencia de los errores en la determinación de las distancias entre la fuente y los detectores las coordenadas de la fuente no se unen en un punto determinado la máquina busca la posición más probable de la fuente para ese caso.

Se tomaron las medidas correspondientes para balancear la fuente con la masa cocida por densidad de tal forma que la fuente sigue exactamente los movimientos de la masa cocida independientemente de las variaciones de la densidad de la masa cocida. Para lo cual la cápsula con la fuente se fijó en una pelota perforada, fot. (3).

Para una mejor compensación es importante que el peso de la pelota con la cápsula sea mínimo y el peso por unidad de volumen sea igual a la densidad promedio de la masa cocida ($1, 4 \text{ gr/cm}^3$). (Cuando se introduce la pelota en la masa cocida, esta llena el volumen desocupado de la pelota, con la variación de la densidad de la masa cocida en el tacho varía también la densidad de la masa cocida en la pelota y como el peso propio de la pelota es mucho menor que el peso de la masa cocida contenida en la misma el desbalance por densidad es pequeño y teniendo en cuenta la alta viscosidad de la masa cocida, prácticamente no se introducen errores adicionales. Por lo menos los experimentos realizados en el tanque de calibración con la pelota balanceada demuestran lo anteriormente expuesto.

La metodología desarrollada permite recibir rápidamente los datos objetivos de la circulación dentro de los tachos. En diferentes regímenes de trabajo de los mismos.



For. 1

Mediciones en el tacho experimental. 1 tacho al vacío, 2 dispositivo para introducir la fuente de radiación, 3 detectores de radiación, 4 recorders, 5 ratemeter logarítmicos, 6 pizarra de control del tacho.

CENIC

Publicación periódica del Centro Nacional de Investigaciones Científicas.

Serie B. Ciencias Físicas

Vol 1. No. 2. Diciembre de 1969

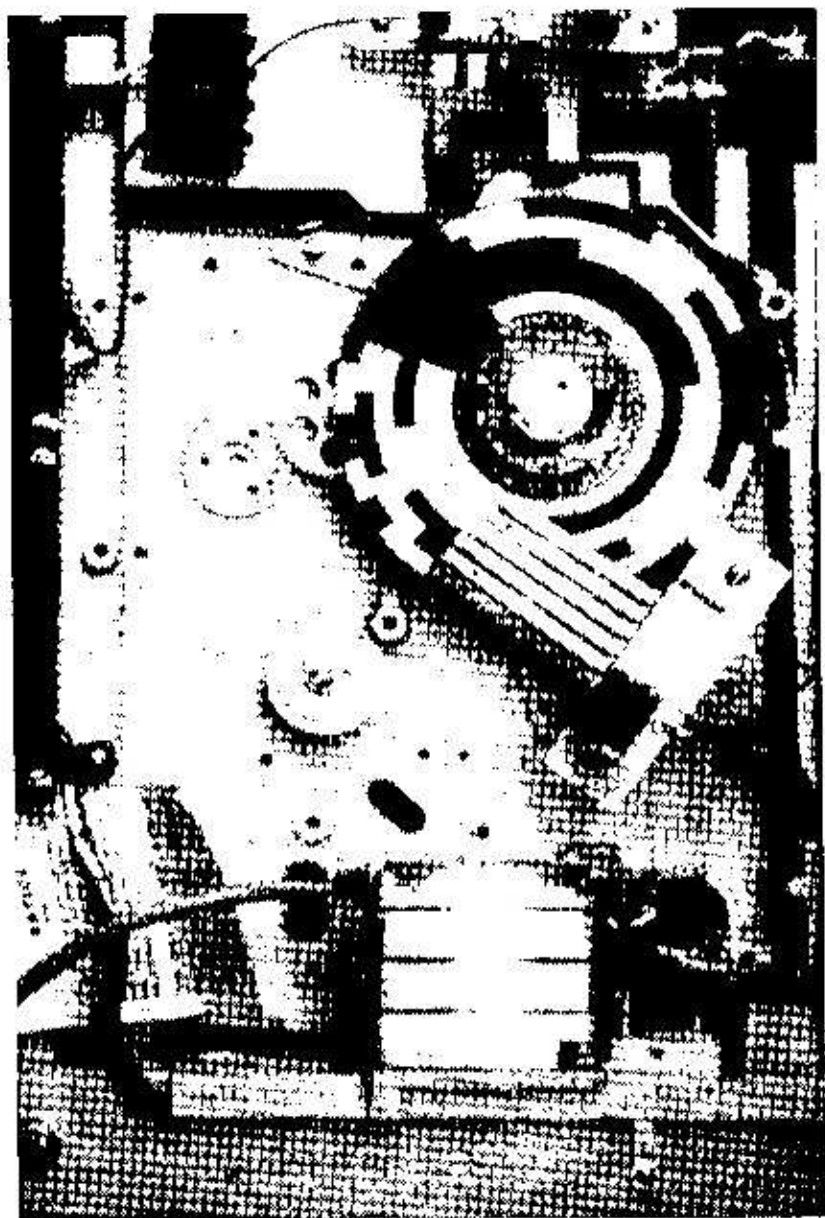
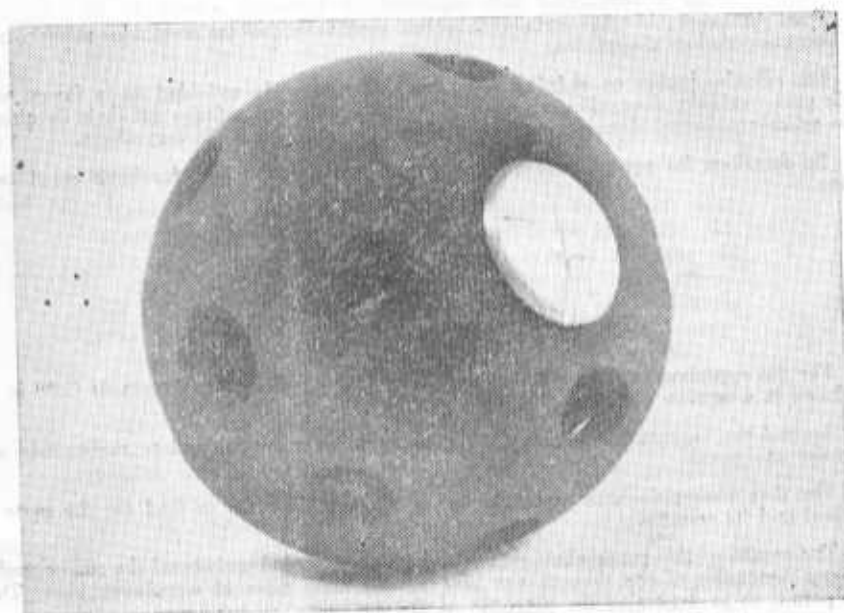


Fig. 2
Converter analog-digital

Trabajo de la Comisión de la Energía Atómica

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
EN LAS CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES



For. 3

Pelota perforada con la fuente de radiación.

RESUMEN

1.—Ing. E. Pérez Cardero, Ing. B. Verjovsky, Ing. L. Meltzer.

METODO RADIOISOTOPICO PARA LA INVESTIGACION DE LA CIRCULACION EN LOS TACHOS AL VACIO DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

Para las investigaciones experimentales se introduce en el tacho la pelota, compensada por densidad con la masa cocida, conteniendo una fuente de Co^{60} .

Alrededor del tacho se colocan 8 contadores de centelleo conectados con equipos electrónicos radiométricos y registradores.

Para determinar la trayectoria de la pelota y su velocidad los resultados se elaboraron en una computadora electrónica.

Los cálculos hechos en el informe permiten determinar la actividad de la fuente necesaria para cualquier dimensión del tacho y para diferentes velocidades del flujo de circulación además permiten determinar la precisión de la medición de la trayectoria.

Se describen los equipos utilizados y los resultados de las investigaciones en el tacho piloto.

SUMMARY

For the experimental research, a density compensated ball with a source of Co^{60} is introduced in a vacuum pan.

Around the vacuum pan eight scintillation counters are connected to radiometric and recorder equipment.

The data were elaborated in an electronic computer in order to find out the route of the ball and its velocity.

The results of this paper allow us to determine the needed activity of the source useful for any dimension of the vacuum pan and for different rates of circulation path. They also permit us to determine the precision of the pathway.

The equipment used and the results of the investigation in the vacuum pan are described.

BIBLIOGRAFIA

1. Honig R. Handbook of Sugar Technology, N.Y. London 1959.
2. Sugar Research Institute of McKay, Annual Review 1962-1963.
3. E. Hugot Manual para ingenieros azucareros 1963 (La Sucrierie des Cannes).