

ESTUDIO DINAMICO DE UN CONCENTRADOR PILOTO DE ALIMENTOS USANDO ISOTOPOS RADIATIVOS

Luis Heighes*

Facultad de Química e Ing. Química
Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, Perú

y

Aurelio Arbildo

Instituto Peruano de Energía Nuclear apt. 1687, Lima, Perú

Recibido 5 de Diciembre de 1986

Abstract

Radioactive isotopes were used to measure various quantities related to the evaporation of tomato juice. The study considers: (1) Several tests at laboratory level which were performed in order to know the most adequate experimental procedures as well as equipment layout; (2) Prospective study of the evaporator such as sudden changes in the thickness, internal structure and so on and (3) Dynamic behaviour of the process matter during operation. As a result of this study, a method for measuring the vortex profile due to stirring was developed. The measured evaporation rate as a function of time varies up to 1.5 l/min at the operation conditions.

Resumen

Se han hecho mediciones de diversos aspectos del proceso de concentración del jugo de tomate, así como del evaporador, usando para este fin isótopos radiactivos. El estudio comprende: (1) Las diversas pruebas realizadas a nivel de laboratorio para determinar los procedimientos más adecuados, así como la

*Dirección actual Industrias Vencedor, División Química Avenida Republica de Panama Lima, Perú

optimización de los accesorios utilizados para las mediciones; (2) Estudio prospectivo de la estructura del concentrador, como por ejemplo los cambios bruscos de espesor debido a soldadura, estructura interna no visible, etc. y (3) Determinación del comportamiento dinámico de la masa de trabajo durante la evaporación. Como producto de este estudio se ha desarrollado un método para medir el perfil del vórtice debido a la agitación, el que es con parado con valores teóricos. Se ha determinado también la velocidad de evaporación como función del tiempo, la que varía hasta un máximo de 1.5 l/min a las condiciones del experimento

1 Introducción

Hacer un análisis del comportamiento dinámico de una planta de producción en funcionamiento, sea o no un proceso continuo, no es tarea sencilla, especialmente cuando no hay acceso visual al interior del reactor. En el caso de la concentración del jugo de tomate es importante determinar la velocidad de evaporación, el estudio temporal de este fenómeno se hace normalmente mediante extracción de muestras [1]. Desde que el proceso es discontinuo, es posible conocer la velocidad media de evaporación basándose en las concentraciones inicial y final, como se describe en la referencia [2]. Sin embargo hay muchos otros fenómenos involucrados en el proceso de evaporación que pueden ser determinados en forma dinámica mediante el uso de isótopos radiactivos. Desde la década del 60 se ha publicado extensivamente en el campo de las aplicaciones industriales de los radioisótopos [3-5].

En el estudio dinámico del proceso de evaporación es posible usar isótopos radiactivos para determinar espesores de diversas partes de la estructura, velocidad y eficiencia de la agitación, niveles de concentrado, así como la velocidad de evaporación en función de las variables de operación más importantes.

2 Descripción del Proceso en Estudio

El proceso de concentración de la pulpa del tomate, así como la de otros productos similares, se realiza en un evaporador. Para este estudio en particular se utiliza un tanque de vacío esférico de 80 litros tipo VB20 [6] cuyo diagrama se muestra en la figura 1.

El jugo de tomate, que ingresa al evaporador, ha pasado previamente por un proceso de acondicionamiento tal que tenga un porcentaje de sólidos que varía entre 6 y 8%, el ingreso se hace a través de la válvula C1 cargando la pulpa hasta ocupar en volumen aproximado de 135 l. El material de trabajo es mezclado mediante un agitador tipo ancla que gira a 32 RPM. La pulpa es luego calentada hasta unos 75 °C mediante una chaqueta de vapor que cubre la semiesfera inferior del evaporador.

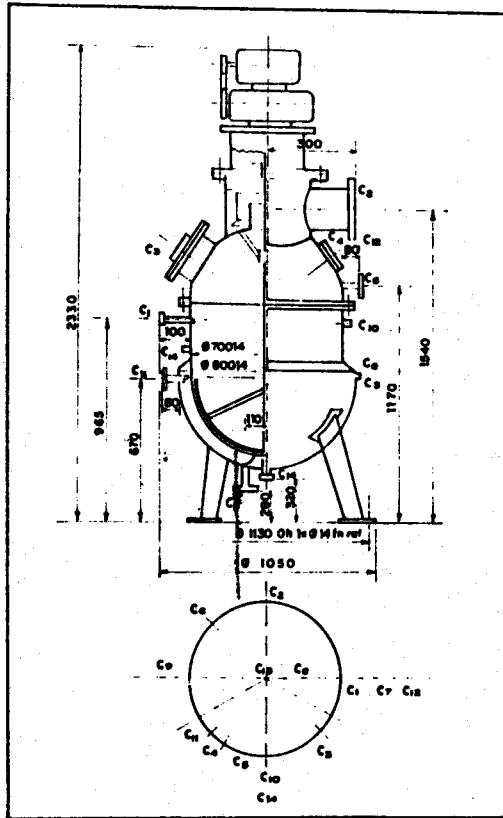


Fig 1. Evaporador tipo BV20.

Una vez alcanzada la temperatura de operación, se reduce la presión gradualmente hasta unos $0.6 \text{ kgf/cm}^2 \text{ abs}$, la evaporación se realiza a presión constante hasta que la concentración de la pasta sea del orden del 35% de sólidos.

Durante la operación se realizan controles rutinarios de presión de evaporación, presión de vapor que ingresa a la chaqueta de calentamiento, temperatura del condensado, así como la calidad del concentrado. Es de hacer notar que el control de calidad del concentrado se efectúa mediante extracción de muestras que significan necesariamente una paralización temporal de la evaporación.

3 Sistemas de Detección de Radiaciones

En todas las mediciones se utilizaron detectores de radiación de $INa(Tl)$ en un analizador multipropósito RD-160 que consta fundamentalmente de: (1) cristal detector con fotomultiplicador para transformar los fotones de radiación en señales eléctricas, (2) preamplificador incorporado para aumentar el tamaño de las señales, (3) fuente de alta tensión para el fotomultiplicador, (4) amplificador y unidad de discriminación que permita seleccionar la energía de radiación a medirse. Las señales son registradas en forma analógica o digital, la señal analógica de la razón de conteo puede ser graficada y la digital almacenada en memoria. El sistema está controlado a través de un terminal de datos Texas Silent.

4 Pruebas a Nivel de Laboratorio

La primera etapa, previa a las mediciones *insitu*, estuvo orientada al desarrollo de los métodos experimentales así como la construcción de aparatos experimentales auxiliares. Se ensayaron tanto fuentes selladas como fuentes abiertas para determinar la factibilidad de medir interfaces, densidades y espesores en condiciones similares a las de la planta piloto.

Se hicieron mediciones de la atenuación de la radiación en mezclas de jugo de tomate de varias concentraciones. En una primera instancia se mezcló material radiactivo con la pulpa y se midió la respuesta del detector, situado externamente, a diversas concentraciones, determinado de esta manera la factibilidad de correlacionar la respuesta relativa del detector como función de la densidad de la mezcla. Un experimento similar demostró que es más ventajoso utilizar una fuente de radiación externa interponiendo la mezcla entre fuente y detector, y correlacionando como en el caso anterior respuestas *versus* densidad. Esta técnica, sin embargo, tiene dificultades de aplicación cuando ocurre burbujeo no uniforme dentro de masa que se está evaporando.

La otra técnica que se optimizó en el laboratorio fue la medida de niveles, y se basa en la diferencia de atenuación de la radiación gamma en aire respecto a la atenuación en la mezcla. Moviendo simultáneamente (en forma vertical) el detector y la fuente, los que se encuentran en posiciones opuestas, alrededor de la interface es posible identificar la posición de la misma. Para este efecto se diseñó y construyó el aparato experimental que se muestra en la figura 2, este dispositivo

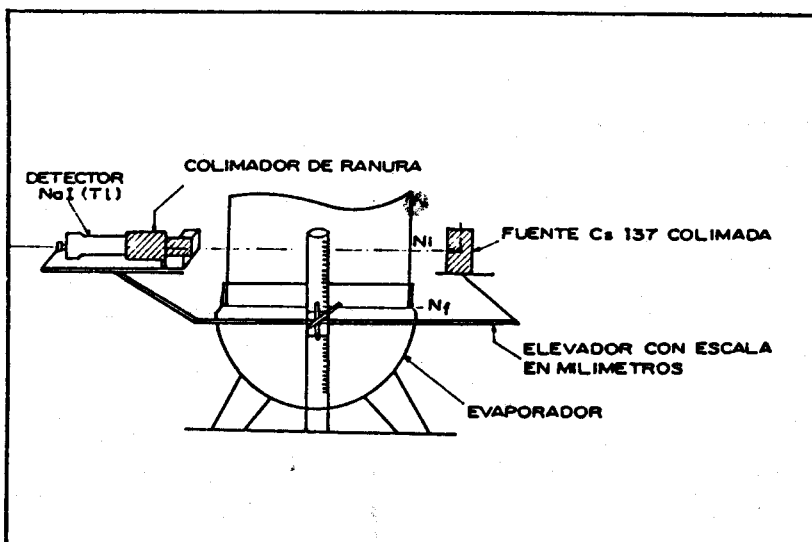


Fig 2. Sistema fuente-detector para la medición de la atenuación de radiación.

permite mover en forma precisa, simultáneamente el detector y la fuente con sus respectivos blindajes distancias muy pequeñas en la dirección vertical, pudiendo hacer de esta forma curvas de atenuación como función de la posición. Desde que la resolución, en la determinación de la interface es sensible a la fracción de radiación dispersa que llega al detector, se ensayaron varios tipos de colimadores hasta obtener el más adecuado.

5 Mediciones in situ

5.1 Determinación de Espesores

Utilizando el sistema de detección ya descrito anteriormente, se hizo un perfil de atenuación de la radiación a lo largo del evaporador (ver Fig. 2), manteniendo el evaporador vacío. Este perfil fue levantado para garantizar la uniformidad de la

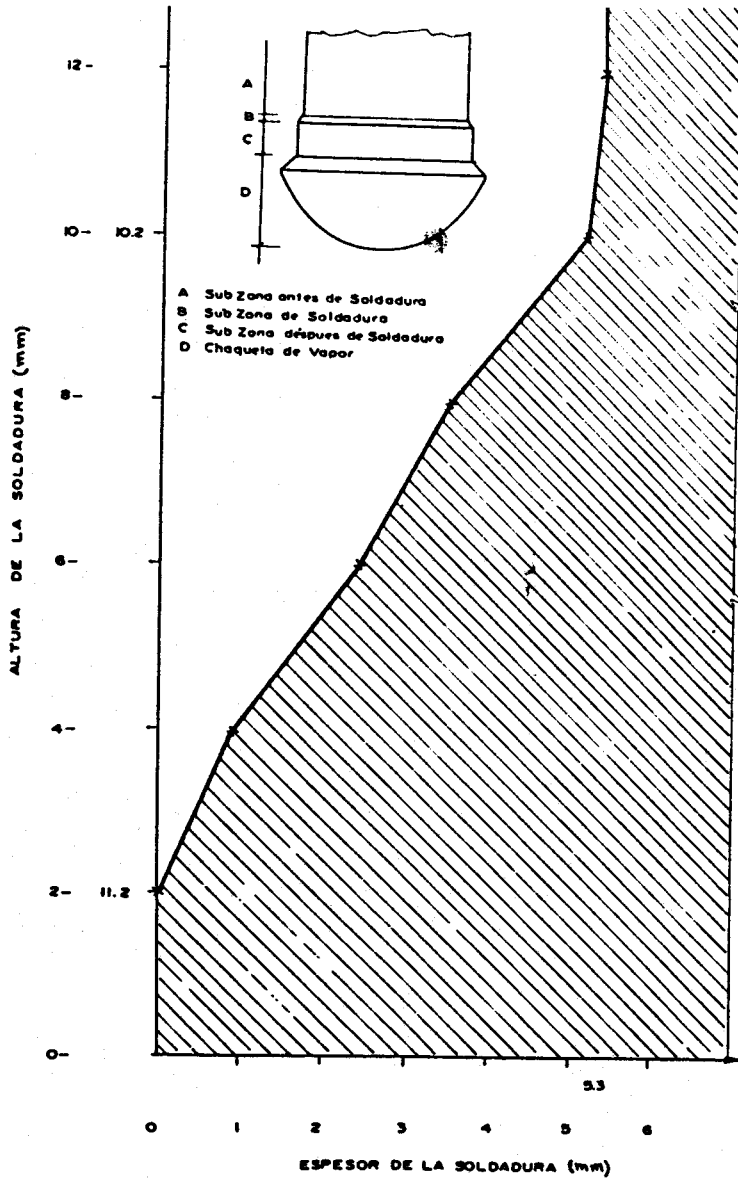


Fig 3. Perfil de la soldadura.

pared y para poder discriminar posteriormente cualquier variación en las curvas de atenuación debido a variaciones del espesor, variaciones que de otra forma pudieran interpretarse como interface pulpa-vapor. Se comprobó que la pared era uniforme a excepción de la zona de soldadura, a partir de la cual se incrementa el espesor en 5.3 mm.

De la conocida ecuación de atenuación exponencial se derivó la ecuación (1) que define el espesor, x , de la pared como:

$$x = d_1 + (d_2 - d_1) \frac{\ln(N_x/N_1)}{\ln(N_2/N_1)} \quad (1)$$

en la que N_1 y N_2 son las razones de conteo del detector en las zonas de espesor d_1 y d_2 respectivamente y N_x es la razón de conteo en la zona cuyo espesor es x .

El resultado de este perfilaje es mostrado en la figura 3. Se determinó que el cambio de espesor, el que no es brusco debido a la soldadura, representa en promedio una pendiente de 62 °C.

5.2 Medición del Vórtice

Debido a la existencia de un agitador (tipo anda), cuyo eje es de 4.8 cm, hace que la interface pulpa-vapor no sea plana ya que se forma un vortice dependiente de la velocidad de agitación. Con el objeto de medir la magnitud de la variación del perfil con la agitación, se hizo una medición de la atenuación de la radiación como función de la posición en los alrededores de la interface.

En la figura 4 se muestra el resultado de dicho perfilaje, en dicho gráfico se presentan las razones de conteo como función del tiempo para cada posición, siendo el ancho del pico proporcional al tiempo de conteo, y el ancho de los valles al tiempo necesario para cambiar a la siguiente posición de medida. Con la formación de esta curva se ha construido la curva (representativa del vórtice, haciendo un tratamiento análogo al descrito por la ecuación (1)). Estos resultados son mostrados en la figura 5. En dicha figura se presenta también la gráfica del vórtice teórico debido únicamente al eje del agitador, la curva representativa del vórtice teórico fue calculado suponiendo que la pulpa es un fluido no newtoniano que obedece al modelo de Ostwald/De waale según

$$\tau_{r\theta} = -\mu \left| \frac{dv_\theta}{dr} \right|^{n-1} \frac{dv_\theta}{dr} \quad (2)$$

donde r y θ son las coordenadas cilíndricas, n es el grado de desviación del com-

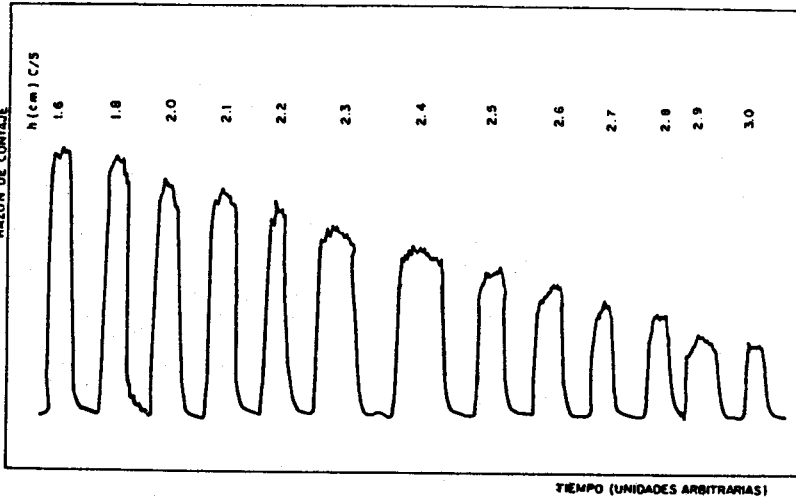


Fig4. Razón de contaje versus tiempo en la determinación experimental del vórtice.

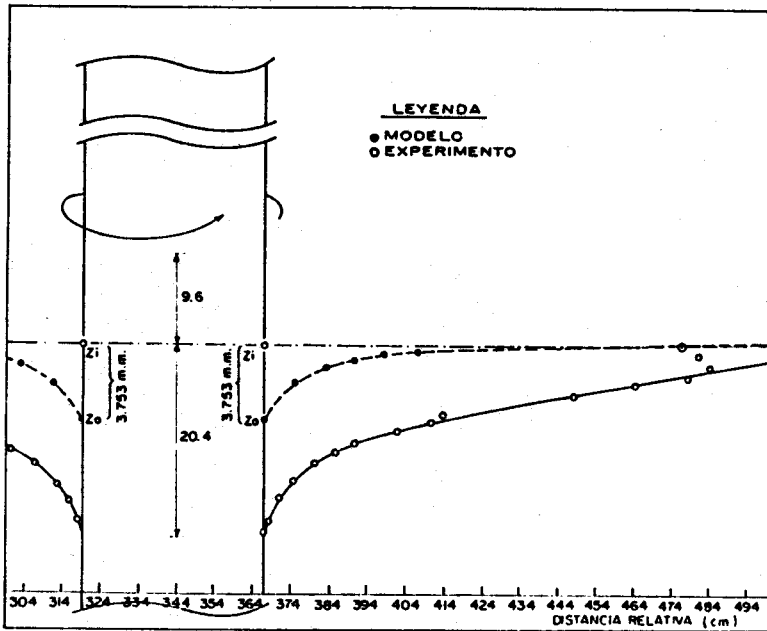


Fig 5. Perfil del vórtice alrededor del eje.

portamiento newtoniano ($n = 0.455$ para la pulpa de tomate con 8.3% de sólidos), μ es la viscosidad, v es la velocidad lineal y $\tau_{r\theta}$ el esfuerzo de corte. Hallándose que el perfil del vórtice está representado por

$$\Delta Z(r) = k \left\{ \frac{A}{B} (r^{(1-2/n)} - r_1^{(1-2/n)}) - \ln \frac{r}{r_1} \right\} \quad (3)$$

Con

$$A = 1 - 2r_2^{(1-2/n)}, B = (1 - 2/n)r_2^{2(1-2/n)}$$

y

$$k = \frac{1}{g} \left(\frac{\omega r_1}{1 - (r_1/r_2)^{(1-2/n)}} \right)^2$$

donde: r_1 = radio externo del agitador, r_2 = radio interno del tanque, $\Delta Z(r)$ = distancia axial entre el nivel máximo y la correspondiente a radio r , ω = velocidad angular del eje, g = aceleración de la gravedad.

Para poder comparar la ecuación (3) con los resultados experimentales es necesario ubicar la intersección entre la superficie que representa el vórtice con el plano $Z = RI$ que representa un balance de materia siguiente:

$$\int_0^{\Delta Z(RI)} \int_{r_1}^{RI} 2\pi\rho dr d(\Delta Z) = \int_{\Delta(RI)}^{\Delta Z(r_2)} \int_{RI}^{r_2} 2\pi\rho dr d(\Delta Z) \quad 4$$

donde RI es la posición radial a la que ocurre la intersección. La ecuación (4) fue evaluada numericamente.

De la comparación entre el perfil teórico y el experimental se concluye que el vórtice se debe no solamente al efecto del eje sino fundamentalmente al ancla que gira a 32 RMP en la parte inferior de evaporador.

5.3 Medición de la Velocidad de Evaporación

Con el objeto de determinar la velocidad de evaporación se determinaron los niveles que alcanzó la masa del concentrado del jugo de tomate durante la etapa de concentración. Esta prueba se desarrolló midiendo los niveles alcanzados simultáneamente a la toma de las muestras para determinar el % de sólidos utilizando un refractómetro.

El procedimiento consistió en establecer el nivel inicial antes de iniciar la evaporación, evaporando a la presión de vacío de 0.6 kgcm^{-2} durante cierto tiempo pre-establecido. Se detiene la evaporación, se mide el nuevo nivel y se establece el volumen evaporado por diferencia de niveles a la vez que se toman muestras del concentrado para determinar el % de sólidos y con ello la velocidad de evaporación para comparar con el método presentado en el presente trabajo. Se inicia nuevamente la evaporación repitiéndose los pasos ya mencionados.

Los resultado arrojaron, para una presión promedio de 0.57 kgcm^{-2} y una temperatura de $75 \text{ }^\circ\text{C}$ que la velocidad de evporación varía desde 0 a 1.48 l/min y el promedio es de 1.32 l/min .

El % sólidos inicial fue de 8.3% y el final de 12.45% (medido en función de niveles) y de 13.62% (medido con refractómetro). Los resultados son presentados en la figura 6.

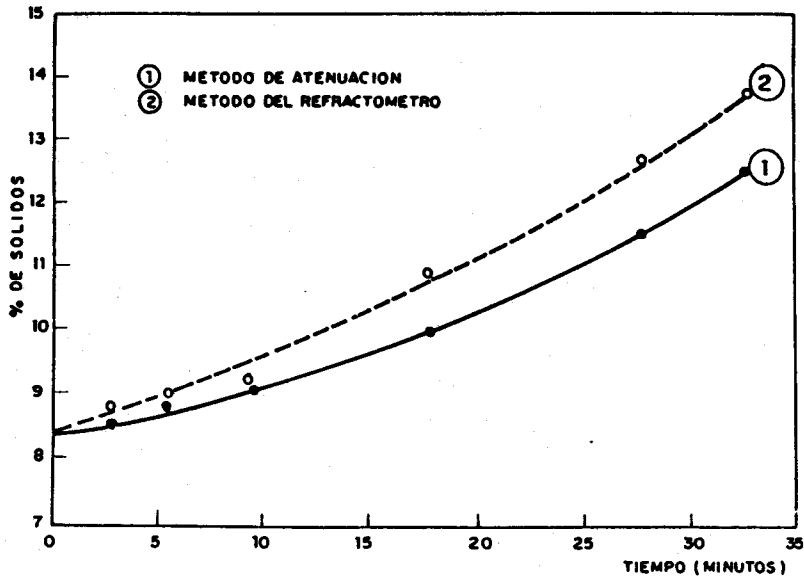


Fig 6. Historia de la Evaporación.

6 Conclusiones

En el presente trabajo se han explorado algunos usos de los isótopos radiactivos en el análisis de equipos de proceso, encontrando que se puede obtener información importante del proceso así como de los equipos. En el proceso de concentración de la pulpa de tomate, se ha encontrado que la determinación de los niveles a medida que transcurre el proceso es imprecisa a menos que se tenga un control instrumental fino de la presión de trabajo. Las diferencias observadas de la velocidad de evaporación medidas por el presente método y el del refractómetro parece ser producto de imprecisiones en la determinación de niveles.

El método de determinación del vórtice, a pesar que en el presente experimento ha sido verificado parcialmente, parece ser un método adecuado que podría ser utilizado inclusive para la determinación experimental de viscosidades de fluidos no newtonianos.

Otras mediciones experimentales relacionados al proceso, tal como la velocidad de rotación del agitador, son igualmente posibles.

Referencias

- [1] J. Herrera, F. Martínez, y G. De La Cruz. *Anales Científicos de UNA* Vol V, pp. 56-65 (1967)
- [2] *Planta piloto de Alimentos Guía de Laboratorio "Prueba de Evaporación"*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- [3] J. S. Charlton. *Radioisotope Tracers in Industry and Geophysics. Proceedings of a Symposium, Prague, 21-25 Nov, 1966, IAEA, Viena*
- [4] R. Gardner and R. Ely, *Radioisotope Measurement Applications in Engineering*, IAEA, Viena, 1967.
- [5] *IAEA Laboratory Manual on the Use of Radiotracer Techniques in Industry and Environmental Pollution*, IAEA TRS 196, Viena, 1975.
- [6] *Taller de Fundición de Hierro y Acero, Kobanya, Manual de Instrucciones del tanque de vacío Esférico tipo VB20*, Budapest, 1975.

Estudio dinámico de un concentrador piloto de alimentos usando isótopos radiactivos por Luis Heighes, Aurelio Arbildo se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.