

Análisis energético y evaluación numérica para el diseño de tanques de tratamiento hidrotérmico del mango

Elder Mendoza, Ph.D.¹, Daniel Marcelo, Ph.D.²

¹Universidad de Piura, Perú, eldermendoza_24@gmail.com

²Universidad de Piura, Peru, daniel.marcelo@udep.pe

Resumen— El mango es una de las frutas tropicales más apreciadas y mejor pagadas en los mercados internacionales. En el Perú, su exportación se encuentra regulada dentro de un entorno de control de calidad fitosanitario el cual permite eliminar “la mosca de la fruta”, exigidos por los países importadores, constituyendo así, la principal restricción fitosanitaria para su exportación. De esta forma, el mango debe estar sujeto a un tratamiento hidrotérmico previo, el cual constituye un proceso que involucra la inmersión temporal de dicho producto en agua caliente sobre un periodo de tiempo.

En este trabajo, mediciones de campo, seguido por estudios analítico y de simulación fueron desarrollados sobre un equipo industrial existente de tratamiento hidrotérmico, de manera a caracterizar el comportamiento fluidodinámico y térmico que demanda dicho proceso. En base a este estudio, se planteó mediante el empleo de herramientas sofisticadas de simulación un prototipo mejorado de sistema hidrotérmico de forma que el proceso sea realizado de manera energéticamente eficiente y a la vez cumpla simultáneamente con los requerimientos exigidos por diversos países para su exportación. Resultados de simulación evidenciaron sobre este nuevo equipo un incremento en sus prestaciones fluidodinámica y térmicas.

Keywords—Análisis energético, mango, hidrotérmico.

I. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de exportar el mango, éste debe de ser sometido a diversos procesos que deben asegurar la erradicación de larvas de “la mosca de la fruta” en el interior del mango. El tratamiento hidrotérmico es un proceso muy utilizado en las empresas exportadoras de mango de la región que asegura la eliminación de “la mosca de la fruta”. Este proceso consiste en sumergir el mango en agua caliente a cierta temperatura durante un periodo de tiempo establecido según el protocolo del país importador, el peso, calibre y tipo de mango. La temperatura a la que es sometido el mango deberá ser controlada y registrada de manera que se cumplan los estándares de certificación exigidos dentro del proceso, por cada país importador de la fruta.

II. MODELADO MATEMÁTICO 0-D

Para el modelado matemático del proceso hidrotérmico del mango en estado inicial de enfriamiento, se contemplaron las siguientes hipótesis para el sistema en general: Sistema a analizar: agua dentro del tanque; tipo de sistema: cerrado; fronteras: mango, serpentines, jaba, canasta y paredes del tanque; dimensión: 0-D (sistema homogéneo); régimen:

transitorio; trabajo: despreciable; disipación viscosa: despreciable.

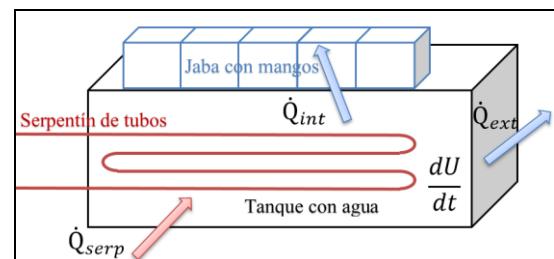


Figura 1. Esquema para el modelado matemático.

III. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

Para describir el comportamiento transitorio del agua del tanque, primero debe conocerse a priori las propiedades termodinámicas del agua y de las propiedades de transporte del mango. Para esto, se utilizó la Dinámica de los Fluidos Computacional, como herramienta para la determinación del comportamiento transitorio tanto de la temperatura media del mango, como del coeficiente convectivo de calor.

La Figura 2 muestra, como secuencia de gráficos, los gradientes de temperatura en los tiempos 1, 5, 15 y 25 min, después que los mangos a temperatura inicial de 21.1 °C, hayan sido expuesto a una corriente uniforme de agua de 80 mm/s y a 47.5 °C.

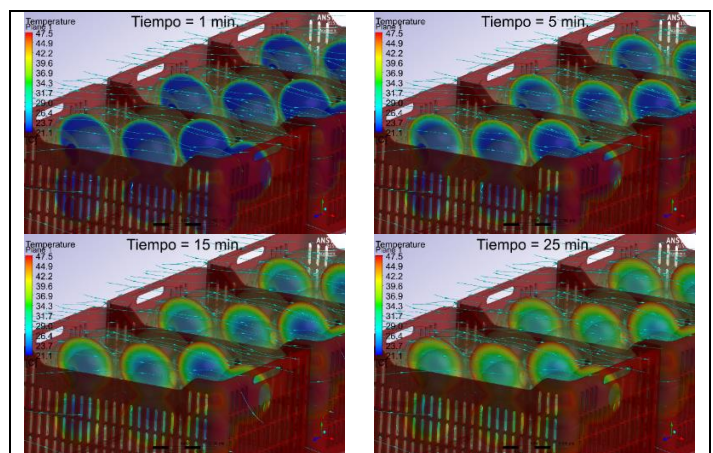


Figura 2. Evolución temporal de la temperatura.

IV. SISTEMA HÍBRIDO

En base al análisis de primera ley de la termodinámica y ayuda de la dinámica de fluidos computacional se propuso un equipo híbrido que satisface los requerimientos de los más grandes exportadores: Japón y Estados Unidos.

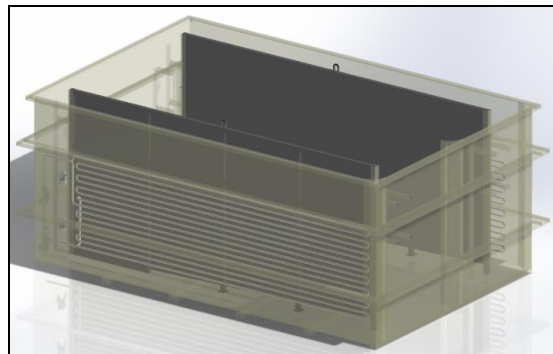


Figura 3. Esquema 3 D del sistema híbrido

Se utilizó como herramienta de simulación, el software ANSYS-CFX™ con 23 millones de elementos de tipos hexaédricos y tetraédricos. Las simulaciones fueron realizadas usando 10 procesos en paralelo sobre la WorkStation Supermicro™, de procesador Intel™ Xeon™ 2670 de 20 núcleos, 2.5 Ghz de frecuencia y 32 Gb de memoria RAM. Los tiempos de simulación que demandaron en la obtención de los resultados fueron de aproximadamente 20 días.

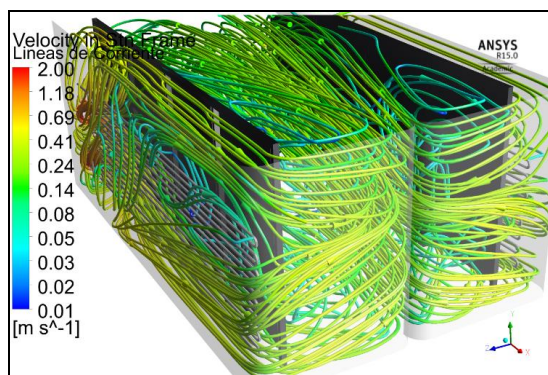


Figura 4. Visualización del flujo en equipo híbrido

Los resultados mostraron que las velocidades del agua líquida en la región principal del equipo “híbrido” son mayores a los observados para el equipo “original”. En lo que se refiere al patrón de flujo, se observa el equipo “híbrido” también adopta un patrón de flujo simétrico. Ambas características presentadas por el equipo “híbrido” resulta en una mayor homogeneidad espacial y temporal de la temperatura del agua del tanque lo que conlleva a una mejor interacción térmica entre el agua del tanque y los mangos. Esto es, mejor cuidado de la fruta y uso apropiado de la energía térmica a base de vapor (menor consumo de combustible).

V. CONCLUSIONES

En este trabajo, un modelo matemático 0-D fue desarrollado de forma a describir estado transitorio de la temperatura del agua en los equipos de tratamiento hidrotérmico de mango. La aplicación de este modelo permitió identificar los principales parámetros geométricos y de operación que intervienen sobre el comportamiento térmico del agua en la fase inicial del tratamiento. Es así que en base a estos parámetros, fue diseñado un equipo de tratamiento “híbrido” capaz de satisfacer simultáneamente con los requerimientos fitosanitarios exigidos por EE.UU. Y Japón en la exportación del mango a dichos países.

En seguida, se empleó la Dinámica de Los Fluidos Computacional (CFD) con el objetivo de estudiar, con un alto nivel de sofisticación y detalle, el comportamiento fluidodinámico y térmico de los equipos de tratamiento hidrotérmico “original” e “híbrido”. Resultados de CFD confirmaron que el equipo “híbrido” posee un mejor desempeño frente al equipo “original”, Pues, el primero es capaz de aprovechar casi en su totalidad la energía térmica que dispone el vapor de agua para transferencia.

De esta forma queda evidenciada la utilidad que presenta la Dinámica de Fluidos Computacional como herramienta numérico-computacional. Pues, con ella, es posible obtener a escala real una amplia gama de resultados cuantitativos y cualitativos en condiciones reales de funcionamiento y a un costo relativamente bajo en comparación al montaje de bancos de pruebas experimentales, por lo que recomienda su empleo en el análisis y diseño de equipos de procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Torres, R. C. L., “Análisis Económico del Cambio Climático en la Agricultura de la Región Piura-Perú: Principales Productos Agroexportables”, Reporte Pesquisa Básica, Universidad Nacional de Piura, 2010.
- [2] Guerrero, D., Farfán R., Garrido, F., Ipanaque J., Yovera L. y Yovera E., “Diseño del Proceso Industrializado del Mango en Almibar”, Reporte, Universidad de Piura, 2012.
- [3] Sharp, J. L. y Picho-Martinez H., “Hot Water Quarantine Treatment to Control Fruit Flies in Mangoes Imported into the United States from Peru”, *Journal of Economic Entomology*,
- [4] Jacobi, K. K., RacRae E. A., y Hetherington S. E., “Postharvest Heat Disinfection Treatments of Mango Fruits”. *Scientia Horticulturae*, Vol. 89, pp. 171-193, 2001.
- [5] USDA, SENASA y APEM., “Work Plan for the Peruvian Mango Treatment and Preclearance Program”, Lima – Peru, 2010. Vol 83(5), pp. 1940-1943, 1990.
- [6] Churchill, S. W. y Chu, H. H. S., “Correlating Equations for Laminar and Turbulent Free Convection from a Vertical Plate” *International Journal of Heat Mass Transfer*, Vol 18. pp. 1323-1329, 1975.
- [7] Barati, E. y Estahani, J. A., “A New Solution Approach for Simultaneous Heat and Mass Transfer During Convective Drying of Mango”, *Journal of Food Engineering*, Vol. 102(4), pp. 302-309, 2011.4