

Análisis de un sistema homogenizador de jugo de naranja

Marco Antonio **Doñu-Ruiz**¹

Noé **López-Perrusquia**¹

Víctor Jorge **Cortés-Suárez**²

Sergio Antonio **Pérez-Moo**¹

Juan Carlos **Vargas-Caballero**¹

¹Universidad Politécnica del Valle de México
Grupo Ciencia e Ingeniería de Materiales
Av. Mexiquense s/n esquina Av. Universidad Politécnica,
Col. Villa Esmeralda, CP 54910, Tultitlán, Estado de México.
MÉXICO.

²Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
Departamento de Materiales
Avenida San Pablo Xalpa 180, Azcapotzalco,
Col. Reynosa Tamaulipas, CP 02200, Ciudad de México.
MÉXICO.

correos electrónicos (emails): dr.marck@outlook.com
noeperrusquia@hotmail.com
vjcs@correo.azc.uam.mx
sergio_moo@yahoo.com.mx
litio256@hotmail.com

Recibido 28-04-2016, aceptado 24-02-2017.

Resumen

El presente trabajo evalúa el desempeño de un homogeneizador que está compuesto por perno, asiento y anillo de impacto. Un homogeneizador se utiliza para tratar el jugo de naranja con presiones en rango de 350 a 400 MPa a una temperatura de 75 °C con vida útil de 20 días con 24 horas diarias de operación. El análisis se empleó inspección visual, microscopio electrónico de barrido (MEB), análisis metalográfico y análisis numérico para evaluar las zonas críticas. Los resultados ponen de manifiesto la disminución de 10 días de operación bajo las condiciones de trabajo, también el desgaste por contacto de los componentes del sistema de homogeneización; el anillo de impacto, asiento de válvula y perno, que se observa por análisis MEB revela tipo desgaste adhesivo con presencia inclusiones en la matriz y carburos mixtos, que al contacto causa desprendimiento de material. Finalmente, los resultados de evaluación numéricos muestran las zonas de falla.

Palabras clave: homogenizador, microestructura, esfuerzo, elemento finito, falla.

Abstract

(Analysis of a System Homogenizer Orange Juice)

This paper evaluates the performance of homogenizer consists of valve piston, valve seat and impact ring. A homogenizer is used to treat orange juice at pressures up 350-400 MPa with initial temperature at 75 °C with lifetime of 20 days with 24 h operation. To analyze visual inspection, scanning electronic microscopy (SEM), metallographic analysis and numerical analysis was used to assess critical areas. The results reveal the decrease 10 days of operation under working conditions, also wear on system components homogenization the valve piston, valve seat and impact ring, is observed by SEM analysis reveals adhesive wear type with presence of inclusions in the matrix and mixed carbides that contact causes the detachment of material. Finally, the numerical results show the failure zones.

Index terms: homogenizer, microstructure, stress, finite element, failure.

1. Introducción

El beneficio de la homogenización es aplicado en el sector industria de la leche, concentrado de refrescos, néctares, productos de tomate y jugos [1], [2]. La tecnología de ultra alta presión de homogenización permite alcanzar presiones en el rango de 300 a 400 MPa [3].

El sistema de homogenización es una bomba de desplazamiento positivo, con un pistón con válvula especial para la ruptura de partículas localizadas a la descarga de la cámara de bombeo, que es accionada por un motor y una transmisión.

El subsistema a analizar se llama bloque de bomba y consta de pistones independientes impulsados por un accionamiento mecánico. Las válvulas sirven para hacer la acción de abrir y cerrar cavidades por donde entra y sale el producto, además de un órgano de homogenización.

El proceso se realiza mediante un equipo *Stork Sterjuice* de tipo tubular para su pasteurización, con una capacidad de 8000 litros/hora. Las condiciones de servicio son tres turnos cada uno de 8 horas de lunes a domingo, excepto días festivos del año. La temperatura en la que se mantiene el producto es a 75°C. En producción y en esterilización alcanza los 135°C.

Los componentes del homogenizador se muestran en el figura 1a; compuesta por una base y un anillo de impacto, los componentes de fabricación son de acero AISI D2, tiene un alto contenido de cromo, y carbono, con valores de 58 a 66 HRc.

El principio de homogenización se muestra en la figura 1b, el producto (jugo de naranja) fluye del componente de asiento y la válvula a una presión de 0.3 MPa y baja velocidad, al pasar el fluido entre la válvula y asiento la presión incrementa hasta alcanzar valores de 11 a 12 MPa, el aumento de velocidad causa una caída de presión que produce turbulencia, el cual provoca esfuerzos de corte rompiendo los glóbulos grasos o fibras dispersándolas uniformemente. El tamaño promedio de $10\ \mu\text{m}$ y después de homogenización, se obtiene un tamaño promedio $1\ \mu\text{m}$.

El presente estudio se enfoca al análisis de falla del sistema de homogenización de jugo de naranja e identificar las cuestiones críticas en el proceso de producción. Así mismo, se

emplea métodos numéricos para indicar las zonas de falla de los componentes principales del homogenizador.

2. Desarrollo

2.1. Procedimiento experimental

El análisis de falla de los componentes del sistema de homogenización se realizó por fases: inspección visual a través de fotos en las zonas de falla. Posteriormente se secciona el sistema de homogenización en las zonas de falla empleando un cortador marca Dewalt 1000 watts sujeto a un tornillo de banco en las zona transversal de la falla y se limpian las zonas mediante ácido clorhídrico, se analizan las zonas de falla por microscopio de electrónico de barrido MEB (JEOL 6380). Por consiguiente, se realiza la preparación metalográfica de acuerdo con ASTM E3 [4], para la observación de la microestructura empleando microscopia óptica con un equipo ZE100. Finalmente, la simulación con un programa de elementos finitos en condiciones experimentales de operación, para analizar los esfuerzos y valores limites en el desempeño del sistema.

3. Resultados y discusiones

En la figura 2 se muestra la inspección macro de los componentes del sistema de homogenizador previos a la operación, después de 10 días operación en la máquina, el sistema de homogenización se procedió a su extracción para una inspec-

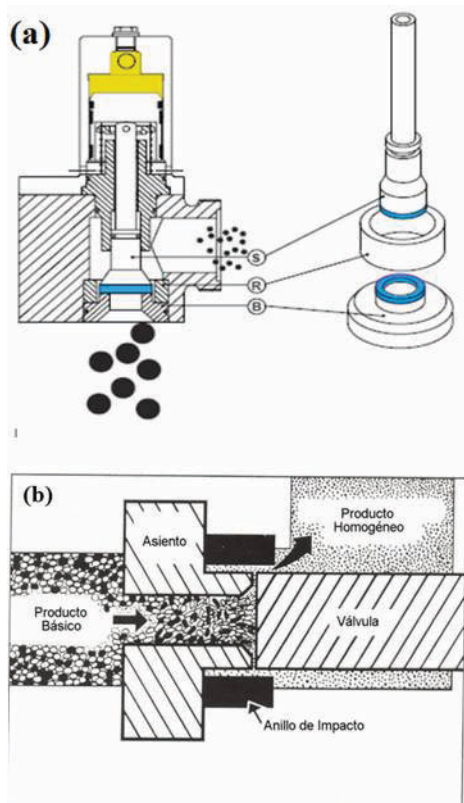


Fig. 1. Sistema de homogenización, a) componentes principales; un perno de homogenización (S), un asiento (B) y un anillo de impacto (R) y b) Se muestra el principio de homogenización de jugo de naranja.

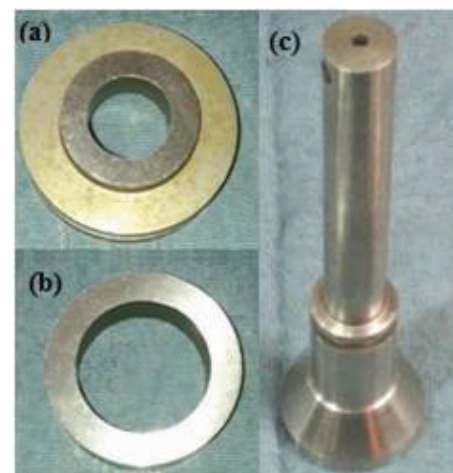


Fig. 2. Sistema de homogenización componente previo a operación, a) un asiento, b) un anillo de impacto y c) perno de homogenización.



Fig. 3. Sistema de homogenización después de operación con falla en la perifería.

ción visual en la figura 3 se observa el asiento y perno, en una de las partes con presencia de fallas del sistema de homogenización.

Debido al proceso y a las altas presiones de servicio se genera un desgaste el perno de homogenización, asiento y el anillo del sistema de homogenización, además de la desincrustación de material en la periferia de cada componente.

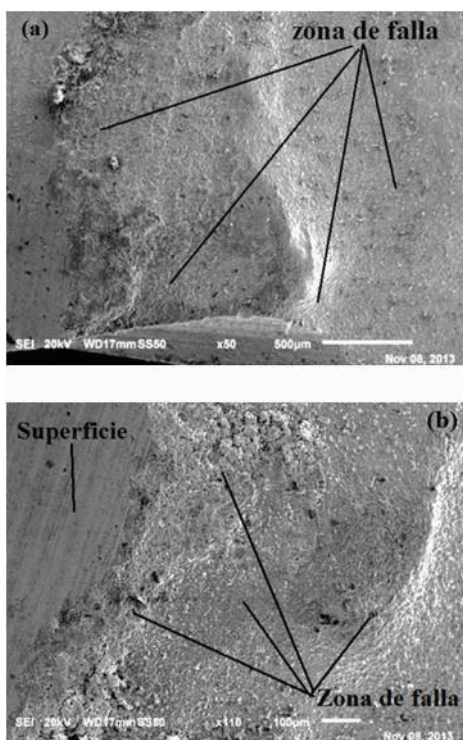


Fig. 4. Imagen por MEB en zona de falla del asiento
a) exterior y b) central.

En la figura 4 se muestra una magnificación por MEB en la zona de falla del asiento observando desgaste.

En la Figura 4 podemos observar el desgaste provocado por los esfuerzos dinámicos al que está sometido este componente [5], [6], se evidencia el desgaste por contacto y desprendimiento del material en la superficie, además de un análisis puntual de EDS en la zona de desgaste se muestra en la figura 5.

En análisis realizado en las zonas de la superficie figura 5a y en la superficie con desgaste figura 5b, muestra los elementos principales del acero AISI D2. Se muestra los elementos químicos en el lugar donde están sometidas las cargas de trabajo y en la zona de desgaste de material.

La caracterización del acero AISI D2 sin falla se observa en la figura 6 la microfotografías obtenidas por MO.

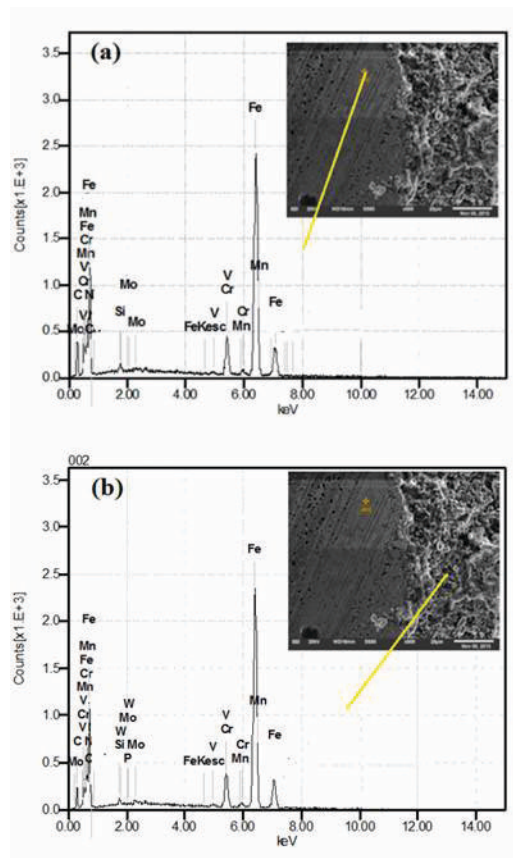


Fig. 5. MEB imagen y EDS puntual en la zona de a) superficie
y b) superficie de desgaste.

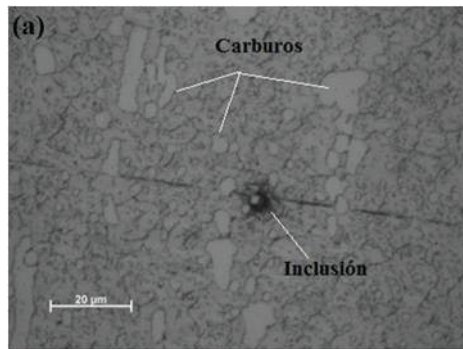


Fig. 6. Micrografía del acero AISI D2.

En la figura 6 revelar la microestructura del material con presencia de ferrita y de carburos, estos de tipo M7C3 o pequeños carburos tipo M2C o M23C6 [7], [8]. Además de evidencia de inclusiones presentes en la matriz.

Posteriormente, en zonas de falla en la sección transversal de la periferia del asiento se realiza el análisis microestructural en la zona de desgaste y se observa en la figura 7.

La figura 7 muestra un desprendimiento de material de los componentes de falla, principalmente los carburos y con ello la matriz ferrita, debido a la interacción por contacto y la presión ejercida, la interacción de los carburos como se observa

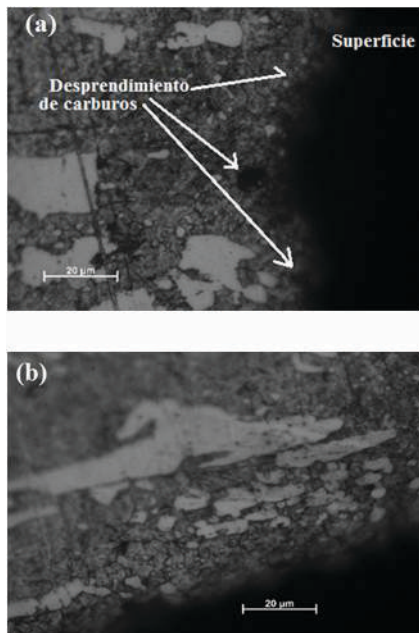


Fig. 7. Microestructura y desprendimiento de carburos en el acero AISI D2.
a) asiento y b) perno.

Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero AISI D2.

Modulo elástico (GPa)	Esfuerzo último (MPa)	Esfuerzo último (MPa)	Dureza HRC
198.24	1385	1489	53.3

en las figuras 6 y 7 generan concentración de esfuerzo y esto permite el desprendimiento de los carburos al contacto de los componentes entre sí.

3.1. Evaluación numérica

El modelo del sistema de homogenización se realizó en un programa de CAD, que posteriormente se importó el archivo en extensión .iges a programa de elementos finitos para la solución del problema [9], para poder realizar la simulación de acción de cargas en el proceso de homogenización. En condiciones experimentales un homogeneizador se utiliza para tratar el jugo de naranja a presiones de 350 a 400 MPa con temperatura iniciales de 45°C. Las propiedades mecánicas del acero AISI D2 se muestran en la Tabla 1.

El modelo de elementos finitos está compuesto por elementos sólidos (C3D4), elementos de contacto que permiten la interacción del anillo de impacto entre el perno y el asiento. Las consideraciones para el análisis numérico son los siguientes:

- Los componentes del sistema se considera el mismo material para todos los elementos sólidos que se observan en la figura 8.
- Los elementos de contacto, el anillo de impacto entre el perno homogeneizador y el asiento

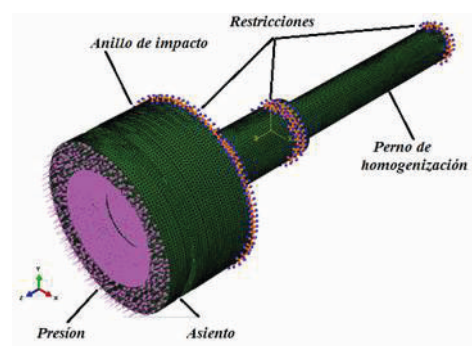


Fig. 8. Modelo de elementos finitos y condiciones de frontera.

- iii. El asiento en condiciones iniciales se aplica una presión en dirección inversa de z de 350 a 400 MPa, de acuerdo a condiciones experimentales para la disolución de partículas del jugo de naranja.
- iv. En la parte superior del perno, en el barreno, se aplican restricciones en todos los grados de libertad, para evitar movimiento de cuerpo rígido y para el asiento y anillo impacto no se restringe en dirección z .
- v. Se observa el comportamiento de esfuerzos de Von Mises, para ubicar las zonas de falla.

En la figura 9 se observa los esfuerzos generados por contacto en el proceso del sistema de homogenización, entre el asiento y el perno.

En la figura 9a la zona del componente del asiento muestra en la periferia valores de esfuerzo de contacto mayores a 4592 MPa y en la figura 9b para el perno en la periferia la zona de contacto con valores máximos de 4628 MPa. Por lo que en estas zonas genera desgastes y falla de material en el proceso de homogenización.

De la misma manera en la figura 10 se observa los esfuerzos de Von Mises obtenidos en el análisis numéricos del asiento y perno del sistema de homogenización.

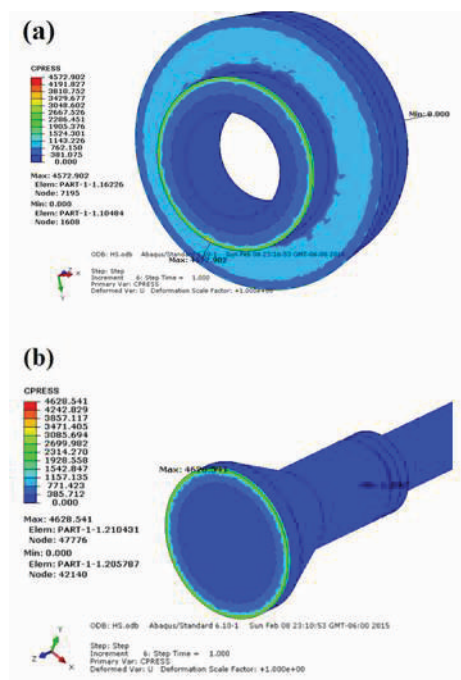


Fig. 9. Zonas de contacto generado en el proceso de homogenización. a) asiento y b) perno.

La distribución de esfuerzo de Von Mises se observan en la figura 10a para el asiento estos tiene un valor de 2798 MPa y para el perno en la figura 10b con valor de 1448 MPa, considerando la periferia de ambos componentes inicio de falla, ambos valores están por debajo de la zona del límite de fluencia del material, por lo que indica zona de falla.

4. Conclusiones

Se observa desgaste en la periferia de los componentes de asiento y perno homogenizador, el desgaste es ocasionado por un contacto entre sí por las altas presiones ejercidas y temperatura durante el proceso de homogenización. El análisis metalográfico se observa la presencia de carburos que propiciaron con la temperatura de proceso, la fricción entre ambos componentes que ocasiona el desprendimiento del material. El material en contacto se observó inclusiones dentro de la base del material, la cual puede provenir del material más blando, consideramos que una mala formación y tratamiento superficial en ambas piezas se generó desprendimientos de carburos que se encontraban en forma paralela. Los esfuerzos por contacto se presenta en la periferia del perno de homogenización y el asiento, estos presentan una deformación plástica hasta la desfragmentación de material en la periferia, al mismo tiempo

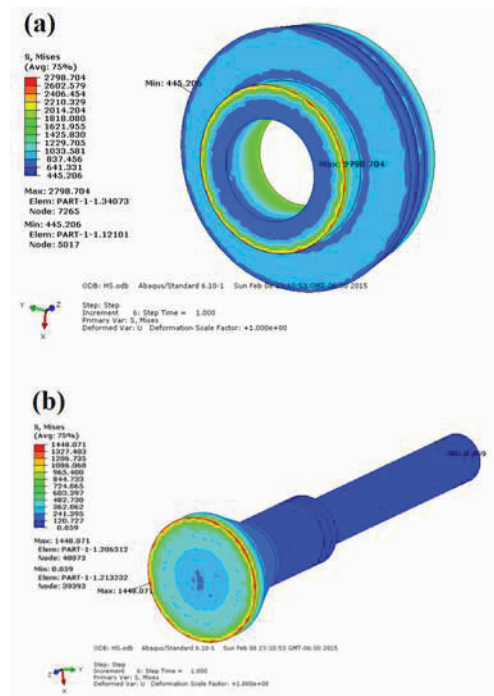


Fig. 10. Esfuerzos V. Mises generados en el proceso de homogenización, a) asiento y b) perno.

indicando la zona de falla, lo cual se deberá considerar en el diseño para el contacto de este sistema.

El presente trabajo presenta una relación de análisis metalúrgica y evaluación numérica, para el análisis de falla de componentes en contacto. Este tipo de análisis se puede emplear para componentes sometidos por fuerzas externas y estos estén relacionados por contacto.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del PRODEP, del proyecto DSA/103.5/16/10908 por UPVMEX-PTC-095 y UPVMEX-PTC-097.

Referencias

- [1] W. J. Briñez, A. X. Roig-Sagues, M. M. Hernández-Herrero, & B. Guamis-López, "Inactivation of two strains of *Escherichia coli* inoculated into whole and skim milk by ultrahigh-pressure homogenization," *Lait*, vol. 86, no (3), pp. 241-249, enero 2006.
- [2] J. Welte-Chanes, C.E. Ochoa-Velasco, J.Á. Guerrero-Beltrán, "High-pressure homogenization of orange juice to inactivate pectinmethylesterase," *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 10, pp. 457-462, mayo 2009.
- [3] E. Dumay, D. Chevalier-Lucia, L. Picart-Palmade, A. Benzaria, & A. Gràcia-Julà, C. Blayo, "Technological aspects and potential applications of (ultra) high-pressure homogenisation," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 31, núm. 1, pp. 13-26, mayo 2013.
- [4] Standard, ASTM, "E3, Standard guide for preparation of metallographic specimens," West Conshohocken, PA: ASTM International, 2001.
- [5] ASM, *Fractography. ASM Metals Handbook*, vol. 12, p. 102. 1987.
- [6] C. R. Walker, & K. K. Starr, *Failure Analysis Handbook*, Pratt and Whitney, 1989.
- [7] ASM, *Metallography and Microstructure. Metals Handbook*, vol. 9., pp. 187-93, 1986.
- [8] H. Ghasemi-Nanasa, & M. Jahazi, "Simultaneous enhancement of strength and ductility in cryogenically treated AISI D2 tool steel," *Materials Science and Engineering*, núm. A 598, pp. 413-419, 2014.
- [9] Documentation, ABAQUS, *ABAQUS Analysis User's Manual*, 2010.

BIBLIOGRAFÍA LATINOAMERICANA

BIBLAT

Portal especializado en revistas científicas y
académicas publicadas en América Latina y el Caribe

<http://biblat.unam.mx/es/>