



Instalación de secado de residuos por medio de intercambiador de calor de superficie rascada

J. M. Magide¹, H. Varela²

- ¹ Área de Máquinas y Motores Térmicos, Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela. C/ Benigno Lego, s/n. 27002 Lugo (España); josemanuel.magide@usc.es
² Investigador colaborador externo del Grupo de Investigación Biomodem de la Universidad de Santiago de Compostela; hiram.varela@udc.es

Resumen: En las industrias cárnicas se produce sangre residual, que constituye un peligroso y costoso residuo, el cual se puede revalorizar con un equipo adecuado, como el que han patentado los autores. Dicho equipo hierva la sangre a vacío, para eliminar su humedad y transformarla en harina. Se presentan los primeros resultados de un prototipo, con especial hincapié en el sistema de vacío. Se determinaron las fugas de aire y las necesidades de aspiración en base a ellas. Los sistemas de ebullición a vacío necesitan algún equipo de decantación que separe vapores de líquidos; y esta separación se suele modelizar, para casos generales, con la ecuación de Souders. Pero la ecuación de Souders parece no considerar correctamente el efecto de succión de Venturi en este caso.

Palabras clave: vacío, fugas, harina de sangre, Souders

1. Introducción

Los mataderos e industrias cárnicas en general, generan sangre como residuo. Y este residuo puede resultar muy peligroso, pues si no se gestiona adecuadamente, su carga microbiana puede desencadenar problemas de sanidad pública que derivarían en el potencial cierre de la industria [1]. La solución habitual que emplean éstas consiste en la contratación de un gestor de residuos, el cual incinera la sangre, sin obtener de ella ningún valor. Además, estos gestores suponen un gasto importante para la economía de la industria afectada [2].

Resulta paradójico el hecho de que la sangre, un producto que puede ser muy contaminante, posee a su vez una gran cantidad de componentes de alto valor económico, como la lisina, metionina, hierro, albúmina, etc [1].

El Grupo de Investigación al que pertenecen los autores de este artículo ha desarrollado una tecnología novedosa que permite la transformación de la sangre en una forma inocua y no contaminante – la llamada “harina de sangre”- y que al mismo tiempo preserva y contiene todos los componentes de alto valor [2]. La tecnología se encuentra patentada a nivel europeo, por medio de las patentes 201630675: “Sistema de desecado de sangre líquida” y 201730019: “Dispositivo y procedimiento para la obtención de un producto desecado a partir de sangre o derivados”.

En la actualidad los autores cuentan con un prototipo terminado y en fase experimental, instalado en un matadero de tamaño mediano en la provincia de Lugo. El principio de funcionamiento del prototipo es el siguiente: la sangre se introduce en un intercambiador de calor de placas, el cual posee en su interior una hélice rotatoria con capacidad de centrifugado. La hélice por una parte limita las incrustaciones y por otra incrementa la velocidad de transferencia de calor. La sangre hierva a vacío dentro del intercambiador, y los vapores que

produce se hacen coalescer en un condensador vertical, aguas abajo del cual se encuentra la bomba de vacío.

Los sistemas de vacío son muy habituales en la industria alimentaria, y se debe ser muy cuidadoso en su diseño, pues con gran facilidad presentan problemas de fugas de aire y conducciones con una inesperada succión por efecto Venturi [3]. Otro de los riesgos que presentan es el colapso por pandeo de las estructuras que lo contienen y diversos daños o flechas mecánicas que puede provocar.

En este artículo se exponen los primeros resultados con el prototipo, en relación a la gestión del vacío. Más específicamente, se estudian los tres riesgos principales que pueden sufrir las instalaciones de vacío [3]: fugas de aire, succión violenta y pandeo mecánico.

2. Materiales y métodos

Los autores cuentan con un prototipo finalizado y en fase de experimentación, en un matadero. Por tratarse de una tecnología a vacío, la primera prueba a realizar es la gestión de los tres riesgos ya mencionados. Todos ellos son inherentes al fenómeno del vacío.

En lo sucesivo, se indicarán presiones con valor negativo cuando éstas son medidas relativas en relación a la presión atmosférica. Es decir, el vacío absoluto se correspondería con -1 bar.

En los subapartados 2.1-2.7 se explicarán los componentes más importantes del prototipo. Son la esencia de la instalación, y de ellos dependen las características del sistema de vacío resultante. Es sabido que los sistemas a vacío, cuando se aplican para hacer hervir alimentos, poseen comportamientos a veces muy inestables e incluso erráticos [3], que nos pueden forzar a seguir un esquema de prueba y error más extenso de lo deseable. Así, por ejemplo, hervir la sangre a un vacío de -0.5 bar es un proceso poco violento, la liberación de gases es muy paulatina. Sin embargo, tan sólo incrementando el vacío hasta -0.7 bar, se provoca una liberación de gases mucho más violenta, que puede causar el arrastre de partículas sólidas como la propia harina, lo cual es indeseable. Este fenómeno se suele llamar “evaporación de flash” [3] y es conocido en la industria alimentaria. Por otra parte, la liberación de gases está también altamente condicionada por el tipo de intercambiadores de calor. A mayor turbulencia, mayor violencia en su liberación. Y es conocido por el experto en la materia que la presencia de hélices rascadoras, como es el caso del presente prototipo, genera una turbulencia muy importante [1]. Es por ello que fue desde el inicio una incógnita el cómo respondería nuestro sistema.

Los autores, conscientes de la dificultad que conlleva el diseño de un sistema a vacío de estas características, divulgan la lista con los principales componentes (apartados 2.1-2.7), para que el lector interesado en estas tecnologías pueda extrapolar y prever los resultados que se obtendrán en sus propios equipos experimentales.

En los apartados 2.8-2.10 se expone la metodología seguida para el estudio de los tres riesgos principales que conlleva toda tecnología de evaporación a vacío: fugas de aire, el fenómeno de la succión violenta y el pandeo mecánico. Este último fenómeno es muy específico del vacío, nunca aparece en los sistemas a presión positiva. Y se trata de un hándicap importante, pues a igualdad de resistencia mecánica, un intercambiador de calor que soporte perfectamente 10 bar de presión positiva, puede llegar a pandear (colapsar hacia el interior), con una presión negativa de tan sólo -0.5 bar. En este estudio se midió la presencia de pandeo por un método cualitativo pero contrastado [2].

2.1. Intercambiador de calor de placas

Posee un diseño novedoso, con un total de tres cámaras cilíndricas encajonadas. En la cámara central se dispone sangre para ser evaporada y transformada en harina, y por las cámaras anterior y posterior circula agua caliente a una temperatura de 75^o C, con un caudal de 400 L/h.

El agua a 75 °C transmite el calor hacia la cámara central, en la que hierve sangre a una temperatura de 45 °C, pues es el punto de ebullición que corresponde a una presión de 100 milibares (-0.9 bar). Tenemos por tanto un diferencial térmico de 30 °C. El agua caliente suele consistir en aguas residuales de un matadero, que en vez de ser desaprovechadas se recuperan en este prototipo.

En la Figura 1 se muestra una fotografía donde se ven las tres cámaras citadas: anterior, central y posterior. Se observa que la central posee una virola con mayor altura. En su interior se alberga sangre en ebullición y una hélice de cuatro aspas.



Figura 1. Las tres cámaras que constituyen el intercambiador de calor de placas.

2.2. Decantador

La salida de vapores del intercambiador de placas pasa por un decantador gravimétrico, que es un equipo consistente inicialmente en un pequeño depósito de diámetro DN100 (114.3 mm de diámetro exterior, 4.5 mm espesor) con un par de placas deflectoras. Su misión es separar los gases de los vapores, lo cual logra tanto con su diámetro, que debe ser suficiente para ralentizar la velocidad de los gases hasta un valor en que no venza a la gravedad actuando sobre las gotas de agua y sólidos, como con los deflectores, que provocan coalescencia y agregación de partículas líquidas [4].

En la Figura 2 se muestra una fotografía del decantador, colocado verticalmente por encima de la cámara central, para que por el pasen los vapores generados con la ebullición de la sangre.



Figura 2. El decantador, por encima del intercambiador de placas.

2.3. Sistema motor reductor-eje-hélice

Para producir harina, la sangre ha de someterse a un secado por ebullición a vacío. Esto presenta los inconvenientes de que ésta tenderá a incrustarse en las superficies de las placas y a ralentizar la transmisión de calor. Para ello el prototipo consta de una hélice de cuatro aspas, interior a la cámara central, accionada por un eje desde un motor exterior, que cuenta con un variador de vueltas mecánico, que permite variar las revoluciones de 42 hasta 240 rpm. Como la cámara central se encuentra a vacío, y al mismo tiempo se encuentra atravesada por este eje, la estanqueidad de la misma se vería comprometida de no ser un sello mecánico que se dispone para su preservación.

En la Figura 3 se muestra el conjunto motor-reductor, eje y sello mecánico.



Figura 3. El motor-reductor, eje y sello.

2.4. Bomba de vacío

Para sostener el vacío en la cámara central, se necesita una bomba. En nuestro caso es de la tipología de anillo líquido, 4 kw, del fabricante Robuschi.

En la Figura 4 se muestra la bomba de vacío y su conexión de aspiración (a la izquierda) y de expulsión (a la derecha).



Figura 4. Bomba de vacío de anillo líquido.

2.5. Condensador

Entre el intercambiador de placas y el decantador se interpone un condensador, cuya finalidad es condensar los gases a líquidos. Esto lo que consigue es quitarle carga de trabajo a la bomba de vacío [5, 6]. Técnicamente sería factible el mismo prototipo sin el condensador, pero haría falta una bomba de vacío mucho más grande. Por otra parte, el condensador enfría

aquellos gases que no sean condensables y que llegan hasta la propia bomba; esto repercute en el mejor funcionamiento de la misma, pues las bombas de anillo líquido aumentan su caudal de aspiración si los gases que aspira vienen más fríos [5]. En nuestro caso, la bomba trabaja a 120 m³/h.

El condensador es de la tipología de carcasa y tubos; cuenta con un único paso (es decir, se recorren todos los tubos en una única pasada) y un total de nueve tubos DN20 de 2 metros de largo. Por el interior de los tubos circulan los vapores que salen del intercambiador de placas, y por su exterior agua de red, a una temperatura inferior a 15°C. La carcasa posee en su interior un total de 19 placas deflectoras, que se disponen con el objetivo de hacer zigzaguear al agua y así aumentar la velocidad de transferencia de calor.

En la Figura 5 se aprecia el condensador.



Figura 5. Condensador.

En la Figura 6 se aprecia el interior del condensador, con las placas deflectoras que hacen zigzaguear al agua de red, incrementando así notablemente la velocidad de transmisión de calor.



Figura 6. Interior del condensador.

2.6. Instrumentación

Los instrumentos de medida son dos vacuómetros y dos termómetros. Los termómetros y vacuómetros son de la marca MEI, con arreglo a la Norma UNE-EN 837-1/AC:1998 [7].

En la Figura 7 se aprecian el termómetro y vacuómetro sobre el decantador.



Figura 7. Termómetro y vacuómetro.

Las temperaturas del agua fría que alimenta al condensador, así como del agua caliente que alimenta a las placas anterior y posterior, se midieron con un termómetro de mercurio de laboratorio, marca Terinber.

2.7. Equipación de sellado

En toda instalación de vacío, son clave los elementos de sellado, pues de ellos dependen las fugas. En nuestro caso los elementos que más contribuyen a la estanqueidad son la presencia de juntas de caucho de tipo FF (Full Face) entre pares de bridas metálicas y un sello mecánico de grafito para el eje del motor, de la marca Lidering. Además, para las uniones de las diversas tuberías se emplearon diversas bridas, roscas y abrazaderas. Las roscas se sellaron con hilo de teflón.

2.8. Método de cálculo de fuga de aire

Para el cálculo de la fuga de aire, se procede a realizar un vacío de -0.9 bar en la instalación, se detiene la bomba de vacío y acto seguido se cronometra el tiempo que tarda en descender hasta -0.7 bar. En este rango de presiones el descenso de vacío se puede aproximar bien por una recta. Se realiza el experimento con aire ambiente a una temperatura de 20 °C. Acudiendo a las tablas de propiedades físicas del aire seco, se obtiene que a esa temperatura su densidad es de 1.22 kg/m³ [8]. Y dado que la fuga de aire es lenta se puede considerar que se comporta en el sistema como un gas ideal, por lo que aplica la ecuación $PV = nRT$. De ella se deduce que el número de moles (n) de aire dentro de la instalación (y por tanto su densidad) variará linealmente con la presión (P), puesto que el volumen (V), la temperatura (T) y la constante de los gases (R) se mantienen constantes.

El volumen de la instalación se ha medido, a partir de la planimetría, en 0.04 m³. Calculando la diferencia de densidades del aire entre -0.9 y -0.7 bar y sabiendo el tiempo que ha tardado en producirse ese incremento de presión, se aproxima la tasa lineal de entrada de masa de aire en función del tiempo. Si consideramos la densidad del aire a 20 °C y -0.9 bar, que será (1.22 · 0.1) kg/m³, podemos determinar el volumen de aire que entra en una hora, a un nivel de vacío de -0.9 bar sostenido constante por la acción de la bomba de vacío [8].

2.9. *Succión violenta: cálculo del diámetro de decantación*

Las instalaciones de vacío en las cuales se produce la ebullición de líquidos, han de diseñarse con especial cuidado para que no se produzca un efecto Venturi de succión violenta que pueda arrastrar materiales indeseados hasta la bomba de vacío. En nuestro caso, queremos hervir sangre a un vacío de -0.9bar, lo que nos arroja una temperatura de ebullición de en torno a 45 °C [8]. Pero nos interesa que solamente sea el vapor de agua lo que sea succionado por la bomba, no el residuo seco (la harina), que posee un elevado valor económico y si se escapa con el vapor hacia la bomba se impide el objetivo de su secado. Si por alguna razón de diseño erróneo la sangre en ebullición entra en contacto con un tubo de aspiración de diámetro estrecho, será succionado de forma muy violenta hacia la bomba de vacío, estropeando todo el proceso [6]. Para entender el fenómeno, basta contemplar que si la bomba de vacío aspira 120 m³/h, como es nuestro caso, a través de un conducto DN25 (27.2 mm de diámetro interior), provocará una velocidad de gases superior a 57 m/s. Una corriente tan rápida, incluso a vacío, tiene una capacidad de succión y arrastre que posiblemente empuje hacia la bomba mucho más que el mero vapor de agua; posiblemente también sólidos como la harina.

Para solucionar estos hándicaps hemos instalado el decantador gravimétrico. Es un depósito con un diámetro lo bastante grande para reducir la velocidad de gases hasta un valor que no pueda arrastrar sólidos en contra de la gravedad. El valor del diámetro se suele calcular mediante la expresión (1) de Souders y Brown [6]:

$$V = k \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} \quad (1)$$

Donde 'V' es la velocidad en m/s, 'k' una constante a determinar en función de las características de la instalación, ' ρ_L ' la densidad del líquido y ' ρ_V ' la densidad del gas. En el caso de un decantador sin malla de desnebulización, como es nuestro caso, el valor de 'k' considerado suele ser de 0.107/2 [6].

Además, el decantador ha de tener diámetro suficiente para ser capaz de frenar el flujo de gases de "vapor de flash". Este fenómeno consiste en una generación brusca de una cantidad importante de vaporización debido a una bajada brusca de presión. Debido a las imperfecciones de las instalaciones de vacío, con frecuencia se producirán bajadas repentinas de presión, más o menos bruscas, y tanto más acusadas cuando menor sea la presión. Por ejemplo, a -0.7 bar se acusan más que a -0.5 bar. Esto se debe a que la temperatura de ebullición se ve más afectada por oscilaciones a baja presión que a alta presión. En otras palabras, la temperatura de ebullición no varía linealmente con la presión [6].

2.10. *Resistencia mecánica*

Fruto de verse sometidos a vacío, los equipos pueden llegar a colapsar, combarse. Es lo que se llama el pandeo. Aquellos equipos que poseen geometrías circulares, cilíndricas o elipsoidales, será más difícil que se comben, sin embargo, las superficies planas sufrirán en mucha mayor medida. En el caso del prototipo que aquí se divulga, el intercambiador de calor de placas, provisto de placas planas de 508 mm de diámetro, es el punto crítico. Las placas son de acero inoxidable AISI316L y poseen un espesor de 6 mm.

Un método que proponemos para detectar posibles flechas o combamientos en exceso, especialmente de las superficies planas de las placas de intercambio, es la medición de la fuga de vacío. Es un método cualitativo pero a la vez efectivo. En nuestro caso, se ha podido validar midiendo de manera precisa la distancia que se llegaban a hundir las placas en su punto central.

Si dos superficies en contacto, con interposición de junta, se comparan una respecto a la otra, por acción de esfuerzos mecánicos, la superficie cubierta por las juntas será menor y tenderá a volverse más irregular, lo cual debería incidir en un peor sellado. En otras palabras, el grado de pandeo del equipo se ha de notar directamente en una bajada de vacío en el vacuómetro.

3. Resultados y discusión

Se analizan a continuación los primeros resultados obtenidos con el prototipo, en relación a los tres riesgos principales.

3.1. Medición de la fuga de aire

La bomba tarda aproximadamente 8 segundos en llevar la instalación hasta el vacío deseado de -0.9 bar. Una vez en este valor, la desconectamos y cronometramos el tiempo hasta que descienda a -0.7 bar, arrojando una media de 41 segundos. A continuación determinamos la fuga de aire:

$$M_{\text{inicial}} = V \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot 0.1 = 0.04 \text{ [m}^3\text{]} \cdot 1.22 \text{ [kg/m}^3\text{]} \cdot 0.1 = 0.00488 \text{ kg de aire, a -0.9 bar}$$

$$M_{\text{final}} = V \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot 0.3 = 0.04 \text{ [m}^3\text{]} \cdot 1.22 \text{ [kg/m}^3\text{]} \cdot 0.3 = 0.01464 \text{ kg de aire, a -0.7 bar}$$

$$M_{\text{final}} - M_{\text{inicial}} = 0.01464 - 0.00488 = 0.00976 \text{ kg de aire}$$

$$0.00976 \text{ [kg]} \cdot 3600 \text{ [s/h]} / 41 \text{ [s]} = 0.857 \text{ kg/h}$$

En un tiempo de una hora entran a la instalación 0.857 kg de aire atmosférico por fugas. Para ver cómo afecta a la bomba de vacío, se han de convertir en m³/h, a la presión del proceso, -0.9 bar:

$$0.857 \text{ [kg/h]} / (0.1 \cdot 1.22 \text{ [kg/m}^3\text{]}) = 7.02 \text{ m}^3\text{/h}$$

Un valor de fuga que se encuentra muy por debajo de la capacidad de la bomba, que es de 120 m³/h, por lo que resulta ser adecuada.

El prototipo ha sido diseñado para evaporar en torno a 10 litros de agua por hora, dato que se ha confirmado de forma experimental. Esta agua se evapora, y constituiría la mayor carga de trabajo para la bomba de vacío, en el supuesto de que no hubiese condensador. A -0.9 bar el vapor de agua saturado posee una densidad de 0.067 kg/m³ [8]. Si queremos evaporar 10 litros, tenemos un caudal de vapor de agua de 10/0.067 = 149.5 m³/h, lo cual estaría por encima de las capacidades de la bomba. La presencia del condensador convierte al estado líquido a más del 90% de este vapor, de modo que resta trabajo a la bomba de vacío, tal y como se ha podido comprobar experimentalmente.

Teniendo en cuenta las fugas de aire y un 10% del vapor que no consigue condensar, se obtiene un caudal de aspiración de 7.02 + 0.1 · 149.5 = 21.97 m³/h, que sigue estando muy por debajo de las capacidades de la bomba. La razón de haber adquirido una bomba sobredimensionada es mantenerla para el escalado hacia una planta piloto.

Un detalle de especial relevancia es que se detectó que en sistemas de evaporación a vacío las bombas recomendables son las del tipo de anillo líquido. Una bomba de tipología diferente usaría mecanismos lubricados con aceite, y cantidades muy pequeñas de vapor de agua emulsionarían con el mismo y darían lugar a la inutilización de la bomba. Si la instalación se diseña muy cuidadosamente, se podría llegar a separar casi todo el agua antes de llegar a la bomba [5], y sería factible, pero del prototipo se concluye que no resultaría rentable, pues haría falta un condensador muy sobredimensionado.

El condensador del prototipo que aquí se divulga posee una capacidad de condensación más de tres veces superior al vapor generado, y sin embargo resulta en la práctica muy difícil condensar más del 90% del vapor de agua [4], por razones termodinámicas que se pueden consultar en la bibliografía. Por todo eso no se recomiendan otras bombas que no sean de anillo líquido para este tipo de aplicación.

Por último, es destacable que no se encontró ningún incremento de la fuga dependiente de la velocidad de rotación del eje. Ésta se varió desde 0 hasta 240 rpm, y en ningún momento se detectó incremento de fuga. En cualquier caso, este resultado era esperable, e incluso se prevé que la fuga disminuya con la velocidad de rotación, puesto que, si el sello se encuentra correctamente instalado, con las superficies de grafito y cerámica haciendo contacto correctamente, el grafito tiende a desprender con la rotación una película de desgaste que lubrica y cubre imperfecciones, ayudando a sellar todavía mejor.

3.2. Valoración de la succión violenta

El proceso de secado de sangre para producir harina se completó correctamente, pero experimentamos ciertas dificultades en una fase inicial. El problema consistió en que el diámetro del decantador, DN100, no fue suficiente para impedir el arrastre de líquidos con los gases que aspiraba la bomba de vacío. En cuestión de segundos la mayor parte de la sangre había llegado a la bomba de vacío, lo cual es indeseable pues se pretende que sólo lleguen gases incondensables, y los sólidos queden en el intercambiador de placas. Sin embargo, de acuerdo a la ecuación de Souders [4], el diámetro sí que estaba bien calculado, pues resulta:

$$V = k \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} = 0.0535 \sqrt{\frac{1000 \left[\frac{Kg}{m^3}\right] - 0.067 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]}{0.067 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]}} = 6.53 \frac{m}{s} \quad (2)$$

Es incluso superior a la velocidad permitida por el decantador:

$$V = \frac{120 \left[\frac{m^3}{h}\right]}{3600 \left[\frac{s}{h}\right]} : \pi \left(\frac{0.1053[m]}{2}\right)^2 = 3.82 \frac{m}{s} \quad (3)$$

Donde se tomó el diámetro interior del decantador, de 0.1053 m.

El problema se solucionó con un decantador DN300 (diámetro exterior 323.9 mm), lo cual sugiere que para el caso de ebullición a vacío el parámetro 'k' que se acepta de forma generalizada para la ecuación de Souders, no modela correctamente el poder de ascenso de los gases. Se sugiere considerar un diámetro al menos el doble de lo obtenido con dicha ecuación.

La principal explicación de la ineficacia de la ecuación de Souders en este caso radica en las evaporaciones de flash que se producen a un nivel de vacío de -0.9 bar, según lo ya comentado.

3.3. Valoración de la resistencia mecánica

Los equipos resistieron las condiciones de presión a las cuales fueron sometidas. No se detectaron incrementos de fuga una vez sometido el prototipo a presión, de lo cual se deriva que los espesores de los materiales resultaron correctos (6 mm para las placas).

El nivel de presión soportado fue de 0.9 bar en el interior de los tubos del condensador, por acción del vacío, y de 5.9 bar en la cámara central (la que contiene sangre a evaporar). Esta presión se compone de la ejercida por el agua caliente que circula por las cámaras anterior y posterior (5 bar) y la del vacío existente en la propia cámara central.

4. Conclusiones

Principales conclusiones del trabajo presentado.

Se han presentado los primeros resultados de un prototipo que transforma sangre en harina, en relación a los tres riesgos principales de un sistema de vacío. Se observó que el tipo de bomba de vacío idóneo en este equipo es la de anillo líquido, pues resulta muy difícil evitar

que llegue vapor de agua a la misma. Para una producción de 10 litros de agua a evaporar cada hora, una bomba de vacío de 25 m³/h resultaría en principio suficiente, siempre y cuando se disponga de un condensador correctamente diseñado. Y especial cuidado se ha de tener a la hora de diseñar el decantador gravimétrico, pues la ecuación de Souders resulta infravalorar la capacidad de succión en este tipo de instalaciones.

Referencias

1. Magide J.M., Varela H. Tecnología y procedimiento de transformación de sangre en harina. Eurocarne. 2017, 262, 53-63.
2. Magide J.M., Varela H. Procedimiento de aceleración del secado de un fertilizante orgánico a partir de sangre y huesos de industrias cárnicas. I Symposium Ibérico de Ingeniería hortícola, Lugo, España, 2018.
3. del Arco Vicente L. Termotecnia. Calor industrial. 1985, 85-120.
4. McCabe W., Smith J., Harriot P. Operaciones unitarias en Ingeniería Química. 2007, 482-517.
5. Moran M., Shapiro H. Fundamentos de termodinámica técnica. 2012, 315-395.
6. Perry R., Green D. Chemical Engineer's Handbook. 1999, 1027-1126.
7. Norma UNE-EN 837-1/AC:1998. Manómetros. Parte 1: Manómetros de tubo Bourdon. Dimensiones, metrología, requisitos y ensayos.
8. Magide J.M., Méndez M., González X.P. Termotecnia. 2010, 3.1-3.16.