

UTILIZACIÓN DE UN SIMULADOR EN LA ENSEÑANZA UNIVERSITARIA PARA EL DISEÑO DE UNA PLANTA DE PASTEURIZACIÓN

Juan Montesano, Universidad Nacional de Lanús (UNLa) y Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), juanmontesano45@gmail.com

Mariana Ugarte, Universidad Nacional de Lanús (UNLa), marugarte71@gmail.com.

Diego García, Universidad Nacional de Lanús (UNLa), correodrg@hotmail.com.

Laura Antoniuk, Universidad Nacional de Lanús (UNLa), lauraantoniuk@yahoo.com.ar

Resumen— La simulación de procesos es una de las herramientas más importantes y más interdisciplinarias de que se dispone para representar un proceso matemáticamente complejo; contribuye a mejorar la enseñanza en las distintas disciplinas, explorar y modificar los parámetros fisicoquímicos, adquirir destrezas como si estuviera físicamente en la planta, perfeccionando el conocimiento y desarrollando posibles temas de investigación.

El presente trabajo tiene como objetivo presentar un ejemplo válido de la utilización del software de simulación UniSim Design R 443 para el proceso de pasteurización de la leche, con planos en detalle de los equipos y hasta un posible análisis estimativo de costos y además, mostrar la ventaja de ser utilizado en las carreras universitarias relacionadas con industrias alimentarias.

Para el proceso se utiliza un intercambiador de calor de placas, dividido esencialmente en cuatro etapas: precalentamiento, calentamiento, mantenimiento y enfriamiento. El calentamiento se realiza con vapor vivo, suministrado por una caldera y el enfriamiento aportado por propilenglicol enfriado en ciclo frigorífico con amoníaco.

Palabras clave— *pasteurización, simulación, diseño.*

1. Introducción

El proceso de pasteurización en la industria láctea es uno de los más importantes y constituye una etapa fundamental en el pre tratamiento de una determinada línea de proceso, como es la fabricación de quesos y otros productos lácteos fermentados.

La leche debe tratarse térmicamente, de tal manera que sean destruidos todos los microorganismos patógenos. En el siguiente caso se tiene en cuenta la combinación mínima tiempo/temperatura de 15 segundos a 75°C. La temperatura de calentamiento se debe registrar de forma automática y almacenar el registro en cada tratamiento durante el período de tiempo establecido [1].

Para el proceso se utiliza un intercambiador de placas. En la mayoría de las aplicaciones en la industria de alimentos (en especial la industria láctea y de bebidas), han desplazado a los tradicionales de tipo multitubular y de tubos concéntricos. Ello es debido a que los coeficientes de transferencia de calor son más elevados, lo cual hace que los equipos sean más compactos y con menor tiempo de residencia de los fluidos. Además, los intercambiadores de placas son fácilmente desmontables, con lo cual se puede proceder a su limpieza con mayor rapidez que en los otros tipos de intercambiadores. El diseño modular de estos equipos, permite fáciles incrementos o reducciones de capacidad. Su diseño es higiénico y puede calentar o enfriar un producto con hasta 1 °C de diferencia de temperatura con el segundo fluido, con menor inversión que para cualquier otro intercambiador de calor indirecto. Mediante la regeneración permiten un muy alto ahorro energético.

La presión de trabajo debe ser más alta en el lado de la leche pasteurizada que en el de la leche cruda y del fluido que aporta calor. Si se produce una fuga en el intercambiador, la leche pasteurizada fluiría hacia la leche no pasteurizada o hacia los fluidos calefactores, y no en la dirección contraria. Existe legislación internacional que es de estricto cumplimiento con el fin de garantizar lo indicado precedentemente. Además, en el caso que la temperatura caiga en el producto pasteurizado, debido a un eventual corte en el fluido de calentamiento, la instalación de pasteurización debe estar dotada de una válvula de desvío del flujo, para permitir que la leche tratada insuficientemente, se desvíe hacia el tanque pulmón del pasteurizador.

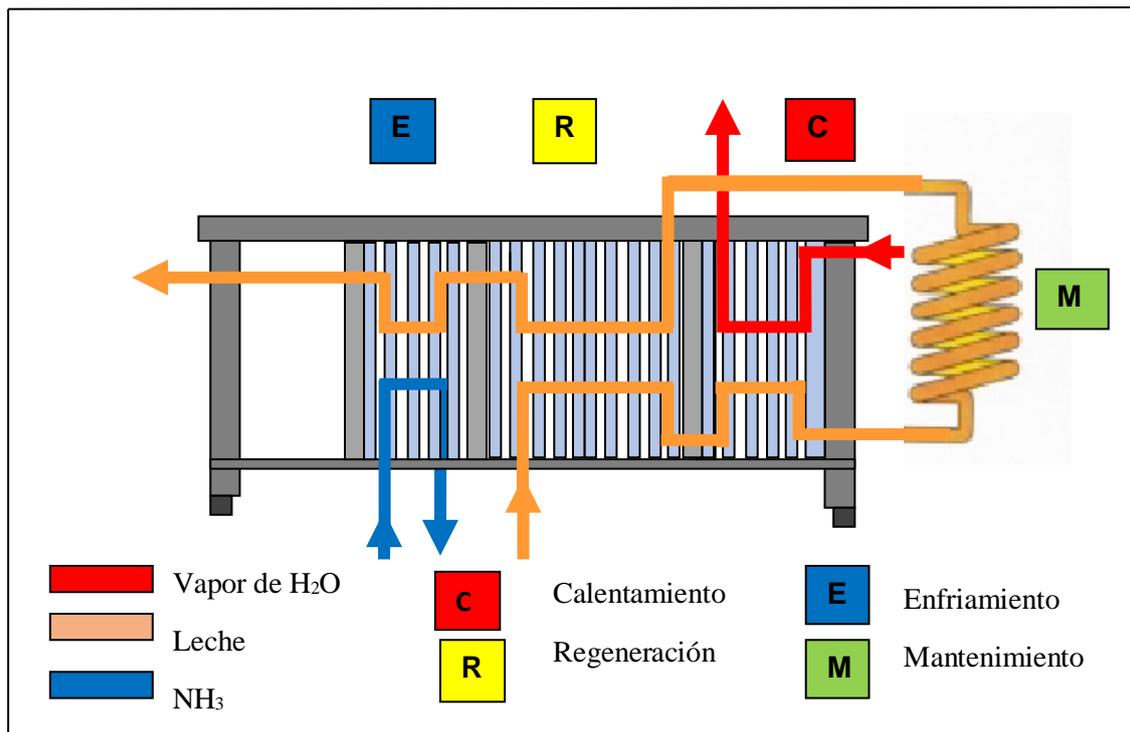


Figura 1. Esquema de un proceso de pasteurización en un intercambiador de placas.
Elaboración propia

La Figura.1, esquematiza las etapas básicas de un proceso de pasteurización de leche por intermedio de un intercambiador de placas [2]. En él se distinguen la etapa de regeneración donde se aprovecha la leche caliente proveniente de la etapa de calentamiento para precalentar la leche que ingresa y simultáneamente comenzar con

un enfriamiento suave, la etapa de calentamiento por vapor, la etapa de mantenimiento y, luego del enfriamiento suave, la etapa de enfriamiento fuerte.

2. Materiales y Métodos

En este trabajo, se simula la pasteurización de leche en el simulador de procesos industriales UniSim Design R 443 y para el cálculo de los parámetros físicos se utilizan las fórmulas empíricas de Antoine y ASME Steam de su paquete de fluidos (Fluid Pkts) [6]. La leche cruda ingresa a 4 °C, pasa a través de un calentador regenerativo aprovechando el calor de la leche, ya pasteurizada, para luego atravesar un segundo calentador que la lleva hasta los 75 °C. La leche a 75 °C ingresa a la zona de mantenimiento donde la temperatura permanece constante. Luego su temperatura se baja, en el calentador regenerativo y finalmente es enfriada a través de un ciclo frigorífico que opera con amoníaco, alcanzando una temperatura de aproximadamente 4 °C. Se realiza la exportación de los parámetros calculados, en los equipos del UniSim R 443 a los anexos R440, para diseñar en detalle, la torre de enfriamiento, uno de los intercambiadores de placas y un intercambiador de casco y tubos, con sus respectivos estudios económicos.

3. Resultados y Discusión

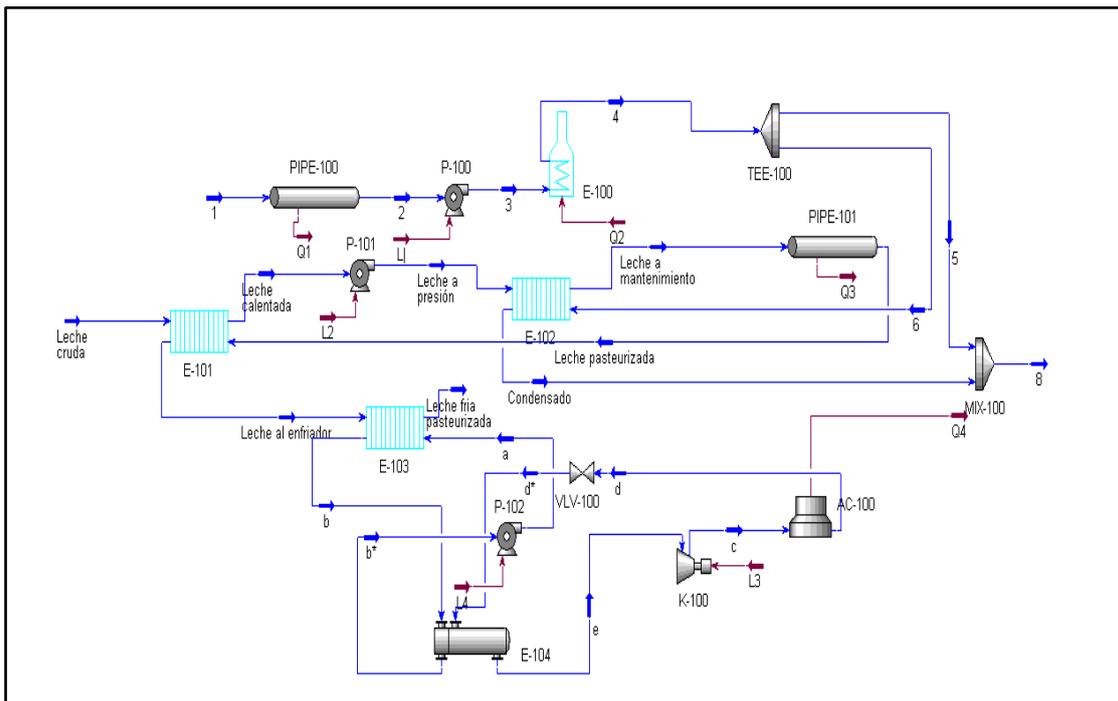


Figura 2. Pantalla del UniSim con el Flow sheet que surge de la simulación

La Tabla 1 explica en detalle del Flow Sheet que aparece en la Figura 2 del proceso simulado. Las propiedades de la leche se toman como agua. Las tuberías, bombas, válvula e intercambiadores se consideran equipos adiabáticos

Tabla 1. Descripción *Flow Sheet* de la planta simulada

Código	Equipo	Fluido	Funciones	Entrada	Salida
PIPE-100	Tubería	Agua	Conduce agua a caldera	1	2
P-100	Bomba, Potencia L	Agua	Eleva agua para caldera	2	3
E-100	Caldera, Potencia Q 2	Agua	Produce vapor de agua saturado(VS)	3	4
TEE-100	Derivador	VS	Origina dos corrientes	5	6
E-101	Intercambiador a placas	Leche- leche	Precalienta leche	Leche cruda- Leche pasteurizada	Leche calentada- Leche a enfriador
P-101	Bomba, Potencia L2	Leche	Presión leche	Leche calentada	Leche a presión
E-102	Intercambiador a placas	Leche - Agua	Pasteuriza la leche con VS, línea 6	Leche a presión-6	Leche a mantenimiento- Condensado
PIPE-101	Tubería, Q3=0	Leche	Mantenimiento	Leche a mantenimiento	Leche pasteurizada
MIX-100	Mezclador	Agua	Mezcla	Condensado-5	8 (Planta N°2)
E-103	Intercambiador de placas	Leche- Propilenglicol	Enfriamiento leche	Leche al enfriador-a	Leche fría pasteurizada-b
P-102	Bomba, Potencia L4	Propilenglicol	Eleva presión circuito de propilenglicol	b*	a
E-104	Intercambiador .Casco y tubos	Propilenglicol- NH ₃	Enfria propilenglicol con NH ₃	b- d*	b*-e
K-100	Compresor- Potencia L3	NH ₃	Comprime NH ₃ – Ciclo frigorífico de compresión	e	c
AC-100	Torre de enfriamiento,. Calor disipado Q4	NH ₃ – Aire ambiente	Condensa NH ₃	c	d
VLV-100	Válvula de expansión	NH ₃	Baja presión NH ₃	d	d*

Elaboración propia

Se corre el simulador, en estado estacionario, convergiendo y arrojando los resultados correspondientes a este estado.

La Figura. 3. muestra la planilla, a modo de resumen, donde se indican los datos (color azul) y los calculados por el simulador (color negro), para las variables de las corrientes de proceso.

Simulación de una planta de pasteurización con el diseño y control de los equipos

Name	1	2	3	4	5	6	Leche cruda	Leche calentad	Leche pasteuriz	Leche al enfriar	Leche a presór	Leche a manter	Condensado
Vapour Fraction	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Temperature [C]	20,00	20,00	20,00	100,0	100,0	100,0	4,000	65,00	75,00	14,14	65,01	75,00	97,11
Pressure [kPa]	100,0	99,94	121,3	101,3	101,3	101,3	130,0	120,0	180,0	170,0	196,9	186,9	91,33
Molar Flow [kgmole/h]	55,51	55,51	55,51	55,51	24,71	30,79	1665	1665	1665	1665	1665	1665	30,79
Mass Flow [kg/h]	1000	1000	1000	1000	445,2	554,8	3,000e+004	3,000e+004	3,000e+004	3,000e+004	3,000e+004	3,000e+004	554,8
Liquid Volume Flow [m3/h]	1,002	1,002	1,002	1,002	0,4461	0,5559	30,06	30,06	30,06	30,06	30,06	30,06	0,5559
Heat Flow [kJ/h]	-1,584e+007	-1,584e+007	-1,584e+007	-1,324e+007	-5,896e+006	-7,346e+006	-4,771e+008	-4,694e+008	-4,681e+008	-4,759e+008	-4,694e+008	-4,681e+008	-8,605e+006
Name	8	Leche fía past	a	b	c	d	** New **						
Vapour Fraction	0,4461	0,0000	0,1958	1,0000	1,0000	0,0000							
Temperature [C]	97,11	4,000	-22,87	-23,00	162,2	30,00							
Pressure [kPa]	91,33	169,0	167,9	166,9	1177	1167							
Molar Flow [kgmole/h]	55,51	1665	67,15	67,15	67,15	67,15							
Mass Flow [kg/h]	1000	3,000e+004	1143	1143	1143	1143							
Liquid Volume Flow [m3/h]	1,002	30,06	1,856	1,856	1,856	1,856							
Heat Flow [kJ/h]	-1,450e+007	-4,771e+008	-4,456e+006	-3,196e+006	-2,749e+006	-4,456e+006							

Figura 3. Pantalla del simulador que muestra la hoja de trabajo (Worksheet) con todos los datos del proceso.

Para la corrida se utilizan datos reales de una planta que procesa 30000 k/h (leche cruda) a una temperatura de 4°C y a una presión de 130 kPa. A la salida de la primera etapa posee una temperatura de 65°C (leche calentada). La leche a presión ingresa en la etapa de pasteurización donde se eleva la temperatura hasta 75°C (leche a mantenimiento) con una parte del vapor saturado a 100 kPa proveniente de la caldera. Se ha considerado una pérdida de carga en cada etapa, tanto para los fluidos fríos como los calientes de 10 kPa.

Para el mantenimiento, se simula una tubería horizontal con un diámetro interno de 76 mm, cédula 40 y de 18,4 m de longitud de acero inoxidable. La leche permanece dentro del tubo a 75 °C durante 10 segundos. Con estos valores, su velocidad no supera los 1,8 m/s, evitando así la ruptura de los glóbulos de grasa. Se estima un diámetro externo de 80 mm [3].

Una vez que se finalizada la simulación del proceso, se procede al diseño en detalle de un intercambiador de placas, importando los datos a simulador anexo *UniSim PHE R 440*. Para el diseño de la torre de enfriamiento flujo cruzado *CFE R 440*,

En forma demostrativa se toma el E-103 de una de las etapas de intercambio para hacer un el diseño básico de un intercambiador de calor. En la Figura. 4 se copia la pantalla con el resumen de las características más importantes de la torre de enfriamiento; dividido en tres ítems: Detalles geométricos, Detalles del proceso y Resultados.

Calculation Option - Standard Simulation			
Geometric details			
Fans / Bundles / Bays	2	1	1
Draught / Bare HT area/bundle / Area ratio	Forced	19,2 m ²	23,5
Tube length / Tube OD / Tube ID	6000 mm	25,4 mm	22,1 mm
Rows / Tubes / Passes	2	40	1
Trans.pitch / Long.pitch / Layout angle	58,4 mm	50,6 mm	30,0 deg
Fin frequency / Tip diam. / Mean thickness	433 /m	57,2 mm	0,28 mm
Process details			
	X-SIDE	TUBESIDE	WALL
Total mass flowrates	4000 kg/h	1143 kg/h	
Pressure (In / Out)	1,013/1,013 bar(abs)	11,8 / 11,8 bar(abs)	
Temperature (In / Out)	15,0 / 83,5 °C	162,2/62,6 °C	
Humidity/Quality (In / Out)	0,000/0,000	1,00 / 1,00	
Results			
Total pressure drop	0,2 Pa	0,007 bar	
Maximum Velocity	0,3 m/s	3,7 m/s	
Coefficients	158 W/m ² K	149 W/m ² K	
Resistances(ref:tubeOD) : fouling / wall	,0000000 m ² K/W	,0000000 m ² K/W	,0000353 m ² K/W
Performance			
Overall coefficient: clean / dirty	76 W/m ² K	76 W/m ² K	
Heat duty / eff wtd mtd / Heat balance	77 kW	52,5 °C	0,0 %
Duty ratio, PD ratio, Max.power/fan	0,16 (act/req)	0,07 (calc/allow)	0,0 kW
Weights: Bundle / Unit(dry) / Unit(full)	1078 kg	1078 kg	1223 kg
Run Status			
Total (Input / Calculation)	0 (0 / 0)	2 (0 / 2)	
Heat Transfer Resistances			
X-side			Tubeside

Figura 4. Copia de pantalla del sumario del diseño de la etapa de enfriamiento AC-100.

En la Figura 5 se puede observar el dibujo proporcionado por el simulador de diseño realizado en tres vistas [7].

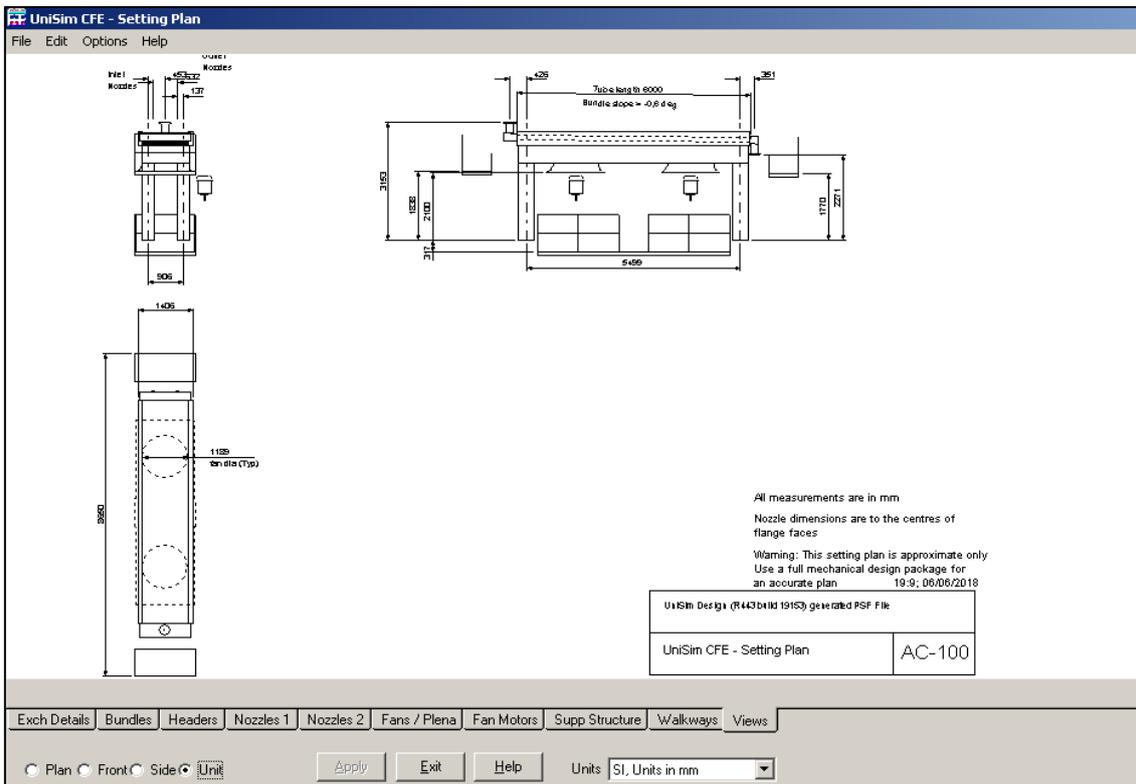


Figura 5. Dibujo de la etapa diseñada

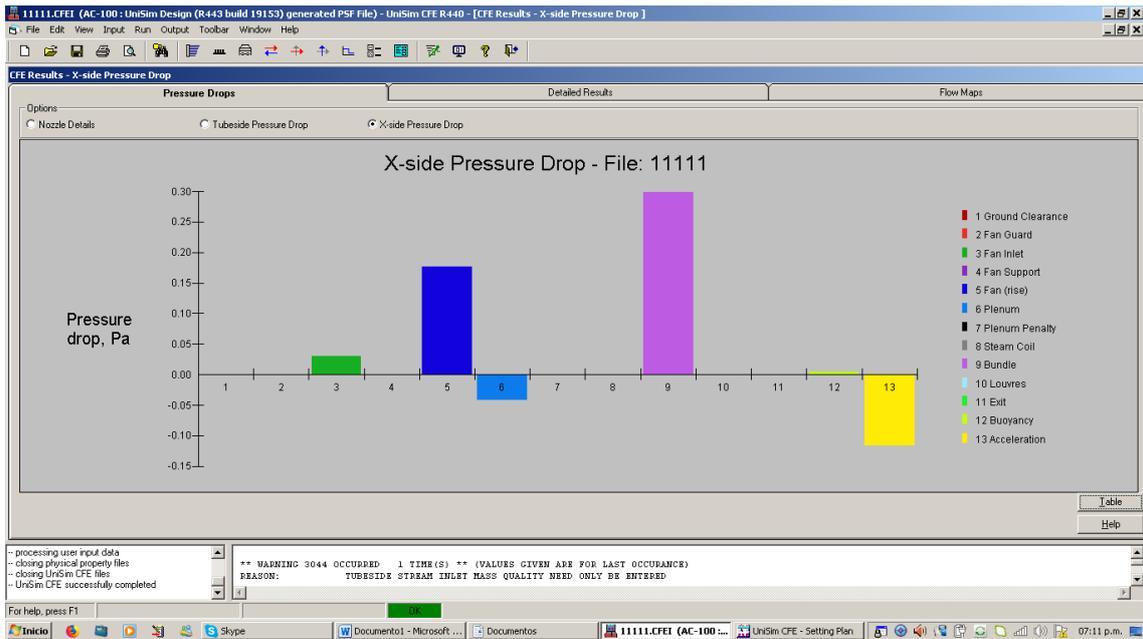
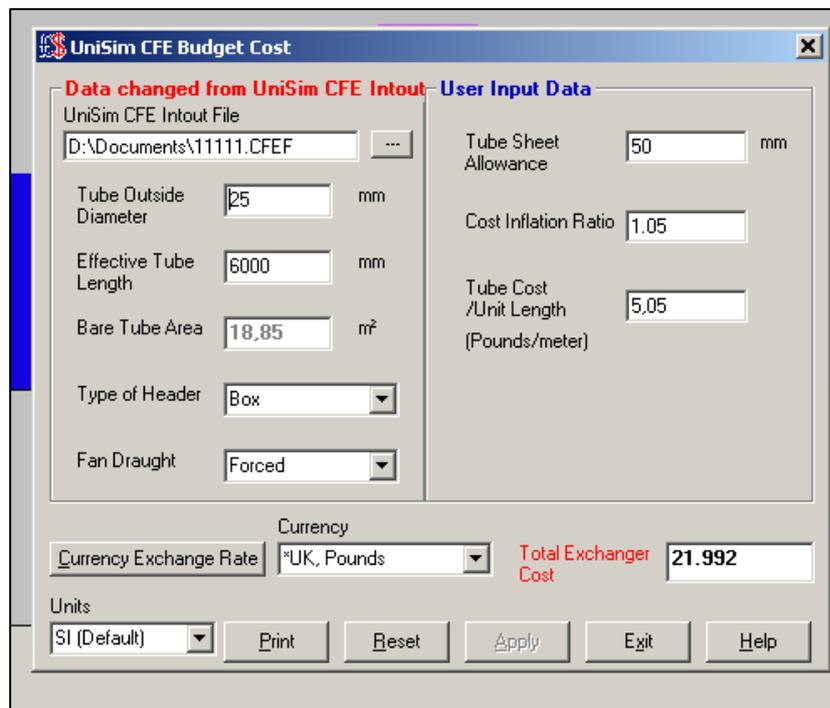


Figura 6. Las pérdidas de carga en diferentes partes de la torre.

En la Figura 6, se copia una pantalla que por intermedio de un gráfico de barras se muestra las pérdidas de carga en las diferentes partes de la torre de enfriamiento.



La Figura 7. Muestra la copia de pantalla, de la primera ventana, donde se realiza el estudio de los costos en materia prima, mano de obra y montaje.

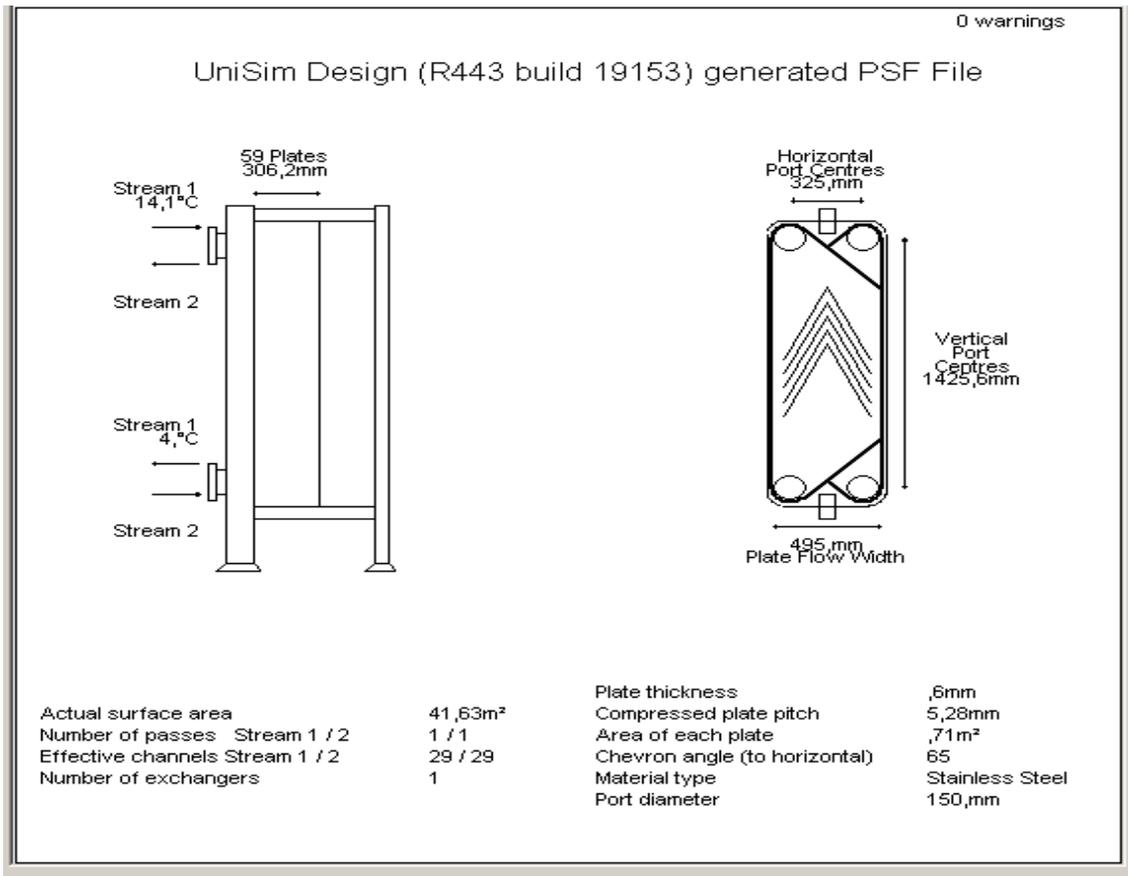


Figura 8. Dibujo del intercambiador de placas. Vista frente y detalle de placa

La Figura 8, muestra ahora, tras el diseño de un intercambiador de placas, el dibujo en detalle del mismo [4], [7].

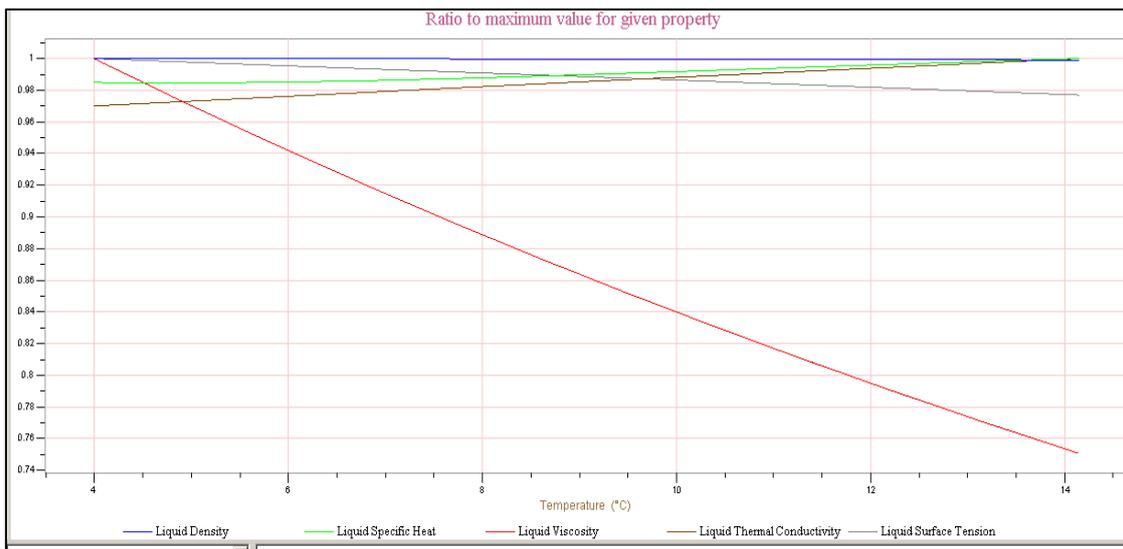


Figura 9. Gráfico de propiedades vs temperatura

La Figura 9, es un gráfico con la variación de: la entalpía específica, el calor específico, la densidad, la viscosidad, etc. frente al cambio de temperatura del fluido de intercambio.

		Design 4 (best)	Design 1	Design 2	Design 3
Number of exchangers		1	1	1	1
Area of plate	m ²	0,7056	0,7056	0,7056	0,7056
Port diameter	mm	150,00	150,00	150,00	150,00
Horizontal port centre distance	mm	325,00	325,00	325,00	325,00
Vertical port centre distance	mm	1425,55	1425,55	1425,55	1425,55
Chevron angle		65,0	30,0	45,0	50,0
Number of passes stream 1		1	1	1	1
Number of channels stream 1		29	187	81	44
Number of passes stream 2		1	1	1	1
Number of channels stream 2		29	187	81	44
Danger of maldistribution		no	yes	no	no
Design margin		291,99	2986,23	1563,18	668,25

Figura 10. Opciones de diseño

En la Figura 10 el software muestra las opciones posibles, comparando el diseño obtenido con los parámetros que poseen los equipos estándar de las empresas más importantes internacionales.

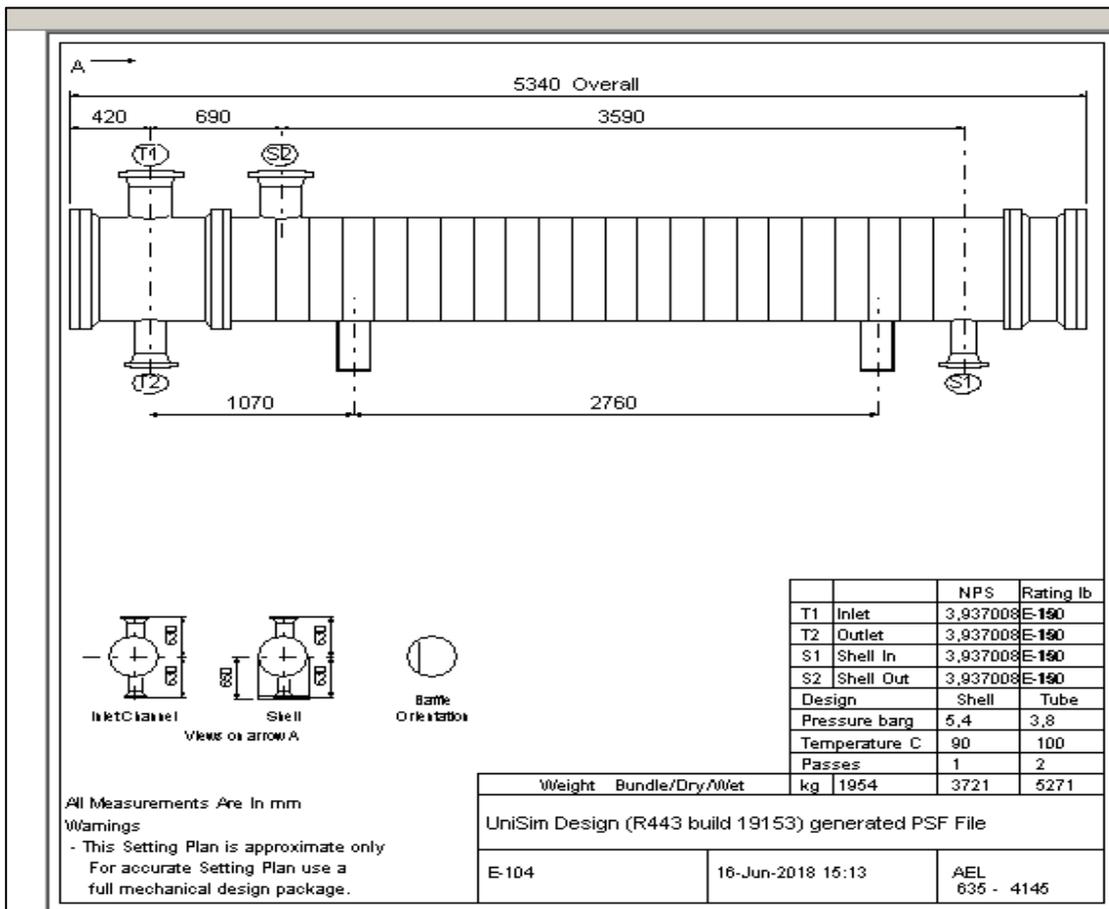


Figura 11. Plano del intercambiador de casco y tubos E.104. Evaporador del ciclo frigorífico e in friador de la mezcla propilenglicol- agua al 10% V/V

Utilizando el anexo UniSim STE 440 es posible diseñar por completo, procediendo en forma semejante, al diseño de la torre de enfriamiento. En la Figura 11 se ha copiado una de las pantallas donde aparece el plano del intercambiador E-104, con diferentes vistas y de acuerdo a las normas TEMA AEL [4], [5], [7].

4. Conclusiones y recomendaciones

Utilizar el software de simulación evita a las empresas tener que recurrir a prototipos físicos para realizar pruebas, con el consiguiente ahorro de costos, y acorta el tiempo de puesta del producto final en el mercado, aportando una importante ventaja competitiva. Actualmente muchas empresas de ingeniería en el mundo, utilizan software de simulación en una amplia variedad de sectores, como el académico, centros de I+D+i, aeroespacial, automoción, construcción, bienes de consumo, energía, salud (biotecnología), alta tecnología, equipamiento industrial, procesos alimentarios y energías renovables, entre otros.

El trabajo consiste esencialmente en la simulación de un proceso de pasteurización de un alimento, utilizando un software de base petrolera. Igualmente explica, como con una simulación en estado estacionario, se puede obtener información que permite el análisis, la síntesis y la optimización de dicho proceso. UniSim posibilita igualmente, la simulación de cada uno de los equipos; proporcionando desde plano hasta un estudio de costos de inversión.

También es posible entrar al modo dinámico y realizar el control automático de los equipos; realizando estudios en tiempo real.

El simulador es amigable desde el punto de vista didáctico. Se aplica, con muy buenos resultados en los últimos años de la Universidad de Entre Ríos (Concordia). Facultad de Ciencias de la Alimentación para el Crédito “Simulación de Procesos” desde 2012 y en la Universidad de Lanús en la Licenciatura en Alimentos, de hecho la licencia que se dispone es una versión universitaria.

Permite al alumno integrar los conceptos básicos de Termodinámica, de Fisicoquímica, de Transferencia de calor, de Procesos Industriales, de Control Automático y generando, además, un amplio criterio profesional [5].

Este simulador se convierte en un modelo computacional, que es una herramienta de fundamental importancia para la ciencia y la tecnología y por tanto, se hace necesario contar con recursos humanos altamente capacitados para enfrentar los desafíos del desarrollo tecnológico y científico nacional.

5. Referencias

- [1] WILLIAM, R; ZAMORA, L.M. (2018). *Procedimientos del tratamiento térmico de alimentos*.AMV Ediciones. Madrid. 400p.
- [2] DAIRY PROCESSING HANDBOOK TETRA PAK PROCESSING SYSTEMS (2003).S.E.-22186 Lund, Sweden. Chapter 8.p.213-225.
- [3] SINGH,R.P. (2010). *Introducción a la Ingeniería de los Alimentos*. Acribia Editorial. Madrid.

[4] CAO, E. (2011). *Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos*. Nueva Librería. Buenos Aires.500p.

[5] CENGEL, Y.A.(2017) *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA*.Editorial Mc. Graw Hill. México. 902p.

[6] SCENNA N. J. *Modelado, Simulación y Optimización de Procesos"*, Edición de la UTN, 1999, ISBN: 950-42-0022-2

[7] MONTESANO, J; MENÉNDEZ, A; GIRAUDO, M.(2012). *Simulación en Ciencia y Tecnología de los Alimentos con UniSim Design*. Ediciones Universidad Nacional de Lanús. Formato magnético. ISBN: 978-987-1326-77-8