



MEMORIA FINAL

El presente documento pretende mostrar los objetivos alcanzados mediante la “convocatoria de ayudas a grupos de innovación docente reconocidos para la elaboración de materiales docentes para los años 2021 y 2022”.

- **Título.**

Material docente para la resolución de problemas de sistemas energéticos y termodinámicos

- **Palabras clave.**

Termodinámica, Fluidomecánica, Prácticas, Tablas. Propiedades termofísicas

- **Objetivos desarrollados y resultados obtenidos**

Una de las principales dificultades que tiene la resolución de ejercicios de asignaturas en Ingeniería es la obtención de los valores de las propiedades termofísicas de los materiales y fluidos de los sistemas estudiados. Este aspecto es especialmente importante en la mayoría de las asignaturas del área de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Burgos, donde el profesorado imparte las asignaturas de Ingeniería Térmica I y II, Motores Térmicos, Mecánica de Fluidos, Centrales de Producción de Potencia, Ingeniería Energética y Eficiencia Energética. En todas estas asignaturas, los alumnos deben resolver problemas y ejercicios donde las propiedades varían en función de las condiciones de presión y temperatura a las que se haya la sustancia.

En la bibliografía es posible encontrar modelos que permiten estimar los valores de estas propiedades termofísicas, sin embargo, no siempre son de utilidad debido a complejidad de su resolución. Tradicionalmente, la resolución de estos modelos se realiza mediante ordenador, con software especializado, aunque no siempre es de interés para el profesor su uso o el software no está disponible. La alternativa más habitual para obtener los valores es el uso de tablas o gráficos. Las tablas permiten tener mayor resolución de información mientras que los gráficos son más ágiles, visuales e intuitivos, aunque reducen la precisión del cálculo. Es posible encontrar tablas y gráficos con carácter meramente docente en alguno libro de la bibliografía. Sin embargo, su uso es limitado ya que no disponen de resolución suficiente para el estudio de casos complejos o de aplicaciones reales de ingeniería.

Por ello, desde el grupo de Grupo de Innovación Reconocido SWIFT-e, se planteó la creación de un libro de tablas y gráfico, donde se incluyen las tablas para los principales fluidos de interés en ingeniería, actualizada y con resolución suficiente para su uso en docencia y, además, en actividad profesional.

- **Descripción del material creado**

Gracias al software a disposición del departamento y por tanto del Grupo de Innovación docente, Engineering Equation Solver (EES), se ha creado un extenso libro de tablas donde se recogen los valores para las propiedades termofísicas necesarias para la resolución de ejercicios y casos de estudio en aplicaciones de ingeniería relacionadas con aspectos energéticos y de mecánica de fluidos.

El índice del contenido del libro es el siguiente:

1. EQUIVALENCIA DE UNIDADES.
2. GASES IDEALES: Calores específicos de sustancias en estado de gas perfecto.
3. SUSTANCIAS REALES: Masa Molar, Constantes de Gases, Propiedades del punto crítico y factor acético; Factores de compresibilidad generalizado en función de presión y temperatura críticas.
4. TABLAS DE PROPIEDADES DEL AGUA COMÚN SEGÚN LA IAPWS: Saturación (de 0°C a temperatura crítica; de 1kPa a la presión crítica) y Líquido subenfriado y sobrecalentado(0,1 bar hasta 750 bar y 0°C a 1000°C)
5. TABLAS DE PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE R-32: Saturación (de -60°C a temperatura crítica; de 0,1bar hasta la presión crítica); Líquido subenfriado y sobrecalentado (0,1 bar hasta 100 bar y -60°C a 180°C); Diagrama presión-entalpía (p-h).
6. TABLAS DE PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE R-22: Saturación (de -60°C a temperatura crítica; de 0,1bar hasta la presión crítica); Líquido subenfriado y sobrecalentado (0,1 bar hasta 100 bar y -60°C a 180°C); Diagrama presión-entalpía (p-h).
7. TABLAS DE PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE R-134a: Saturación (de -60°C a temperatura crítica; de 0,1bar hasta la presión crítica); Líquido subenfriado y sobrecalentado (0,1 bar hasta 100 bar y -60°C a 180°C); Diagrama presión-entalpía (p-h).
8. TABLAS DE PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE R-717: Saturación (de -60°C a temperatura crítica; de 0,1bar hasta la presión crítica); Líquido subenfriado y sobrecalentado (0,1 bar hasta 100 bar y -60°C a 180°C); Diagrama presión-entalpía (p-h).
9. DIAGRAMAS DE DISOLUCIONES ACUOSAS DE BROMURO DE LITIO (LiBr-H₂O) PARA RESOLUCION DE CICLOS DE ABSORCIÓN: Diagrama de equilibrio (P-T-X); Diagrama de entalpías (H-T-X); Diagrama calor específico a presión constante.

Una de las principales mejoras que frente a otras alternativas de la bibliografía es la inclusión en las tablas de propiedades de líquido subenfriado y de sobrecalentado de los valores de saturación para cada presión. Esta información se incluye en el encabezado de la tabla, y permite ahorrar mucho tiempo y evitar errores a la hora de realizar los cálculos cuando el estado se encuentra cercano al estado de saturación. En la captura adjunta se muestra un ejemplo de esta mejora:

	p=24 bar				p=26 bar				p=28 bar				
	T _{sat} =38,69°C				T _{sat} =41,98°C				T _{sat} =45,08°C				
liq	0,0011117	270,2	272,9	1,2435	0,0011324	276,9	279,8	1,2649	0,0011536	283,3	286,5	1,2853	liq
vap	0,0141810	479,2	513,2	2,0143	0,0128816	478,3	511,8	2,0012	0,0117572	477,3	510,3	1,9884	vap
t(°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	t(°C)
-60	0,0008068	100,5	102,4	0,5917	0,0008066	100,4	102,5	0,5914	0,0008064	100,3	102,6	0,591	-60
-58	0,0008103	103,6	105,5	0,6064	0,0008101	103,5	105,6	0,606	0,0008099	103,4	105,7	0,6057	-58
-56	0,0008138	106,7	108,7	0,6209	0,0008136	106,6	108,8	0,6206	0,0008134	106,6	108,9	0,6202	-56

Otra mejora fundamental para poder resolver ciclos de absorción típicos de instalaciones de refrigeración es la inclusión de los diagramas para la disolución acuosa

de Bromuro de litio (BrLi-H₂O). Esta información no es de fácil obtención en la bibliografía. Por ello, se ha solicitado la autorización a ®Rodrigo Llopis (rllopis@uji.es) del ©Grupo de Ingeniería Térmica (G.I.T.) (www.git.uji.es) de la Universidad Jaume I de Castellón la autorización para la inclusión los diagramas incluidos en el apartado 9 del libro.

- **Estado actual y disponibilidad**

El importe de la ayuda se ha destinado en su totalidad a la edición, creación de la portada y de la maquetación final para su posible impresión en formato físico. Adicionalmente, se ha solicitado la obtención del código ISBN para el libro.

En la actualidad, el borrador final del libro está a disposición en el [LINK](#), encontrándose en la etapa final de edición de portada y contraportada, además de las gestiones necesarias para la obtención del citado ISBN.

La disponibilidad del libro será en formato libre, bajo el formato Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (CC BY-NC-ND). Estará disponible en el repositorio de la Universidad de Burgos para su descarga.



- **Conclusiones**

A la vista de lo expuesto anteriormente, se puede afirmar que el proyecto ha dado lugar como resultado la creación de un libro de tablas que estará disponible de forma libre, para su uso en asignaturas del área de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Burgos.

En este libro se incluye de forma muy extensa la información de los valores de las propiedades termofísicas de las principales sustancias reales de aplicación en sistemas de ingeniería, tanto en procesos energéticos como en mecánica de fluidos.

Este libro cuenta con varias mejoras frente a otros de la bibliografía, como son: mayor resolución de los valores, inclusión de los parámetros de saturación en las tablas de subenfriamiento y sobrecalentamiento, diagramas de disolución acuosa de bromuro de litio o la inclusión de refrigerante R-32, menos contaminante.

Burgos, a 21 de noviembre de 2021.

El solicitante, DIRECTOR DEL GID

Fdo.: David González Peña.