

# GUÍA DE CLASE

## PROPIEDADES DE SUSTANCIAS PURAS Y CAMBIOS DE ESTADO

### Termodinámica / Carrera de Agroindustria

---

**Universidad:** Universidad Nacional de Chimborazo

**Carrera:** Agroindustria

**Asignatura:** Termodinámica

**Semestre:** Tercero

**Duración de la clase:** 90 minutos

**Profesor:** PhD. Victor Hugo Valverde

---

## 1. OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

### Objetivo General

Analizar las propiedades termodinámicas de sustancias puras y los procesos de cambio de estado aplicados a operaciones unitarias en la industria agroalimentaria.

### Objetivos Específicos

Al finalizar esta clase, el estudiante será capaz de:

1. **Identificar** los diferentes estados de las sustancias puras
  2. **Calcular** propiedades termodinámicas usando tablas de vapor
  3. **Aplicar** las ecuaciones de mezclas líquido-vapor
  4. **Resolver** problemas de cambios de estado en procesos agroindustriales
  5. **Analizar** procesos de evaporación, secado y refrigeración
- 

## 2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

### 2.1 Sustancia Pura

Una **sustancia pura** es aquella que tiene composición química uniforme e invariable. Puede existir en más de una fase, pero *la composición química es la misma en todas las fases*.

#### Ejemplos en Agroindustria:

- Agua en procesos de evaporación
- Refrigerantes en sistemas de conservación
- Vapor en esterilización

## 2.2 Estados de Agregación

### Estado Sólido

- ♦ Moléculas en posiciones fijas
- ♦ Volumen y forma definidos
- ♦ Energía cinética mínima

### Estado Líquido

- ♦ Moléculas con mayor movilidad
- ♦ Volumen definido, forma variable
- ♦ Energía cinética intermedia

### Estado Gaseoso

- ♦ Moléculas con máxima movilidad
- ♦ Volumen y forma variables
- ♦ Energía cinética máxima

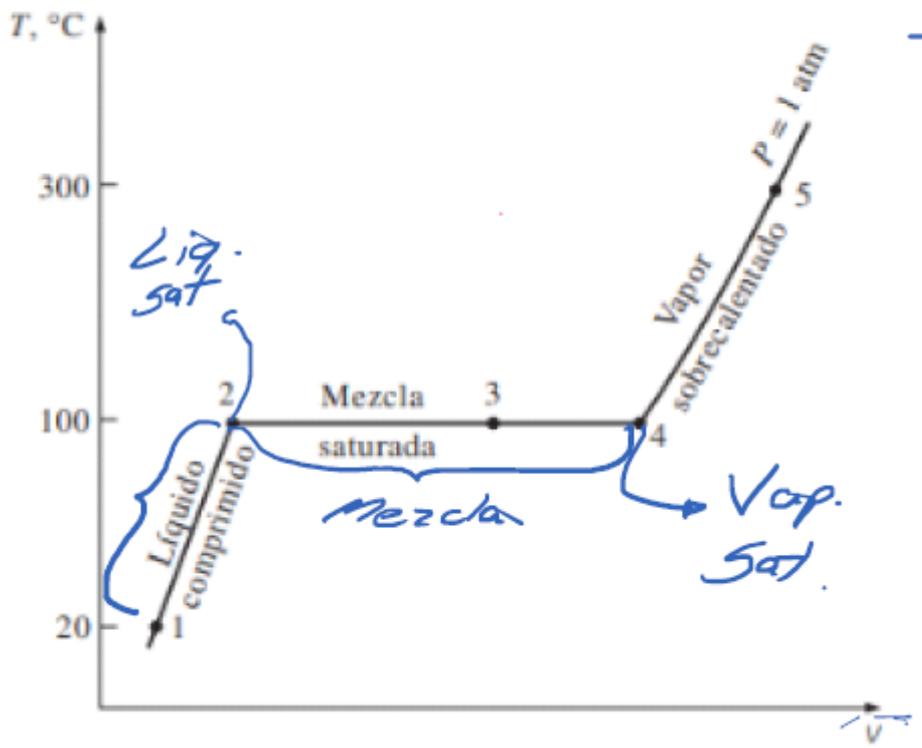
## 2.3 Propiedades Termodinámicas Principales

Propiedad	Símbolo	Unidades SI	Definición
Temperatura	T	K (°C)	Medida de la energía cinética molecular
Presión	P	Pa (kPa)	Fuerza por unidad de área
Volumen específico	v	m <sup>3</sup> /kg	Volumen por unidad de masa
Entalpía específica	h	kJ/kg	Energía total por unidad de masa
Entropía específica	s	kJ/kg·K	Medida del desorden molecular

## 3. DIAGRAMAS DE FASES

### 3.1 Diagrama P-T (Presión-Temperatura)

### 3.2 Diagrama T-v (Temperatura-Volumen específico)



#### Zonas importantes:

- ♦ **Líquido comprimido:** A la izquierda de la línea de líquido saturado
- ♦ **Mezcla líquido-vapor:** Entre las líneas de saturación
- ♦ **Vapor sobrecalentado:** A la derecha de la línea de vapor saturado

### 3.3 Punto Crítico

- ♦ **Temperatura crítica ( $T_c$ ):** Temperatura máxima a la cual pueden coexistir las fases líquida y vapor
- ♦ **Presión crítica ( $P_c$ ):** Presión correspondiente a la temperatura crítica

#### Para el agua:

- ♦  $T_c = 374.14^\circ\text{C}$  (647.3 K)
- ♦  $P_c = 22.12$  MPa

---

## 4. ECUACIONES FUNDAMENTALES

### 4.1 Ecuaciones para Mezclas Líquido-Vapor

Cuando una sustancia se encuentra en la región de mezcla, sus propiedades se calculan usando la **calidad del vapor ( $x$ )**:

#### Calidad del vapor:

$$x = \text{masa de vapor} / \text{masa total} = m_v / (m_l + m_v)$$

**Rango:**  $0 \leq x \leq 1$

- ♦  $x = 0$ : Líquido saturado
- ♦  $0 < x < 1$ : Mezcla líquido-vapor
- ♦  $x = 1$ : Vapor saturado

**Volumen específico:**

$$v = v_f + x(v_g - v_f) = v_f + x \cdot v_{fg}$$

**Entalpía específica:**

$$h = h_f + x(h_g - h_f) = h_f + x \cdot h_{fg}$$

**Entropía específica:**

$$s = s_f + x(s_g - s_f) = s_f + x \cdot s_{fg}$$

**Donde:**

- ♦ Subíndice f: Propiedades del líquido saturado
- ♦ Subíndice g: Propiedades del vapor saturado
- ♦ Subíndice fg: Diferencia entre vapor y líquido saturado

## 4.2 Ecuaciones de Estado

**Ley de los Gases Ideales:**

$$PV = nRT \quad \text{o} \quad Pv = RT \quad (\text{base másica})$$

**Factor de Compresibilidad:**

$$Z = Pv / (RT)$$

## 4.3 Ecuaciones para Procesos

**Primera Ley de la Termodinámica (sistema cerrado):**

$$Q - W = \Delta U = m(u_2 - u_1)$$

## Primera Ley para flujo permanente:

$$q = h_2 - h_1 + (V_2^2 - V_1^2)/2 + g(z_2 - z_1)$$

---

## 5. APLICACIONES EN AGROINDUSTRIA

### 5.1 Evaporación

**Proceso:** Concentración de jugos, lácteos, mermeladas

**Principio:** Eliminación de agua mediante ebullición controlada

**Ecuaciones principales:**

Balance de masa:  $m_1 = m_2 + m_{\text{vapor}}$

Balance de energía:  $Q = m \cdot h_{fg}$  (aproximación)

**Ejemplo de aplicación:** Concentración de jugo de naranja del 12% al 65% de sólidos.

<https://youtu.be/H20hp5NrJvc?si=v2yj1oUaKCAg6Eme>

### 5.2 Secado

**Proceso:** Reducción de humedad en granos, frutas, vegetales

**Tipos:**

- ◆ Secado por convección (aire caliente)
- ◆ Secado por conducción
- ◆ Liofilización (sublimación)

**Parámetros importantes:**

- ◆ Humedad relativa del aire
- ◆ Temperatura de bulbo seco y húmedo
- ◆ Velocidad de secado

### 5.3 Refrigeración

**Proceso:** Conservación de alimentos perecederos

**Ciclo básico de refrigeración:**

1. Compresión (compresor)
2. Condensación (condensador)
3. Expansión (válvula de expansión)

4. Evaporación (evaporador)

**Refrigerantes comunes:** R-134a, R-404A, amoníaco ( $\text{NH}_3$ )

## 5.4 Esterilización con Vapor

**Proceso:** Eliminación de microorganismos patógenos

**Condiciones típicas:**

- ♦ Temperatura: 121°C
  - ♦ Presión: 15 psig (203.4 kPa manométrica)
  - ♦ Tiempo: 15-20 minutos
- 

## 6. USO DE TABLAS DE VAPOR

### 6.1 Tipos de Tablas

#### **Tabla de Saturación por Temperatura**

- ♦ Entrada: Temperatura de saturación
- ♦ Proporciona: Presión de saturación y propiedades de líquido y vapor saturado

#### **Tabla de Saturación por Presión**

- ♦ Entrada: Presión de saturación
- ♦ Proporciona: Temperatura de saturación y propiedades de líquido y vapor saturado

#### **Tabla de Vapor Sobrecalentado**

- ♦ Entrada: Presión y temperatura
- ♦ Proporciona: Propiedades del vapor sobrecalentado

#### **Tabla de Líquido Comprimido**

- ♦ Entrada: Presión y temperatura
- ♦ Proporciona: Propiedades del líquido comprimido

### 6.2 Procedimiento para Usar las Tablas

1. Identificar el estado de la sustancia
  2. Seleccionar la tabla apropiada
  3. Localizar las propiedades conocidas
  4. Interpolar si es necesario
  5. Extraer las propiedades requeridas
-

# 7. METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

## Paso 1: Análisis del Problema

- ◆ Identificar la sustancia de trabajo
- ◆ Determinar los estados inicial y final
- ◆ Listar propiedades conocidas y desconocidas

## Paso 2: Determinación del Estado

- ◆ Comparar T y P con condiciones de saturación
- ◆ Clasificar como: líquido comprimido, mezcla, vapor sobrecalentado

## Paso 3: Aplicación de Ecuaciones

- ◆ Seleccionar ecuaciones apropiadas
- ◆ Usar tablas de propiedades
- ◆ Realizar cálculos paso a paso

## Paso 4: Verificación

- ◆ Comprobar unidades
  - ◆ Verificar rangos de validez
  - ◆ Analizar resultados físicamente
- 

## 7.1 Aplicaciones Móviles

### 1. "Steam Tables" (App Store/Google Play)

- ◆ Tablas de vapor digitales
- ◆ Cálculos automáticos de propiedades

### 2. "Thermodynamics Calculator"

- ◆ Calculadora para ciclos termodinámicos
- ◆ Diagramas P-v y T-s interactivos

**1. Temperatura del vapor saturado en un cilindro**

Un dispositivo que consta de cilindro-émbolo contiene 2 pies<sup>3</sup> de vapor de agua saturado a 50 psia de presión. Determine: a) La temperatura del vapor b) La masa del vapor dentro del cilindro

**ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

Paso 1: Identificación del estado termodinámico

- Sustancia: Vapor de agua saturado ( $x = 1$ )
- Presión:  $P = 50$  psia
- Volumen total:  $V = 2$  pies<sup>3</sup>
- Estado: Vapor saturado seco

Paso 2: Estrategia de solución

Como tenemos vapor saturado, conocemos que:

- La calidad  $x = 1$  (vapor 100% seco)
- Solo necesitamos una propiedad intensiva ( $P$ ) para determinar todas las demás
- Usaremos las tablas de saturación por presión

**SOLUCIÓN**

Parte a) Determinación de la temperatura

Al consultar las tablas de saturación por presión para el agua a 50 psia, encontramos:

Propiedades del agua saturada a 50 psia:

- Temperatura de saturación:  $T_{sat} = 281.03^\circ\text{F}$
- Volumen específico del líquido saturado:  $v_f = 0.01727$  pies<sup>3</sup>/lbm
- Volumen específico del vapor saturado:  $v_g = 8.515$  pies<sup>3</sup>/lbm
- Entalpía del líquido saturado:  $h_f = 250.09$  Btu/lbm
- Entalpía de vaporización:  $h_{fg} = 1450.1$  Btu/lbm

Respuesta parte a):  $T = 281.03^\circ\text{F}$

Parte b) Determinación de la masa

Para vapor saturado, el volumen específico es directamente  $v_g$ :

$$v = v_g = 8.515 \text{ pies}^3/\text{lbm}$$

Usando la definición de volumen específico:

$$v = V/m$$

Despejando la masa:

$$m = V/v = 2 \text{ pies}^3 / 8.515 \text{ pies}^3/\text{lbm} = 0.235 \text{ lbm}$$

Respuesta parte b):  $m = 0.235$  lbm

**2. CAMBIO DE VOLUMEN Y ENERGÍA DURANTE LA EVAPORACION**

Una masa de 200 gramos de agua líquida saturada se evapora por completo a una presión constante de 100 kPa. Determine: a) El cambio de volumen b) La cantidad de energía transferida al agua

**ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

Paso 1: Identificación del proceso

- **Estado inicial:** Agua líquida saturada a 100 kPa
- **Estado final:** Vapor saturado (seco) a 100 kPa
- **Proceso:** Evaporación a presión constante (proceso isobárico)
- **Masa:**  $m = 200$  g = 0.2 kg

Paso 2: Determinación de las condiciones de saturación

A 100 kPa, necesitamos consultar las tablas de vapor de agua. En las tablas de saturación por presión encontramos:

Propiedades a 100 kPa:

- Temperatura de saturación:  $T_{sat} = 99.63^\circ\text{C} \approx 100^\circ\text{C}$
- Volumen específico del líquido saturado:  $v_f = 0.001043$  m<sup>3</sup>/kg
- Volumen específico del vapor saturado:  $v_g = 1.6940$  m<sup>3</sup>/kg
- Entalpía del líquido saturado:  $h_f = 417.46$  kJ/kg
- Entalpía de vaporización:  $h_{fg} = 2257.0$  kJ/kg
- Entalpía del vapor saturado:  $h_g = h_f + h_{fg} = 2674.5$  kJ/kg

**SOLUCIÓN**

Parte a) Cambio de volumen

El cambio de volumen específico durante la evaporación es:

$$\Delta v = v_g - v_f = 1.6940 - 0.001043 = 1.693 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Para la masa total de agua:

$$\Delta V = m \times \Delta v = 0.2 \text{ kg} \times 1.693 \text{ m}^3/\text{kg} = 0.3386 \text{ m}^3$$

**Interpretación física:** El volumen del agua aumenta aproximadamente **1,693 veces** durante la evaporación. Esto explica por qué el vapor ocupa mucho más espacio que el líquido.

### Parte b) Cantidad de energía transferida

Para un proceso a presión constante, la energía transferida como calor corresponde al cambio de entalpía:

$$Q = m \times \Delta h = m \times h_{fg}$$

$$Q = 0.2 \text{ kg} \times 2257.0 \text{ kJ/kg} = 451.4 \text{ kJ}$$

**Interpretación física:** Esta energía (451.4 kJ) se conoce como **calor latente de vaporización** y se requiere para:

1. Romper las fuerzas intermoleculares del líquido
2. Realizar trabajo contra la presión atmosférica durante la expansión

### 3. Presión y volumen de un vapor húmedo

**Un recipiente rígido contiene 10 kg de agua a 90°C. Si 8 kg del agua están en forma líquida y el resto como vapor, determine: a) La presión en el recipiente b) El volumen del recipiente**

#### ANÁLISIS DEL PROBLEMA

##### Paso 1: Identificación del estado termodinámico

- **Sustancia:** Agua en mezcla líquido-vapor (vapor húmedo)
- **Temperatura:**  $T = 90^\circ\text{C}$
- **Masa total:**  $m_{\text{total}} = 10 \text{ kg}$
- **Masa de líquido:**  $m_l = 8 \text{ kg}$
- **Masa de vapor:**  $m_v = 10 - 8 = 2 \text{ kg}$
- **Recipiente:** Rígido (volumen constante)

##### Paso 2: Determinación de la calidad del vapor

La calidad del vapor se define como:

$$x = \text{masa de vapor} / \text{masa total} = m_v / m_{\text{total}}$$

$$x = 2 \text{ kg} / 10 \text{ kg} = 0.2 = 20\%$$

##### Paso 3: Estrategia de solución

Como tenemos una mezcla líquido-vapor en equilibrio:

- La temperatura y presión están relacionadas por la curva de saturación
- Usaremos las tablas de saturación por temperatura
- Aplicaremos las ecuaciones de mezclas bifásicas

#### SOLUCIÓN

##### Parte a) Determinación de la presión

Cuando existe equilibrio entre líquido y vapor, la presión del sistema **debe ser igual a la presión de saturación** a la temperatura dada.

Consultando las **tablas de saturación por temperatura** a  $90^\circ\text{C}$ :

##### Propiedades del agua saturada a $90^\circ\text{C}$ :

- **Presión de saturación:**  $P_{\text{sat}} = 70.14 \text{ kPa}$
- Volumen específico del líquido saturado:  $v_f = 0.001036 \text{ m}^3/\text{kg}$
- Volumen específico del vapor saturado:  $v_g = 2.361 \text{ m}^3/\text{kg}$
- Diferencia:  $v_{fg} = v_g - v_f = 2.361 - 0.001036 = 2.360 \text{ m}^3/\text{kg}$

**Respuesta parte a):**  $P = 70.14 \text{ kPa}$

##### Parte b) Determinación del volumen del recipiente

Para una mezcla líquido-vapor, el volumen específico se calcula como:

$$v = v_f + x(v_g - v_f) = v_f + x \cdot v_{fg}$$

Sustituyendo valores:

$$v = 0.001036 + 0.2 \times (2.361 - 0.001036)$$

$$v = 0.001036 + 0.2 \times 2.360$$

$$v = 0.001036 + 0.472 = 0.473 \text{ m}^3/\text{kg}$$

El volumen total del recipiente es:

$$V = m \times v = 10 \text{ kg} \times 0.473 \text{ m}^3/\text{kg} = 4.73 \text{ m}^3$$

**Respuesta parte b):**  $V = 4.73 \text{ m}^3$

### 4. Propiedades de vapor húmedo

**Un recipiente de 80 L contiene 4 kg de refrigerante 134a a una presión de 160 kPa. Determine: a) La temperatura b) La calidad c) La entalpía del refrigerante d) El volumen que ocupa la fase de vapor**

#### ANÁLISIS DEL PROBLEMA

##### Paso 1: Identificación del sistema

- **Sustancia:** Refrigerante R-134a (tetrafluoroetano)
- **Presión:**  $P = 160 \text{ kPa}$
- **Volumen total:**  $V = 80 \text{ L} = 0.08 \text{ m}^3$
- **Masa total:**  $m = 4 \text{ kg}$

- **Recipiente:** Rígido (volumen constante)

**Paso 2: Cálculo del volumen específico**

$$v = V/m = 0.08 \text{ m}^3 / 4 \text{ kg} = 0.02 \text{ m}^3/\text{kg}$$

**Paso 3: Determinación del estado**

Necesitamos consultar las tablas del R-134a a 160 kPa para determinar si es líquido comprimido, mezcla líquido-vapor, o vapor sobrecalentado.

**SOLUCIÓN**

**Consulta de tablas de saturación del R-134a a 160 kPa:**

**Propiedades de saturación del R-134a a 160 kPa:**

- **Temperatura de saturación:**  $T_{\text{sat}} = -15.62^\circ\text{C}$
- Volumen específico del líquido saturado:  $v_f = 0.0007258 \text{ m}^3/\text{kg}$
- Volumen específico del vapor saturado:  $v_g = 0.12348 \text{ m}^3/\text{kg}$
- Entalpía del líquido saturado:  $h_f = 180.27 \text{ kJ/kg}$
- Entalpía de vaporización:  $h_{fg} = 206.12 \text{ kJ/kg}$
- Entalpía del vapor saturado:  $h_g = 386.39 \text{ kJ/kg}$

**Verificación del estado:**

$$v_f = 0.0007258 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v = 0.02 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (calculado)}$$

$$v_g = 0.12348 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Como  $v_f < v < v_g$ , el refrigerante se encuentra en la **región de mezcla líquido-vapor**.

**Parte a) Temperatura**

En la región de mezcla líquido-vapor, la temperatura es igual a la temperatura de saturación:

**Respuesta parte a):**  $T = -15.62^\circ\text{C}$

**Parte b) Calidad del vapor**

Usando la ecuación de volumen específico para mezclas:

$$v = v_f + x(v_g - v_f)$$

$$0.02 = 0.0007258 + x(0.12348 - 0.0007258)$$

$$0.02 = 0.0007258 + x(0.1227542)$$

Despejando x:

$$x = (0.02 - 0.0007258) / 0.1227542$$

$$x = 0.0192742 / 0.1227542 = 0.157$$

**Respuesta parte b):**  $x = 0.157 = 15.7\%$

**Parte c) Entalpía del refrigerante**

Para una mezcla líquido-vapor:

$$h = h_f + x \cdot h_{fg}$$

$$h = 180.27 + 0.157 \times 206.12$$

$$h = 180.27 + 32.36 = 212.63 \text{ kJ/kg}$$

La entalpía total del refrigerante:

$$H = m \times h = 4 \text{ kg} \times 212.63 \text{ kJ/kg} = 850.5 \text{ kJ}$$

**Respuesta parte c):**  $h = 212.63 \text{ kJ/kg}$  ( $H = 850.5 \text{ kJ}$ )

**Parte d) Volumen ocupado por la fase de vapor**

**Método 1: Usando la calidad**

$$\text{Masa de vapor: } m_v = x \times m = 0.157 \times 4 = 0.628 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de vapor: } V_v = m_v \times v_g = 0.628 \times 0.12348 = 0.0775 \text{ m}^3 = 77.5 \text{ L}$$

**Método 2: Verificación usando masa de líquido**

$$\text{Masa de líquido: } m_l = (1-x) \times m = 0.843 \times 4 = 3.372 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de líquido: } V_l = m_l \times v_f = 3.372 \times 0.0007258 = 0.00245 \text{ m}^3 = 2.45 \text{ L}$$

$$\text{Volumen de vapor: } V_v = V_{\text{total}} - V_l = 80 - 2.45 = 77.55 \text{ L} \checkmark$$

**Respuesta parte d):**  $V_v = 77.5 \text{ L}$

**5. Energía interna del vapor sobrecalentado**

Determine la energía interna del agua a 20 psia y 400 °F.

**Solución** Se determinará la energía interna del agua en un estado especificado.

**Análisis** A 20 psia la temperatura de saturación es 227.92 °F. Como  $T > T_{\text{sat}}$ , el agua está en la región de vapor sobrecalentado, entonces la energía interna a la presión y temperatura dadas se determina, a partir de la tabla de vapor sobrecalentado (tabla A-6E), como

$u = 1 \text{ 145.1 Btu/lbm}$

**Temperatura del vapor saturado**

**ENUNCIADO DEL PROBLEMA**

Determine la temperatura del agua en un estado donde  $P = 0.5 \text{ MPa}$  y  $h = 2890 \text{ kJ/kg}$ .

## ANÁLISIS DEL PROBLEMA

### Paso 1: Identificación del estado

- **Presión:**  $P = 0.5 \text{ MPa} = 500 \text{ kPa}$
- **Entalpía específica:**  $h = 2890 \text{ kJ/kg}$
- **Sustancia:** Agua
- **Incógnita:** Temperatura  $T$

### Paso 2: Determinación del tipo de estado

Primero debemos verificar si es líquido comprimido, mezcla líquido-vapor, o vapor sobrecalentado.

Consultando las **tablas de saturación a 0.5 MPa:**

- Temperatura de saturación:  $T_{\text{sat}} = 151.86^\circ\text{C}$
- Entalpía del líquido saturado:  $h_f = 640.23 \text{ kJ/kg}$
- Entalpía del vapor saturado:  $h_g = 2748.1 \text{ kJ/kg}$

### Paso 3: Clasificación del estado

$h_f = 640.23 \text{ kJ/kg}$

$h = 2890 \text{ kJ/kg}$  (dado)

$h_g = 2748.1 \text{ kJ/kg}$

Como  $h > h_g$ , el agua se encuentra en estado de **vapor sobrecalentado**.

---

## SOLUCIÓN

### Paso 4: Búsqueda en tabla de vapor sobrecalentado

Consultando la **tabla de vapor sobrecalentado a 0.5 MPa** (Tabla A-6):

**T (°C) v (m<sup>3</sup>/kg) h (kJ/kg) s (kJ/kg·K)**

200 0.4249 2855.8 7.0592

250 0.4744 2961.0 7.2307

### Paso 5: Identificación del rango

Nuestra entalpía  $h = 2890 \text{ kJ/kg}$  está entre:

- $h_1 = 2855.8 \text{ kJ/kg}$  a  $T_1 = 200^\circ\text{C}$
- $h_2 = 2961.0 \text{ kJ/kg}$  a  $T_2 = 250^\circ\text{C}$

### Paso 6: Aplicación de interpolación lineal

$$(y - y_1)/(y_2 - y_1) = (x - x_1)/(x_2 - x_1)$$

### Paso A: Organizar los datos

**Variable conocida (h):** 2855.8 ↔ 2890 ↔ 2961.0 kJ/kg

**Variable buscada (T):** 200 ↔ ? ↔ 250 °C

**Paso B: Calcular y Verificar que el resultado esté en el rango esperado** ✓

### Problema de práctica:

*Determine la entalpía del vapor de agua a 0.5 MPa y 230°C usando interpolación.*

**Solución:**

- **A 0.5 MPa:**  $h(200^\circ\text{C}) = 2855.8 \text{ kJ/kg}$ ,  $h(250^\circ\text{C}) = 2961.0 \text{ kJ/kg}$
- **Interpolación:**  $h = 2855.8 + (230-200) \times (2961.0-2855.8)/(250-200)$
- $h = 2855.8 + 30 \times 105.2/50 = 2855.8 + 63.12 = 2918.9 \text{ kJ/kg}$

### EJERCICIO 1: Interpolación en Tabla de Saturación por Temperatura

**Enunciado:**

Determine la presión de saturación y la entalpía del vapor saturado ( $h_g$ ) del agua a 85°C usando las tablas de saturación por temperatura.

### EJERCICIO 2: Interpolación en Vapor Sobrecalentado

**Enunciado:**

Un recipiente contiene vapor de agua a 800 kPa y 320°C. Determine la entalpía específica y el volumen específico del vapor usando interpolación.

**EJERCICIO 3: Determine la temperatura de saturación del agua a 125 kPa usando las tablas de saturación por presión.**

**EJERCICIO 4: Determine la entalpía del líquido saturado ( $h_f$ ) del refrigerante R-134a a -12°C.**

### Datos para interpolación:

- Punto 1:  $(h_1, T_1) = (2855.8, 200)$
- Punto 2:  $(h_2, T_2) = (2961.0, 250)$
- Valor buscado:  $h = 2890 \text{ kJ/kg}$

### Aplicando la fórmula de interpolación:

$$T = T_1 + (h - h_1) \times (T_2 - T_1)/(h_2 - h_1)$$

Sustituyendo valores:

$$T = 200 + (2890 - 2855.8) \times (250 - 200)/(2961.0 - 2855.8)$$

$$T = 200 + (34.2) \times (50)/(105.2)$$

$$T = 200 + 1710/105.2$$

$$T = 200 + 16.25$$

$$T = 216.25^{\circ}\text{C}$$

**Respuesta:** T = 216.3°C

---

## **Bibliografía Básica**

1. **Cengel, Y. A. & Boles, M. A.** (2019). *Termodinámica*. 8ª Edición. McGraw-Hill.
  - ♦ Capítulos 3-4: Sustancias puras y cambios de fase
2. **Moran, M. J. & Shapiro, H. N.** (2018). *Fundamentos de Termodinámica Técnica*. 2ª Edición. Reverté.
  - ♦ Capítulos 2-3: Propiedades de sustancias puras
3. **Singh, R. P. & Heldman, D. R.** (2020). *Introduction to Food Engineering*. 6ª Edición. Academic Press.
  - ♦ Capítulo 2: Termodinámica en alimentos

## **Bibliografía Complementaria**

- ♦ **Geankoplis, C. J.** (2018). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*
- ♦ **McCabe, W. L., Smith, J. C. & Harriott, P.** (2019). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*

## 8. ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE CLASE ( TALLER) – SE ENTREGA HOY

### 8.1 Actividad 1: Identificación de Estados

#### Materiales necesarios:

- ♦ Tablas de vapor de agua
- ♦ Calculadora
- ♦

Procedimiento:

1. Analizar 5 casos con diferentes condiciones de T y P
2. Estudiantes determinan el estado de cada caso
3. Discusión grupal de resultados

#### Casos propuestos:

- ♦ Agua a 80°C y 50 kPa
- ♦ Agua a 120°C y 200 kPa
- ♦ Agua a 150°C y 400 kPa
- ♦ Agua a 200°C y 1.5 MPa
- ♦ Agua a 300°C y 100 kPa

### 8.2 Actividad 2: Cálculo de Propiedades en Mezclas

**Objetivo:** Aplicar ecuaciones de calidad de vapor

#### Problemas:

- Un tanque contiene 5 kg de agua a 100°C con volumen específico de 0.5 m<sup>3</sup>/kg. Calcular la calidad del vapor y las masas de líquido y vapor."
- Una masa de 500 gramos de agua líquida saturada se evapora por completo a una presión constante de 200 kPa. Determine: a) El cambio de volumen b) La cantidad de energía transferida al agua
- Un recipiente rígido contiene 15 kg de agua a 120°C. Si 12 kg del agua están en forma líquida y el resto como vapor, determine: a) La presión en el recipiente b) El volumen del recipiente c) La entalpía total de la mezcla
- Un recipiente de 50 L contiene 3 kg de refrigerante R-134a a una presión de 280 kPa. Determine: a) La temperatura b) La calidad del vapor c) La entalpía del refrigerante d) El volumen que ocupa la fase líquida

## **CUESTIONARIO**

**Pregunta 1:** ¿Cómo determinar si el agua a 90°C y 70 kPa está en estado líquido o vapor?

**Pregunta 2:** En una mezcla líquido-vapor con  $x = 0.3$ , ¿qué porcentaje de la masa total corresponde al vapor?

**Pregunta 3:** ¿Por qué es importante conocer las propiedades del vapor en procesos de esterilización?