



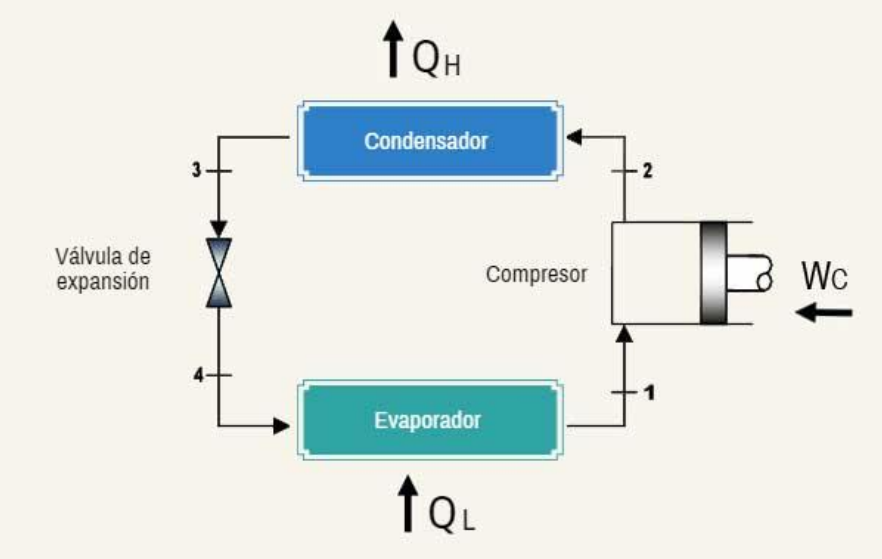
ECUADOR
UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
SEK
SER MEJORES

Diseño De Un Software O Aplicación Didáctica Para La Verificación Del Desempeño De Los Refrigerantes En Los Sistemas De Refrigeración.

RENÉ SEBASTIÁN PUEBLA MOLINA
INGENIERÍA MECÁNICA
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

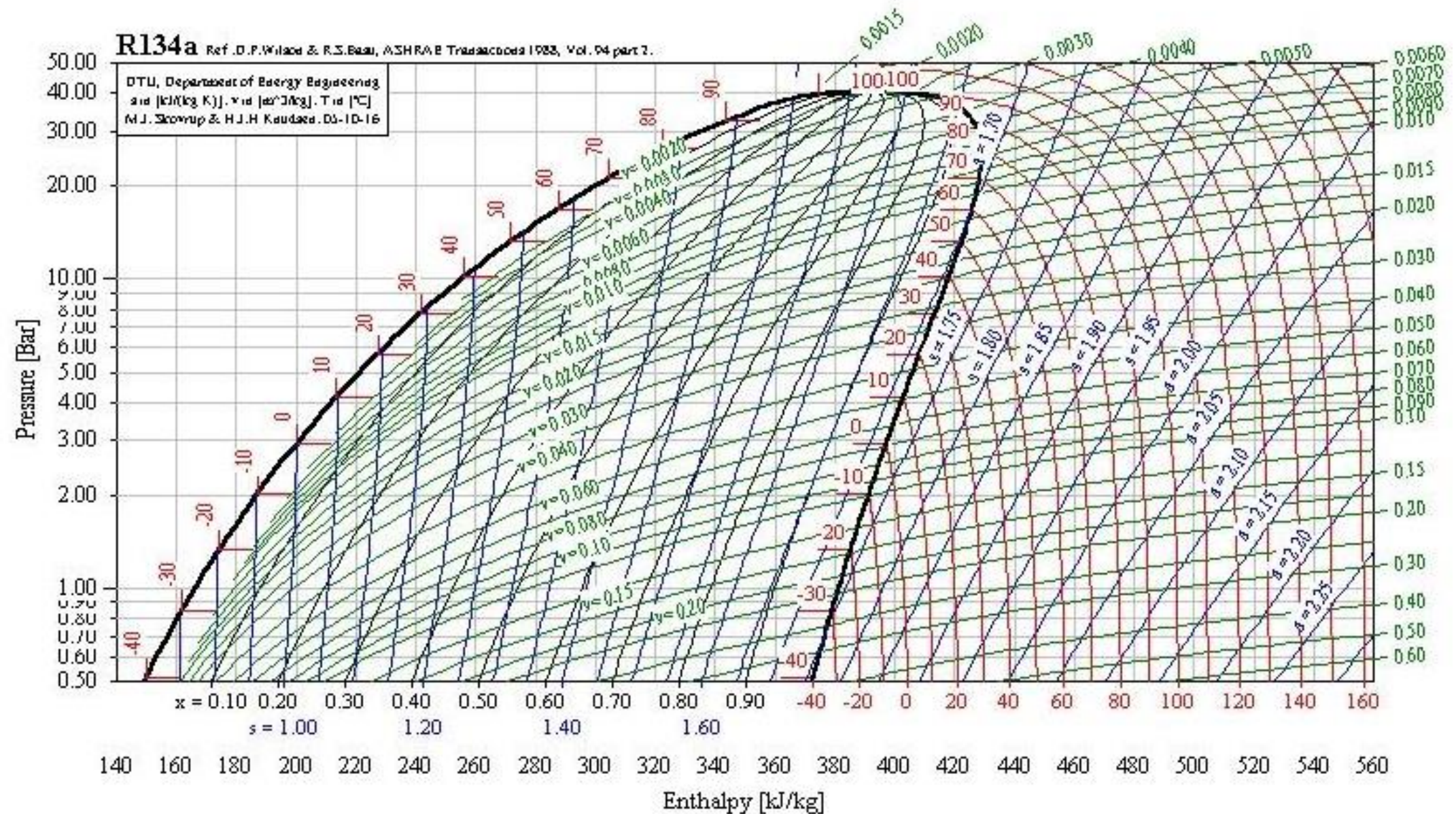
TUTOR: ING. EDILBERTO LLANES C, PhD.

INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA



Temp. °C	PRESION		VOLUMEN		DENSIDAD		ENTALPIA kcal/kg			ENTROPIA kcal/kg K	
	kPa	psig	Líquido l/kg <i>v_f</i>	Vapor m³/kg <i>v_g</i>	Líquido kg/l <i>1/v_f</i>	Vapor kg/m³ <i>1/v_g</i>	Líquido <i>h_f</i>	Latente <i>h_{fg}</i>	Vapor <i>h_g</i>	Líquido <i>s_f</i>	Vapor <i>s_g</i>
-60	37	18.85 *	0.682	0.538	1.466	1.862	-4.93	58.36	53.43	-0.022	0.252
-55	49	15.31 *	0.689	0.415	1.452	2.411	-3.72	57.73	54.01	-0.016	0.248
-50	64	10.90 *	0.695	0.325	1.438	3.081	-2.50	57.08	54.58	-0.011	0.245
-45	83	5.48 *	0.702	0.257	1.424	3.891	-1.26	56.40	55.14	-0.005	0.242
-40	105	0.52	0.709	0.206	1.410	4.860	0.00	55.70	55.70	0.000	0.239
-35	132	4.40	0.717	0.166	1.395	6.010	1.27	54.97	56.24	0.005	0.236
-30	163	9.01	0.724	0.136	1.380	7.362	2.56	54.22	56.78	0.011	0.234
-25	201	14.45	0.733	0.112	1.365	8.940	3.87	53.43	57.30	0.016	0.231
-20	245	20.81	0.741	0.093	1.350	10.771	5.19	52.62	57.81	0.021	0.229
-15	296	28.19	0.750	0.078	1.334	12.882	6.53	51.78	58.31	0.026	0.227
-10	354	36.69	0.759	0.065	1.318	15.305	7.88	50.91	58.79	0.032	0.225

INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA



Problema

- ¿Cómo desarrollar una ayuda técnica para encontrar los cálculos de las propiedades termodinámicas en refrigerantes establecidos con un margen de error menor al 1%?

Objetivo General

- Desarrollar una aplicación didáctica en sistema de climatización por medio de la programación en Microsoft Visual Basic para la verificación del desempeño de los refrigerantes R22 y R290.

Objetivos Específicos

- Realizar los cálculos de las propiedades termodinámicas de los refrigerantes R22 y R290 mediante el uso de métodos numéricos para la aplicación directa en el software.
- Obtener los gráficos o curvas del comportamiento térmico de los refrigerantes en base de los cálculos obtenidos en el desarrollo del software.
- Representar el ciclo ideal de refrigeración de los refrigerantes R22 y R290 con el software realizado para un uso didáctico.
- Validar el software didáctico por medio de la comparativa con las curvas dadas por el fabricante para la demostración de su factibilidad técnica.

Programa Visual Basic

The image shows the Microsoft Visual Basic IDE interface. The main window is titled "Proyecto1 - Microsoft Visual Basic [diseño]". The menu bar includes "Archivo", "Edición", "Ver", "Proyecto", "Formato", "Depuración", "Ejecutar", "Consulta", "Diagrama", "Herramientas", "Complementos", "Ventana", and "Ayuda". The toolbar contains various icons for file operations, editing, and execution. The status bar shows "Lín 1, Col 1".

The design view shows a form titled "Proyecto1 - Form1 (Form)" with a grid background. A smaller window titled "Form1" is overlaid on the grid. The code editor window is titled "Proyecto1 - Form1 (Código)" and shows the "General" tab with the "Declaraciones" section selected. The code editor is currently empty.

The Properties window is titled "Propiedades - Form1" and shows the "Form1 Form" object selected. The "Caption" property is highlighted in blue. The properties list includes:

Property	Value
(Nombre)	Form1
Appearance	1 - 3D
AutoRedraw	False
BackColor	&H80000000
BorderStyle	2 - Sizable
Caption	Form1
ClipControls	True
ControlBox	True
DrawMode	13 - Copy Pen
DrawStyle	0 - Solid
DrawWidth	1
Enabled	True
FillColor	&H00000000

The "Caption" property description is: "Devuelve o establece el texto".

MÉTODO

R22

- **Presión de saturación**

$$\ln P = F_1 + \frac{F_2}{T} + F_3 \ln T + F_4 T + F_5 \frac{(\gamma - T)}{T} \ln(\gamma - T)$$

- **Volumen específico de líquido saturado**

$$\rho_f = \sum_{i=1}^5 D_i X^{(i-\frac{1}{3})} + D_6 X^{(\frac{1}{2})} + D_7 X^2$$

- $X = 1 - \frac{T}{T_C}$

- $v_f = \frac{1}{\rho_f}$

“Reynolds (2006) Propiedades termodinámicas en SI”

MÉTODO

- **Volumen específico de vapor saturado**

$$P = \frac{RT}{v - b} + \sum_{i=2}^5 \frac{1}{(v - b)^i} \left(A_i + B_i T + C_i e^{\frac{-kT}{T_c}} \right) + \frac{A_6 + B_6 T}{e^{-\alpha v}}$$

$$vg = \frac{1}{\rho}$$

MÉTODO

- **Entalpía de vaporización**

$$h_{fg} = T v_{fg} * \left(\frac{P_{sat@}(T+0,0,1) - P_{sat@}(T-0,0,1)}{0.02} \right)$$

- **Entropía de vaporización**

$$s_{fg} = \frac{h_{fg}}{T}$$

- $h_g(T) = h_g(T_{ref}) + dh_{A-B} + dh_{B-C} + dh_{C-D}$
- $s_g(T) = s_g(T_{ref}) + ds_{A-B} + ds_{B-C} + ds_{C-D}$

MÉTODO

R290

- **Presión de saturación**

$$\ln \left(\frac{P}{P_C} \right) = \left(\frac{T_C}{T} - 1 \right) \sum_{i=1}^8 F_i \left(\frac{T}{T\rho} - 1 \right)^{i-1}$$

- **Volumen Específico – Líquido saturado**

$$\rho_f = \sum_{i=1}^6 D_i X^{(i-\frac{1}{3})}$$

- $X = 1 - \frac{T}{T_C}$

- $v_f = \frac{1}{\rho_f}$

“Reynolds (2006) Propiedades termodinámicas en SI”

MÉTODO

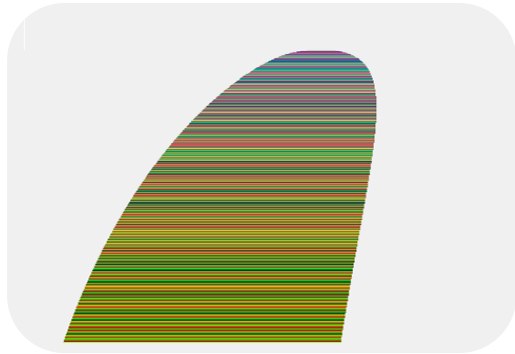
- **Volumen Específico – Vapor saturado**

$$P = \rho RT + B_0 RT - A_0 - \left(\frac{C_0}{T^2} + \frac{D_0}{T^3} - \frac{E_0}{T^4} \right) \rho^2 + \left(bRT - a - \frac{d}{T} \right) \rho^3 + \alpha \left(a + \frac{d}{T} \right) \rho^6 + c \frac{\rho^3}{T^2} (1 + \gamma \rho^2) e^{-\gamma \rho^2}$$

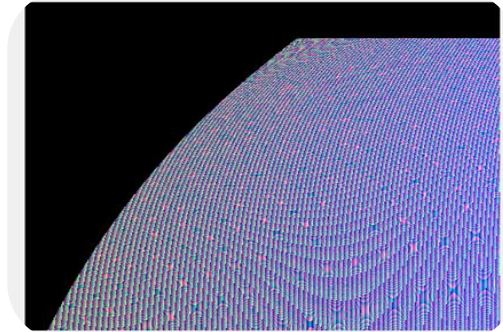
- **Entalpía – Vapor saturado**

$$C_v^0 = \sum_{i=1}^4 G_i T^{i-1} + \frac{G_5}{T^2}$$

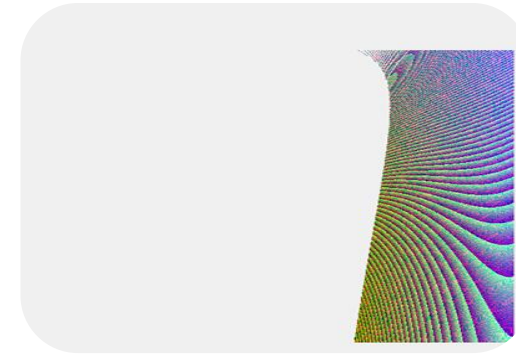
Diagramas R22 Codificado T



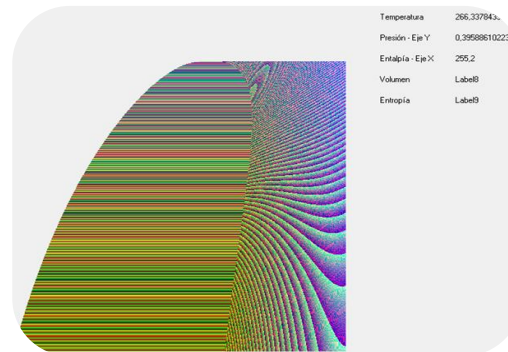
P vs h Cod T
Campana



P vs T Cod h
Sobrecalentado

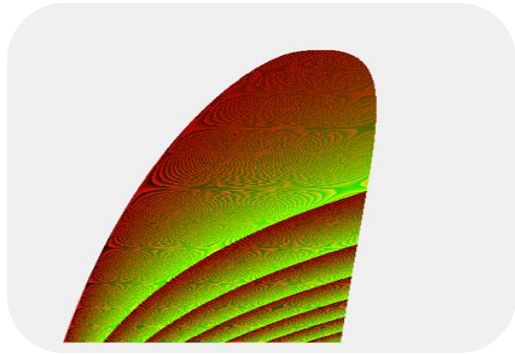


P vs h Cod T
Vapor Sobrecalentado.

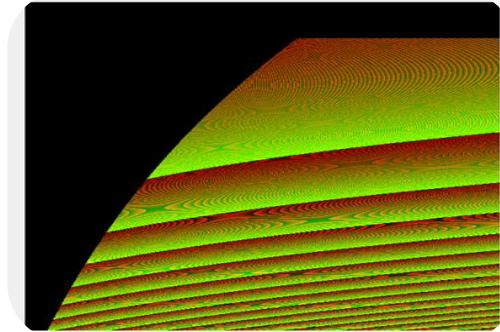


P vs h Cod T
Completo

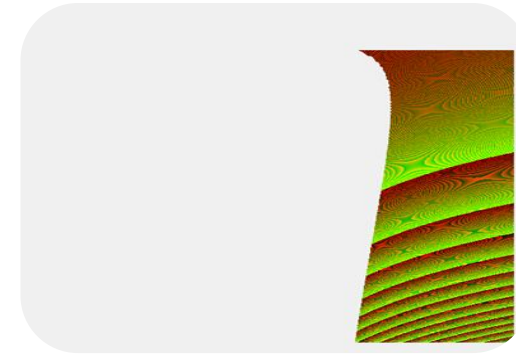
Diagramas R22 Codificado V



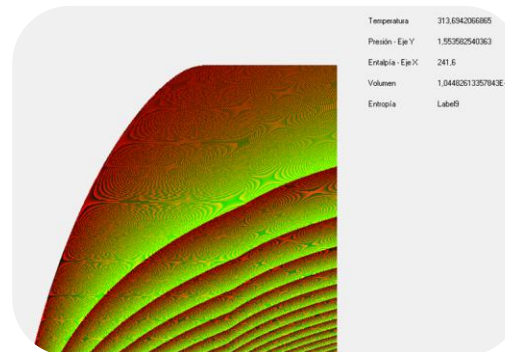
P vs h Cod V
Campana



P vs T Cod V
Sobrecalentado

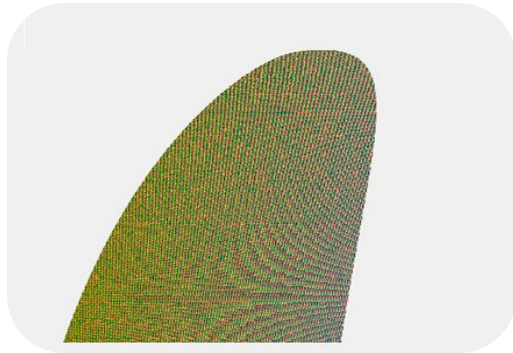


P vs h Cod V
Vapor Sobrecal.

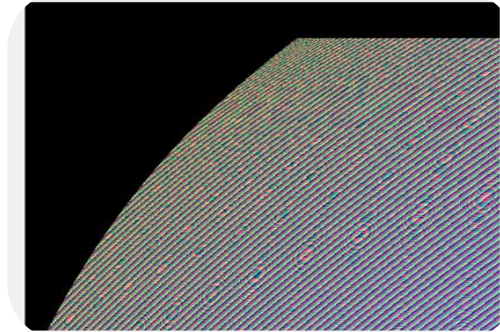


P vs h Cod V
Completo

Diagramas R22 Codificado S



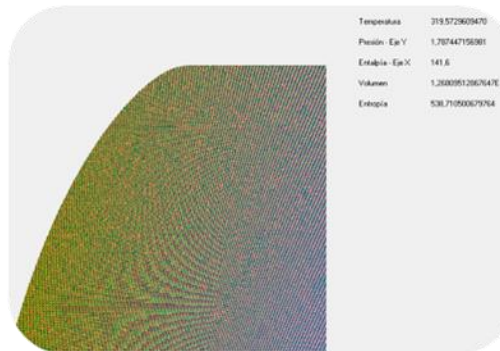
P vs h Cod S
Campana



P vs T Cod S
Sobrecalentado

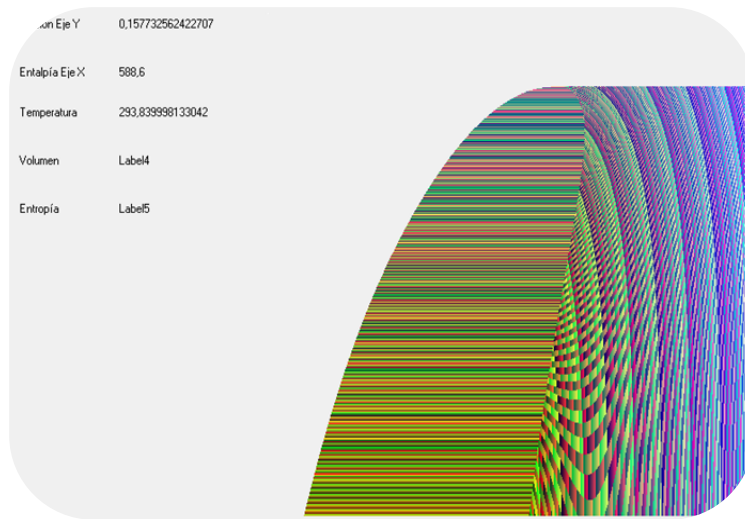


P vs h Cod S
Sobrecalen.

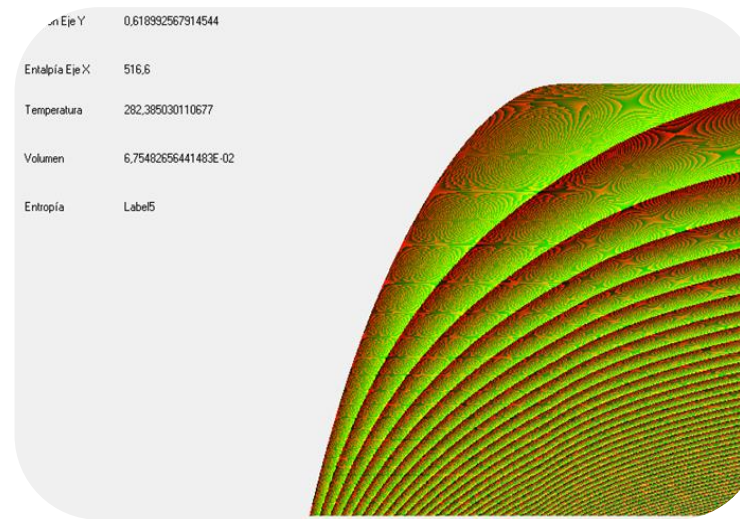


P vs h Cod S
Vapor Sobrecale.

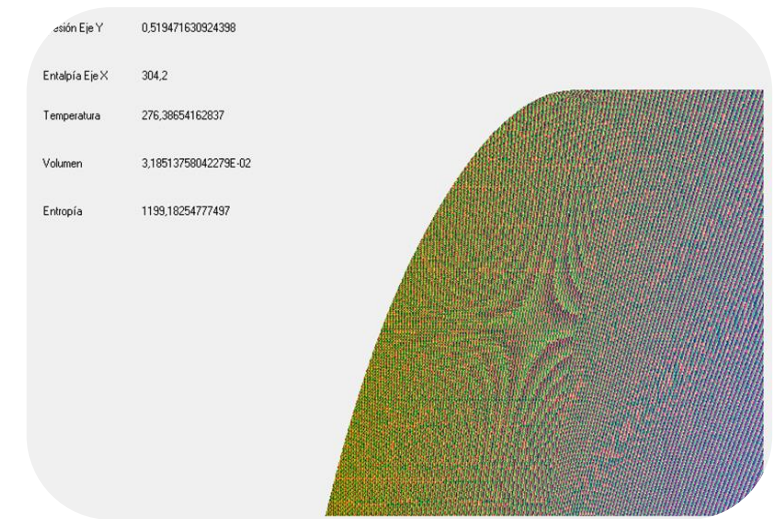
Diagramas R290 Codificado T - V - S



P vs h Cod T
Completo



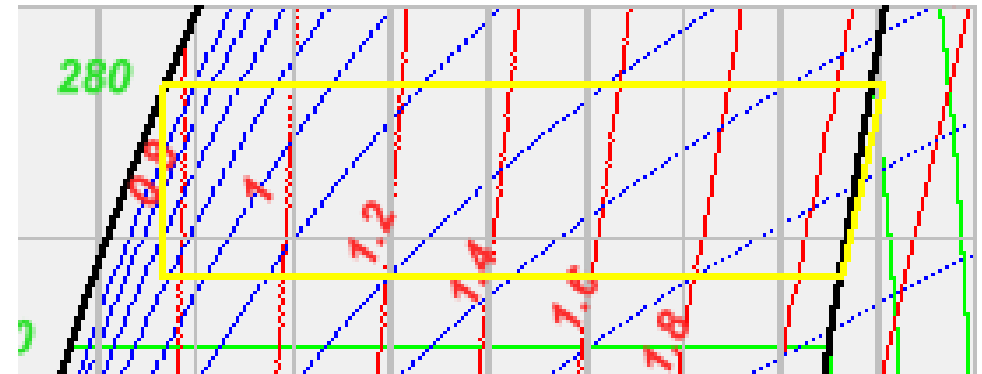
P vs h Cod V
Completo



P vs h Cod S
Completo

Ciclo de Refrigeración

- Calor absorbido: $q_{abs} = h_1 - h_4$
- Calor rechazado: $q_{rech} = h_2 - h_3$
- Trabajo del compresor: $W_{comp} = h_2 - h_1$
- Coeficiente de desempeño: $COP = \frac{q_{abs}}{W_{comp}}$



Video de Funcionamiento



The image shows a video player interface with a blue header. On the left is the logo of Universidad Internacional SEK Ecuador, featuring a circular emblem with a figure and the text 'UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK ECUADOR'. To the right of the emblem, the text 'UNIVERSIDAD INTERNACIONAL' is stacked above 'SEK' in a large, bold font. Below the header, the text 'Facultad de Ingeniería Mecánica' is centered in a bold, black font. Underneath this, 'Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico' is written in a smaller font. The main title of the project, 'Diseño de un software o aplicación didáctica para la verificación del desempeño de los refrigerantes en los sistemas de refrigeración.', is displayed in a large, bold, black font. Below the title is a user input field labeled 'Usuario' containing the letter 'I', followed by a play button icon. At the bottom left, the author's name 'Autor: René Sebastián Puebla Molina' is listed next to an orange circle icon. At the bottom right, the text 'Tutor: Edilberto Torres C.' is visible next to a blue circle icon. A watermark 'elideo.com' is overlaid on the bottom right corner of the video frame.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK ECUADOR

Facultad de Ingeniería Mecánica

Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico

Diseño de un software o aplicación didáctica para la verificación del desempeño de los refrigerantes en los sistemas de refrigeración.

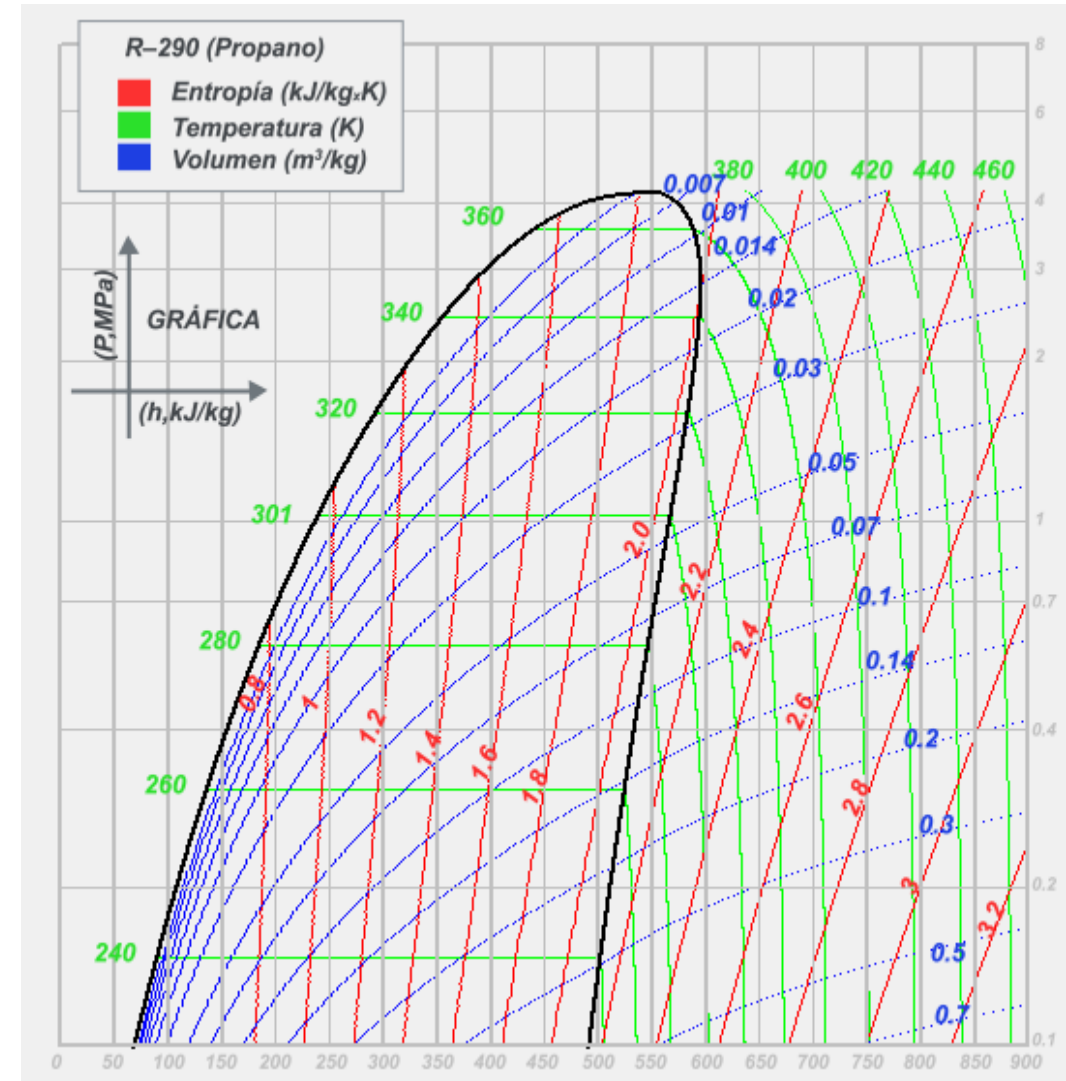
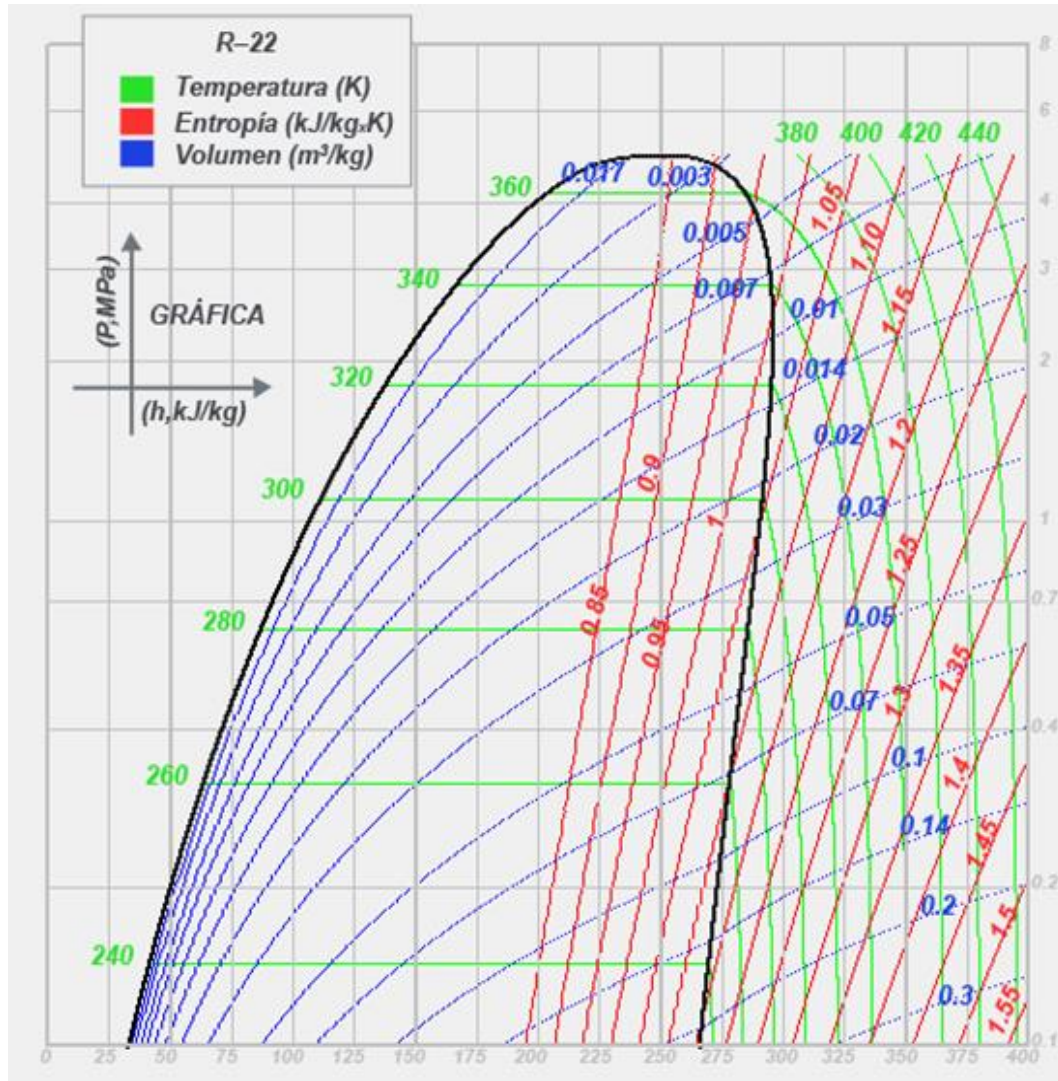
Usuario 

Autor: René Sebastián Puebla Molina

Tutor: Edilberto Torres C.

elideo.com

Resultados y Discusión



Resultados y Discusión

R22 - Presión Saturado

Temperatura K	Psat Tab. MPa	Psat Cal MPa	% Error
236	0.11	0.11	0.0
264	0.36	0.36	0.0
290	0.83	0.83	0.0
310	1.41	1.41	0.0
348	3.30	3.30	0.0
369.17	4.97	4.97	0.0

R22 - volumen específico líquido saturado y vapor saturado

Temperatura K	Vf Tab m ³ /kg	Vf Cal m ³ /kg	% Error	Vg Tab m ³ /kg	Vg Cal m ³ /kg	% Error
236	0.0007	0.0007	0	0.18	0.18	0.02
264	0.0007	0.0007	0	0.06	0.06	0.007
290	0.0008	0.0008	0	0.02	0.02	0.03
310	0.0008	0.0008	0	0.01	0.01	0.01
348	0.001	0.001	0	0.006	0.006	0
369.17	0.001	0.001	0	0.001	0.002	7.86

“Pérez Sergio (2002) Programa modular para el tratamiento de emisiones atmosféricas”

Resultados y Discusión

R22 - Entalpía líquido saturado y vapor saturado

Temperatura	hf Tab	hf Cal	% Error	hg Tab	hg Cal	% Error
K	kJ/kg	kJ/kg	%	kJ/kg	kJ/kg	%
236	36.72	36.72	0.00	268.2	268.2	0.0
264	67.68	67.67	0.002	280.18	280.17	0.001
290	98.48	98.47	0.01	289.28	289.27	0.0006
310	123.81	123.80	0.001	294.28	294.27	0.0005
348	179.42	179.41	0.002	293.65	293.64	0.0009
369.17	246.26	254.24	3.24	246.26	259.45	5.36

R22 - Entropía líquido saturado y vapor saturado

Temperatura	Sf Tab	Sf Cal	% Error	Sg Tab	Sg Cal	% Error
K	kJ/kg* K	kJ/kg*K	%	kJ/kg*K	kJ/kg*K	%
236	0,16	0,16	0,08	1,14	1,14	0,01
264	0,29	0,291	0,06	1,09	1,09	0,01
290	0,40	0,40	0,04	1,05	1,05	0,01
310	0,48	0,48	0,02	1,03	1,03	0,01
348	0,64	0,64	0,001	0,97	0,97	0,005
369,17	0,82	0,86	4,89	0,82	0,88	6,60

Resultados y Discusión

R22 – Volumen, Entalpía y Entropía de Vapor Sobrecalentado

Temperatura	Presión	V Tab.	V Cal.	% Error	h Tab.	h Cal.	% Error	S Tab.	S Cal.	% Error
K	MPa	m ³ /kg	m ³ /kg	%	kJ/kg	kJ/kg	%	kJ/kg*K	kJ/kg*K	%
250	0,02	1,19	1,19	0,03	279,07	279,06	0,002	1,36	1,36	0,01
	0,2	0,11	0,11	0,03	274,82	274,81	0,0006	1,12	1,12	0,01
300	0,02	1,43	1,43	0,008	310,17	310,16	0,0005	1,47	1,47	0,01
	0,3	0,09	0,09	0,004	306,06	306,05	0,001	1,20	1,20	0,01
380	0,4	0,08	0,08	0,006	362,65	362,64	0,001	1,34	1,34	0,01
	4	0,006	0,006	0,06	323,59	323,58	0,0009	1,04	1,04	0,01
450	0,4	0,10	0,10	0,02	417,53	417,52	0,001	1,47	1,47	0,009
	1,4	0,02	0,02	0	412,02	412,02	0,0005	1,34	1,34	0,01
	4	0,009	0,009	0,01	396,11	396,10	0,0005	1,22	1,22	0,01
520	0,4	0,12	0,12	0,02	476,31	476,30	0,0005	1,59	1,59	0,01
	1,4	0,03	0,03	0,002	472,37	472,36	0,001	1,47	1,47	0,01
	4	0,01	0,01	0,01	461,66	461,65	0,006	1,35	1,35	0,01

Resultados y Discusión

R290 - Presión Saturado			
Temperatura	Psat Tab.	Psat Cal	% Error
K	Mpa	Mpa	%
230	0.09	0.09	0.003
250	0.21	0.21	0.02
290	0.76	0.76	0.006
330	1.98	1.98	0.009
350	2.96	2.96	0.004
369.82	4.23	4.23	0.001

R290 - volumen específico líquido saturado y vapor saturado						
Temperatura	Vf Tab	Vf Cal	% Error	Vg Tab	Vg Cal	% Error
K	m ³ /kg	m ³ /kg	%	m ³ /kg	m ³ /kg	%
230	0.001	0.001	0	0.43	0.43	0.007
250	0.001	0.001	0	0.20	0.20	0.02
290	0.001	0.001	0	0.06	0.06	0.006
330	0.002	0.002	0	0.02	0.02	0.009
350	0.002	0.002	0	0.01	0.01	0.01
369.82	0.005	0.005	0	0.005	0.005	4.52

Resultados y Discusión

R290 - Entalpía líquido saturado y vapor saturado

Temperatura	hf Tab	hf Cal	% Error	hg Tab	hg Cal	% Error
K	kJ/kg	kJ/kg	%	kJ/kg	kJ/kg	%
230	66.12	66.12	0.001	491.69	491.68	0.001
250	111.98	111.97	0.004	514.8	514.79	0.001
290	209.42	209.41	0.002	557.95	557.94	0.0009
330	321.82	321.81	0.0004	591.24	591.23	0.0008
350	391.67	391.66	0.0002	596.81	596.80	0.001
369.82	539.78	550.28	1.94	539.78	556.34	3.06

R290 - Entropía líquido saturado y vapor saturado

Temperatura	Sf Tab	Sf Cal	% Error	Sg Tab	Sg Cal	% Error
K	kJ/kg*K	kJ/kg*K	%	kJ/kg*K	kJ/kg*K	%
230	0.30	0.30	0.09	2.15	2.15	0.01
250	0.49	0.49	0.04	2.10	2.10	0.01
290	0.85	0.85	0.02	2.05	2.05	0.01
330	1.20	1.20	0.01	2.02	2.02	0.008
350	1.40	1.40	0.00	1.99	1.99	0.0003
369.82	1.80	1.83	1.56	1.80	1.84	2.47

Resultados y Discusión

R290 - Volumen, Entalpía y Entropía de Vapor Sobrecalentado

Temperatura	Presión	V Tab.	V Cal.	% Error	h Tab.	h Cal.	% Error	S Tab.	S Cal.	% Error
K	MPa	m ³ /kg	m ³ /kg	%	kJ/kg	kJ/kg	%	kJ/kg*K	kJ/kg*K	%
250	0,05	0,92	0,92	0,002	523,67	523,66	0,0006	2,41	2,41	0,009
	0,2	0,22	0,22	0,02	515,7	515,69	0,001	2,12	2,12	0,01
300	0,05	1,12	1,12	0,009	603,16	603,15	0,0005	2,69	2,69	0,009
	0,7	0,07	0,07	0,001	580,2	580,19	0,001	2,14	2,14	0,01
500	0,05	1,88	1,88	0,02	1031,2	1031,19	0,0005	3,77	3,77	0,006
	4	0,02	0,02	0,009	990,91	990,90	0,0005	2,88	2,88	0,007
550	0,05	2,07	2,07	0,004	1164,24	1164,23	0,0003	4,02	4,02	0,007
	0,4	0,25	0,25	0,01	1161,55	1161,54	0,0002	3,63	3,63	0,007
	4	0,02	0,02	0,008	1132,7	1132,69	0,0007	3,15	3,15	0,007
600	0,05	2,26	2,26	0,003	1306,49	1306,48	0,0004	4,27	4,27	0,006
	0,4	0,28	0,28	0,002	1304,27	1304,26	0,0003	3,87	3,87	0,005
	4	0,02	0,02	0,007	1280,98	1280,96	0,0008	3,41	3,41	0,008

Conclusiones

- Se aplicaron herramientas como los métodos numéricos, las más usadas fueron (Lazo For y While). Las herramientas mencionadas facilitan el desarrollo de los cálculos y las obtenciones de los valores de cada de ecuación. Se identifica un error menor al 1%.
- Para realizar los gráficos del comportamiento térmico de los refrigerantes con el programa computacional realizado, se cumplió con una serie de pasos, uno de ellos fue el de separar los valores saturado y de sobrecalentado ya que de esta manera se facilita la parte gráfica de cada diagrama con su respectiva codificación, para así obtener las líneas principales que irán en la carcasa o diagrama final de cada refrigerante, esto mediante la ayuda de bucles y barridas dentro del software.

Recomendaciones

- Es importante implementar opciones que permitan utilizar otras unidades al momento de ingresar valores de temperatura o presión, ya que nuestro programa trabaja en K y MPa.
- Si se requiere aumentar información de otro tipo de refrigerante para el cálculo de las propiedades termodinámicas se debe ingresar las constantes, sus valores y sus respectivas ecuaciones ya que cada refrigerante posee distintas fórmulas, ingresando esta información se puede utilizar lo que sigue del programa para obtener sus distintos diagramas y la creación del ciclo ideal de refrigeración.



Gracias por su
atención