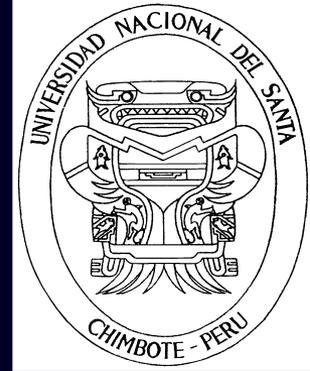


**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**INFORME DE INVESTIGACIÓN**

**PROGRAMA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES  
TERMODINAMICAS DEL AIRE ATMOSFÉRICO,  
MEDIANTE EL USO DE CALCULADORA CIENTÍFICA**

**NUEVO CHIMBOTE – PERU**

**2007**

# **INVESTIGADORES**

- **RESPONSABLE**

**Ing. Héctor Benites Villegas**

- **CORRESPONSABLES**

- **Ms. Antenor Mariños Castillo**

- **Ing. Roberth Guevara Chinchayan**

- **Ing. Julio H. N. Escate Ravello**



**CAPITULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1.1 ANTECEDENTES

- Para calcular las propiedades termodinámicas del aire húmedo (Psicrometría), se necesitan una gran cantidad de datos de propiedades termodinámicas del vapor de agua y resolver ecuaciones de índole compleja y rutinaria, que requieren de mucho tiempo de cálculo pero con una buena aproximación real.

- La carta psicrométrica proporciona un método rápido para determinar las propiedades del aire atmosférico, en forma gráfica, es menos precisa y puede conducir a errores de lectura, la cual no es conveniente para hacer investigaciones y estudios de calidad.

- Existen también programas de propiedades termodinámicas para ser ejecutados en computadoras personales, las cuales son idóneas para trabajos de estudios de gabinete.
- si embargo, actualmente en los estudios y evaluación de estos fenómenos psicrométricos se requiere una inmediata aplicación en campo para ello los estudiantes y profesionales de ingeniería cuentan con calculadoras científicas avanzadas, que además de ser portátil y de “bolsillo”, cuentan con algún tipo de lenguaje de programación y que podría usarse para programar y calcular los fenómenos psicrométricos del aire atmosférico con gran precisión y en el mínimo tiempo con respecto al uso de ecuaciones y tablas termodinámicas o con respecto al uso de las cartas psicrométricas.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

- Un programa para determinar las propiedades termodinámicas del aire atmosférico, mediante el uso de calculadora científica, mejorará la calidad del aprendizaje del estudiante; incentivándolo a realizar otros programas útiles de ingeniería, aplicadas a calculadoras científicas mas avanzadas.

## 1.3 LUGAR DONDE SE HA REALIZADO LA INVESTIGACIÓN

- Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Energía de la Universidad Nacional del Santa.

## 1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿En que medida la realización de un programa en una calculadora científica aportará mayor precisión y menor tiempo de procesamiento para el cálculo de las propiedades termodinámicas del aire atmosférico?

## 1.5 HIPOTESIS

La utilización de un programa usando una calculadora científica para determinar las propiedades termodinámicas del aire atmosférico nos dará una precisión del 99% y un tiempo menor a un minuto de procesamiento de los cálculos.

**VARIABLE INDEPENDIENTE** : Programa para el cálculo de propiedades termodinámicas en una calculadora científica.

**VARIABLE DEPENDIENTE** : Mayor precisión y menor tiempo de procesamiento de los cálculos.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 OBJETIVO GENERAL**

- **Crear un programa para determinar las propiedades Termodinámicas del aire atmosférico mediante el uso de calculadora científica.**

### **1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- **Determinar una función Presión – temperatura del vapor de agua saturado.**
- **Crear un algoritmo de cálculo para los fenómenos psicrométricos.**
- **Crear un programa fuente para el Cálculo de los fenómenos psicrométricos en una calculadora científica.**

# **CAPITULO II**

## **REVISIÓN BIBLIÓGRAFICA**

## 2.3 MARCO CONCEPTUAL

### a) EL MODELO DE DALTON Mezcla de gases ideales

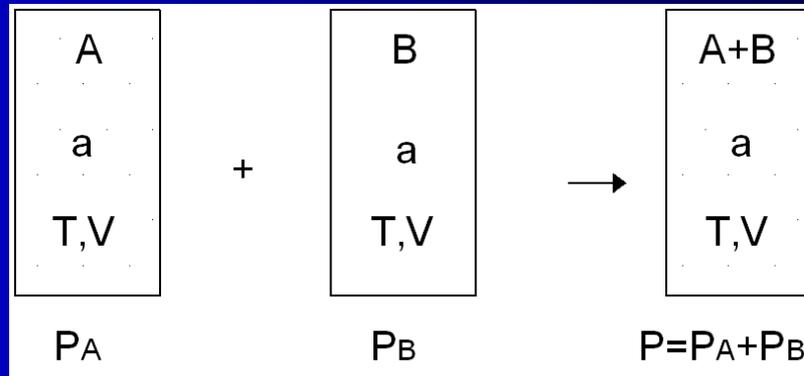
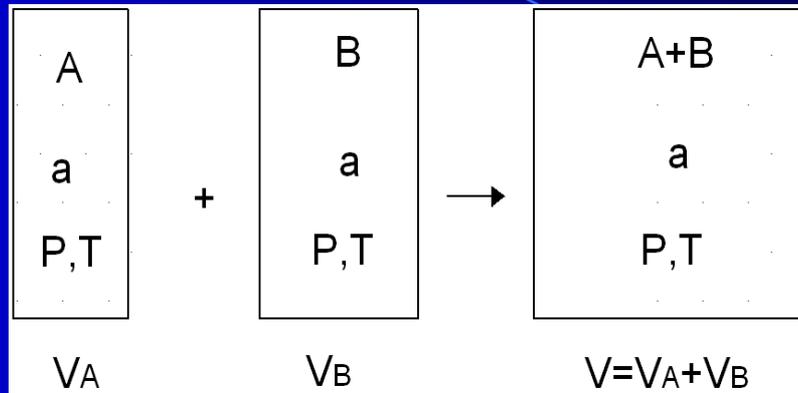


Figura 1,0 Representación esquemática de la ley de Dalton de las presiones aditivas.

$$P_i = \frac{N_i R_u T}{V}$$

## b) EL MODELO DE AMAGAT



**Figura 2,0 Representación esquemática “Ley de Amagat de los Volúmenes Aditivos”**

$$V_i = \frac{N_i R_u T}{P}$$

## 2.3.3 PROPIEDADES DE UNA MEZCLA DE UN GAS IDEAL Y UN VAPOR

### TEMPERATURA DE ROCIO

- Cuando se enfría a presión constante una mezcla de aire seco y vapor de agua desde un estado no saturado, la temperatura a la que la mezcla se vuelve saturada o a la que empieza la condensación, se llama temperatura de rocío.

## HUMEDAD RELATIVA $\phi$

- La humedad relativa de una mezcla de gases ideales se define como el cociente entre la presión parcial del vapor en una mezcla y la presión de saturación del vapor a la temperatura de bulbo seco de esa mezcla. Si  $p_v$  representa la presión real del vapor y  $p_g$  la presión de saturación a la misma temperatura.

$$\phi \equiv \frac{p_v}{p_g}$$

...(19)

# LA RELACIÓN DE HUMEDAD $\omega$

- **o humedad específica, indica la cantidad de vapor de agua contenida en una mezcla con respecto a la cantidad de aire seco presente. Se define como el cociente entre la masa de vapor de agua ( $m_v$ ) y la masa de aire seco ( $m_a$ ).**

$$\omega \equiv \frac{m_v}{m_a}$$

...(20)

$$\omega = 0,622 \frac{p_v}{p_a} = 0,622 \frac{p_v}{P - p_v} = 0,622 \frac{\phi p_g}{P - \phi p_g}$$

...(22)

# ENTALPÍA DE UNA MEZCLA GAS IDEAL Y UN VAPOR

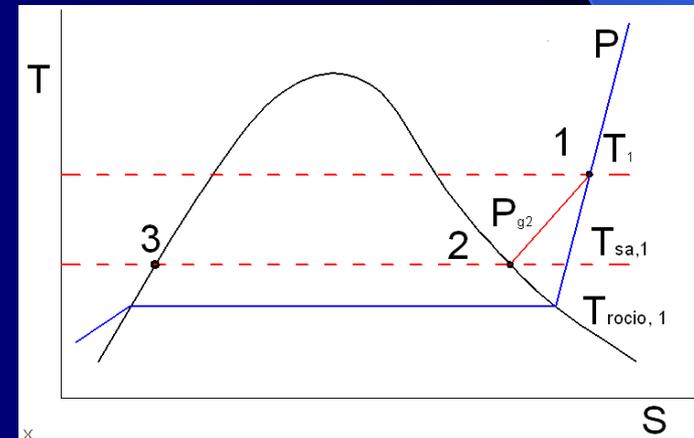
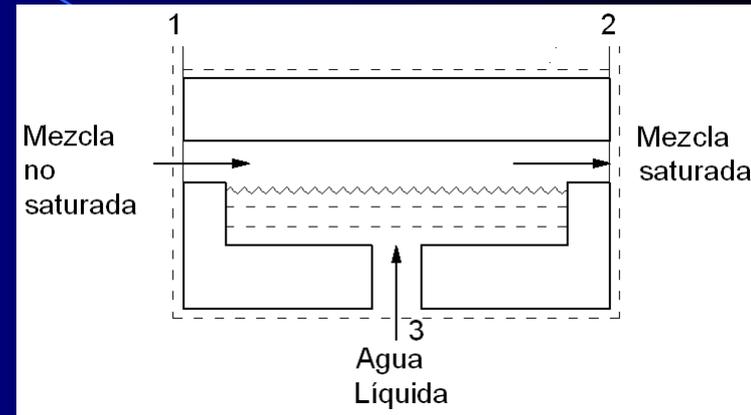
- La entalpía de una mezcla de aire seco y vapor de agua es la suma de las entalpías de cada uno de los componentes individuales. Esto es:

$$H_m = H_{\text{aire seco}} + H_{\text{vapor de agua}} \quad \dots(24)$$

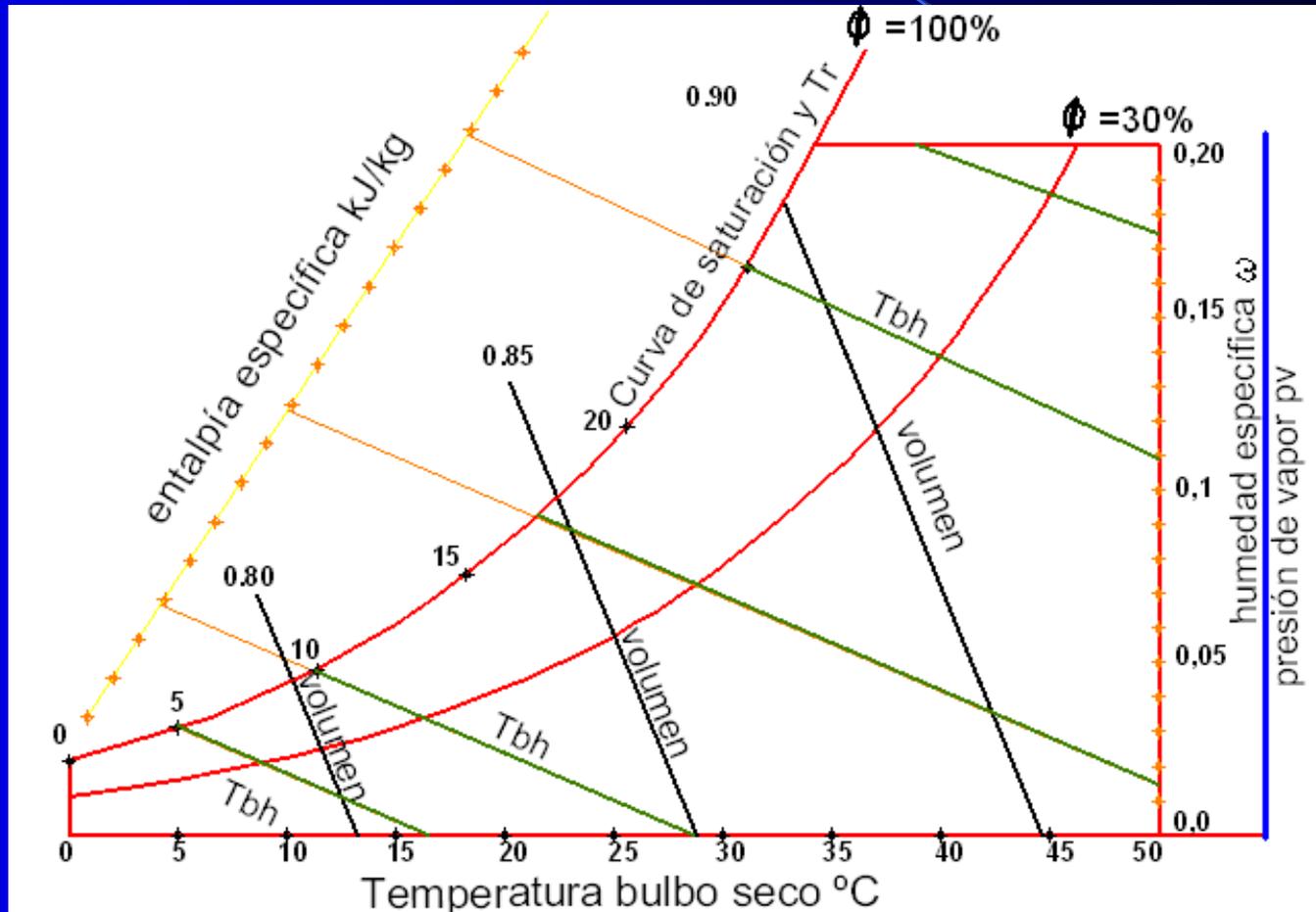
$$h_m = 1,005(T_c / ^\circ C) + \omega [2.501,7 + 1,82(T_c / ^\circ C)] \quad \dots(32)$$

# TEMPERATURA DE SATURACIÓN ADIABÁTICA

- En el proceso de saturación adiabática se pone en contacto directo una corriente de aire húmedo no saturado con la superficie del agua líquida que se encuentra en un canal.



# EL DIAGRAMA PSICROMÉTRICO



# **CAPITULO III**

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

# TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

Se utilizó un computador Pentium IV con procesador de textos, Microsoft Word, y dos calculadoras científicas más usuales como la Casio fx-6300G y HP 49G, utilizando sus lenguajes de programación.

# DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación obedeció a la comparación experimental:

Esquema de diseño de investigación.	Tiempo y precisión de cálculo
1. Uso de ecuaciones y tablas termodinámicas.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mayor tiempo de cálculo</li><li>• Muy buena aproximación</li></ul>
2. Uso de carta Psicrométrica (Modo gráfico)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Menor tiempo de cálculo.</li><li>• Regular aproximación.</li></ul>
1. Uso de calculadora programable científica	<p>¿Mucho menor tiempo de cálculo?</p> <p>¿Buena aproximación?</p>

# **CAPITULO IV**

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

# ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN DEL EJEMPLO DE APLICACIÓN 01

- Ingresar Datos:
- Temperatura de bulbo seco  
 $T$  (°C)
- Humedad relativa  
 $\Phi$  (-)
- Presión total  
 $P$  (bar)
- Calcular:
- Presión de saturación de Vapor  
 $P_g = e^{(12.1929 - 4109.1 / ((T + 273.15) - 35.50))}$
- Presión de vapor sobrecalentado  
 $P_v = \Phi P_g$
- Humedad especifica  
 $W = 0.622 P_v / (P - P_v)$
- Entalpía de la mezcla  
 $H_m = 1.005T + W(2501.7 + 1.82T)$
- Temperatura de rocío  
 $T_r = -237.6 + 4109.1 / (12.1929 - \ln P_v)$
- Volumen especifico  
 $V_m = (0.08314 / 29) \cdot (T + 273.15) / (P - P_v)$
- Imprimir Resultados:
- Humedad Especifica  
 $W$  (Kg agua/kg aire seco)
- Temperatura de rocío  
 $T_r$  (°C)
- Entalpía de la mezcla  
 $H_m$  (kJ/kg aire seco)
- Volumen especifico  
 $V_m$  (m<sup>3</sup>/kg aire seco)

# ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN

## EJEMPLO DE APLICACIÓN 02

- Ingresar datos:
- Temperatura de Bulbo Seco  
 $T1$  (°C)
- Temperatura de Bulbo Humedo  
 $T_{sa1}$  (°C)
- Presión Total  
 $P$  (bar)
- Calcular:
- Presión de saturación  
 $P_g = \text{EXP}(12.1929 - (4109.1 / ((T_{sa1} + 273.15) - 35.5)))$
- Humedad relativa estado 2  
 $\Phi_2 = 1$
- Humedad absoluta saturada  
 $W_{sat2} = 0.622 * \Phi_2 * P_g / (P - \Phi_2 * P_g)$
- Entalpía de vapor estado 2  
 $H_{v2} = 2501.7 + 1.82 * T_{sa1}$
- Entalpía agua líquida estado 2  
 $H_{f2} = 4.19 * T_{sa1}$
- Entalpía de vaporización estado 2  
 $H_{fg2} = h_{v2} - h_{f2}$
- Entalpía de vapor estado 1  
 $H_{v1} = 2501.7 + 1.82 * T_1$
- Calor específico del aire  
 $C_{pa} = 1.005$
- Humedad absoluta  
 $W_1 = (c_{pa} * (T_{sa1} - T_1) + W_{sat2} * h_{fg2}) / (h_{v1} - h_{f2})$

- **Presión de vapor estado 1**  
 $P_{v1} = (w1 * P) / (w1 + 0.622)$

- **Presión de vapor saturado 1**

$$P_{g1} = \text{EXP}(12.1929 - (4109.1 / ((T1 + 273.15) - 35.5)))$$

- **Humedad relativa**  
 $\Phi 1 = p_{v1} / P_{g1}$

- **Temperatura de rocío**  
 $Tr = -237.65 + (4109.1 / (12.1929 - \text{LN}(p_{v1})))$

- **Entalpía de la mezcla**

$$H_m = 1.005 * T1 + w1 * (2501.7 + 1.82 * T1)$$

- **Volumen específico**  
 $V_m = (0.08314 / 29) * ((T1 + 273) / (P - p_{v1}))$

- **Imprimir Resultados:**

- **Humedad Especifica**  
 $W1$  (Kg agua/kg aire seco)

- **Humedad Relativa**  
 $\Phi 1$  (Kg agua/kg aire seco)

- **Temperatura de rocío**  
 $Tr$  (°C)

- **Entalpía de la mezcla**  
 $H_m$  (kJ/kg aire seco)

- **Volumen específico**  
 $V_m$  (m<sup>3</sup>/kg aire seco)

# CÓDIGO FUENTE EJEMPLO 01

- Hoja de Programa CODIGO FUENTE CASIO fx-6300G
- Mode 2 : WRT
- Seleccionar P<sub>1</sub>
- “ T ” < ? → T :
- “ FH I ” ? → F :
- “ P ” < ? → P :
- $e(12.1929-4109.1 y (( T+273.15)-35.50) → G :$
- $FG → V :$
- $0.622Vy(P-V) → W :$
- $1.005T+W (2501.7+1.82T) → H :$
- $-237.6+4109.1y (12.1929-Ln V) → R :$
- $(0.08314y 29) (T+273.15) y (P-V) → U :$
- “ W ” < W <
- “ TR ” < R <
- “ HM ” < H <
- “ VM ” < U <

# Contenido en las memorias-ejemplo 01

## Contenido en las memorias-ejemplo 01 CASIO fx-6300G

<b>A</b>		<b>J</b>		<b>S</b>	
<b>B</b>		<b>K</b>		<b>T</b>	<b>T, Temperatura bulbo seco</b>
<b>C</b>		<b>L</b>		<b>U</b>	<b>Vm, volúmen de la mezcla</b>
<b>D</b>		<b>M</b>		<b>V</b>	<b>Pv, Presión de vapor de agua sobrecalentada</b>
<b>E</b>		<b>N</b>		<b>W</b>	<b>W, Humedad Absoluta</b>
<b>F</b>	<b>Phi Humedad Relativa</b>	<b>O</b>		<b>X</b>	
<b>G</b>	<b>Pg, Presión de Saturación de vapor de agua</b>	<b>P</b>	<b>P, Presión total</b>	<b>Y</b>	
<b>H</b>	<b>H, Entalpía de la Mezcla</b>	<b>Q</b>		<b>Z</b>	
<b>I</b>		<b>R</b>	<b>Tr, Temperatura de rocío</b>		

# Hoja de Programa: CÓDIGO FUENTE HP 49G – Ejemplo 01

## Uso de hp user edit 4.0 / User-RPL

- «
- "BS-HR"
- {
- { "T" "Temp. Bulbo Seco (°C)" 0 }
- { "Ø" "Humedad Relativa" 0 }
- { "P" "Presion Total" 0 }
- }
- 1
- { }
- { 25 50 1 }
- INFORM
- DROP
- OBJ→
- DROP
- 'P' STO
- 100 / 'Phi' STO
- 'T' STO
- 'EXP(12.1929 - (4109.1 / ((T + 273.15) - 35.5)))' EVAL 'Pg' STO
- '0.622\*((Phi\*Pg)/(P-Phi\*Pg))' EVAL 'W' STO
- 'Phi\*Pg' EVAL 'Pv' STO
- '-237.65 + (4109.1 / (12.1929 - LN(Pv)))' EVAL 'Tr' STO
- '1.005\*T+W\*(2501.7+1.82\*T)' EVAL 'hm' STO
- '(0.08314/29)\*((T+273.15)/(P-Pv))' EVAL 'V' STO
- W 6 RND "W(KgAg/KgAs)" →TAG
- Tr 2 RND "Tr(C)" →TAG
- hm 2 RND "hm(KJ/KAs)" →TAG
- V 3 RND "V(m3/KAs)" →TAG
- { P Phi T Pg W Pv Tr hm V }
- PURGE
- »

## 4.4.2 Hoja de Programa: Código fuente CÓDIGO FUENTE HP 49G\_ Uso de hpuser edit 4.0/ User RPL, ejemplo de aplicación 02

```
• «
• "BS-BH"
• {
• { "T1 " "Temp. Bulbo Seco (°C)" 0 }
• { "Tsa1" "Temp. Bulbo Humedo (°C)" 0 }
• { "P " "Presion Total (bar)" 0 }
• }
• 1
• {}
• { 24 16 1 }
• INFORM
• DROP
• OBJ→
• DROP
• 'P' STO
• 'Tsa1' STO
• 'T1' STO
• 'EXP(12.1929 - (4109.1 / ((Tsa1+273.15)-35.5)))' EVAL 'Pg2' STO
• 1 'Phi2' STO
• '0.622*Phi2*Pg2/(P-Phi2*Pg2)' EVAL 'Wsat2' STO
• '2501.7+1.82*Tsa1' EVAL 'hv2' STO
• '4.19*Tsa1' EVAL 'hf2' STO
• 'hv2-hf2' EVAL 'hfg2' STO
• '2501.7+1.82*T1' EVAL 'hv1' STO
• 1.005 'cpa' STO
• '(cpa*(Tsa1-T1)+Wsat2*hfg2) / (hv1-hf2)' EVAL 'w1' STO
• '(w1*P)/(w1+0.622)' EVAL 'pv1' STO
• 'EXP(12.1929 - (4109.1 / ((T1+273.15)-35.5)))' EVAL 'Pg1' STO
• 'pv1/Pg1' EVAL 'Phi1' STO
• '-237.65 + (4109.1 / (12.1929 - LN(pv1)))' EVAL 'Tr' STO
• '1.005*T1+w1*(2501.7+1.82*T1)' EVAL 'hm' STO
• '(0.08314/29)*((T1+273)/(P-pv1))' EVAL 'V' STO
```

## RESULTADOS

### RESULTADOS DE EJEMPLO DE APLICACIÓN 01

- Cuadro 01: Resultados de propiedades termodinámicas de ejemplo de aplicación 01

<b>Propiedades termodinámicas del aire atmosférico</b>	<b>Uso Ecuaciones y tablas termodinámicas</b>	<b>Uso de Carta Psicrométrica</b>	<b>Uso Programa casio fx-6300G</b>	<b>Uso Programa HP 49G</b>
<b>W(kg ag/kg a.s)</b>	<b>0.01005</b>	<b>0.0100</b>	<b>0.010013</b>	<b>0.01001</b>
<b>Tr(°C)</b>	<b>13.87</b>	<b>14</b>	<b>13.86</b>	<b>13.86</b>
<b>hm(KJ/Kg a.s)</b>	<b>50.72</b>	<b>50.5</b>	<b>50.63</b>	<b>50.63</b>
<b>Vm(m<sup>3</sup>/kg a.s)</b>	<b>0.868</b>	<b>0.857</b>	<b>0.8685</b>	<b>0.868</b>

## **Cuadro 02: Error en la precisión respecto al uso de ecuaciones y tablas de ejemplo de aplicación 01**

<b>Propiedades termodinámicas del aire atmosférico</b>	<b>Uso de Carta Psicrométrica %</b>	<b>Programa Casiofx-6300G %</b>	<b>Programa HP 49G %</b>
<b>W (kg ag/kg a.s)</b>	<b>0,50</b>	<b>0,37</b>	<b>0,40</b>
<b>Tr (°C)</b>	<b>-0,94</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>
<b>hm (KJ/Kg a.s)</b>	<b>0,43</b>	<b>0,18</b>	<b>0,18</b>
<b>Vm (m<sup>3</sup>/kg a.s)</b>	<b>1,27</b>	<b>-0,06</b>	<b>0,00</b>
<b>Error Promedio</b>	<b>0,79</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>

## Cuadro 03: Tiempo de ejecución de ejemplo de aplicación 01

Tiempo	Uso de Ecuaciones y tablas Termod.	Uso de Carta Psicrométrica	Programa Casio fx-6300G	Programa HP 49G
Minutos	15	6	0.42	0.40

# RESULTADOS DE EJEMPLO DE APLICACIÓN 02

Cuadro 04: Resultados de propiedades termodinámicas de ejemplo de aplicación 02

Propiedades Termodinámica del aire atmosférico	Uso Ecuaciones y Tablas termodinámicas	Uso de Carta Psicrométrica	Uso Program Casio fx-6300G	Uso Programa HP 49G
W(kg ag/kg a.s)	0,0082	0,008	0,00821	0,00821
Tr(°C)	10,86	10,5	10,88	10,88
Φ (%)	43,6	43,0	43,65	43,65
hm(KJ/Kg a.s)	44,99	44,5	45,02	45,02
Vm(m <sup>3</sup> /kg a.s)	0,8626	0,851	0,8631	0,863

## Cuadro 05: Error en la precisión respecto al uso de ecuaciones y tablas de ejemplo de aplicación 02

Propiedades termodinámicas del aire atmosférico	Uso de Carta Psicrométrica (%)	Programa Casio fx6300 G (%)	Programa HP 49G (%)
W(kg ag/kg a.s)	2,44	-0,12	-0,12
Tr(°C)	3,31	-0,18	-0,18
$\Phi$ (%)	1,38	-0,11	-0,11
hm(KJ/Kg a.s)	1,09	-0,07	-0,07
Vm(m <sup>3</sup> /kg a.s)	1,34	-0,06	-0,05
<b>Error Promedio</b>	<b>1.91</b>	<b>0.11</b>	<b>0.11</b>

## Cuadro 06: Tiempo de ejecución de ejemplo de aplicación 02

Tiempo	Uso Ecuaciones Y tablas termodinámicas	Uso de Carta Psicrométrica	Programa Casio fx-6300G	Programa HP 49G
<b>Minutos</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>0.42</b>	<b>0.40</b>

## RESULTADOS COMBINADOS EJEMPLOS DE APLICACIÓN 01 Y 02

## Cuadro 07: Precisión y Tiempo de ejecución promedio de los ejemplos 01 y 02

Resultados	Uso Ec. Y tablas Termod.	Uso de Carta Psicrométrica	Programa Casio fx-6300 G	Programa HP 49G
Tiempo prom (min)	17.5	7	0.42	0.40
Precisión prom (%)	100.00	98.65	99.86	99.86

**CAPITULO V**

**CONCLUSIONES**

- 1.- Se creó 02 códigos fuente para una calculadora científica programable Casio fx-6300G y otros 02 códigos fuente para una calculadora científica HP 49G, para determinar las propiedades Termodinámicas del aire atmosférico y se ejecutó en los ejemplos de aplicación 01 y el ejemplo de aplicación 02.
- 2.- El programa de la calculadora científica HP 49G y el programa de la calculadora Casio fx-6300G tienen mayor precisión en el cálculo de las propiedades termodinámicas del aire, con 99,83% para el ejemplo 01 y 99,89% de precisión para el ejemplo de aplicación 02.
- 3.- El programa de la calculadora científica HP 49G y el programa de la calculadora Casio fx-6300G, emplean 0.40 y 0.42 minutos o sea un tiempo menor a 30 segundos para ambos ejemplos de aplicación.
- 4.- El programa de cálculo para determinar las propiedades del aire atmosférico para calculadoras científicas Casio fx-6300G y HP 49G nos da una precisión en promedio del 99.86 % y en tiempo menor a 30 segundos en el procesamiento de los cálculos, lo cual es una gran ventaja en ingeniería.

# **CAPITULO VI**

# **RECOMENDACIONES**

- 1.- Para cualquier problema de Ingeniería, se debe realizar programas individuales o códigos fuente, según las características de cada ejemplo de aplicación.
- 2.- Verificar las memorias de las calculadoras para hacer un programa de cálculo; las calculadoras Casio fx 6300G tienen 400 bytes de memoria remanente (400 pasos) y 26 memorias alfabéticas.
- 3.- Solo se pueden realizar pequeños programas debido a la limitación que presentan las calculadoras Casio fx-6300G porque admiten solamente realizar 09 subprogramas.
- 4.- En las calculadoras HP 49G se pueden realizar programas grandes y complejos; cuentan con 512 KB y 1 MB de memoria flash. Y utiliza una combinación del modo algebraico y del método de notación polaca inversa (RPN- reverse polish notation).
- 5.- En general, Para solucionar problemas de ingeniería, se puede programar, también en otras calculadoras científicas que cuenten con un lenguaje de programación y capacidad de memoria requerida.
- 6.- Se recomienda el uso de calculadoras científicas programables, en soluciones de problemas de ingeniería porque nos ahorran tiempo y tienen menos error de precisión en los cálculos.

The background is a dark blue gradient. A thin, light blue curved line starts from the top left and arcs towards the right. On the right side, there is a blue shape that looks like a quarter of a circle or a similar curved form, extending from the top right towards the bottom right.

Gracias