Uso de EES para la solución de problemas de ingeniería

Objetivo:

1. Dar al estudiante una idea general acerca de como pueden utilizar el programa EES para la resolución de problemas de ingeniería.



¿Qué es EES (Engineering Equation Solver)?

EES es una herramienta computacional que permite al usuario la resolución de conjuntos de ecuaciones algebraicas y demás sistemas de ecuaciones simultaneas (lineales o no) de forma numérica.

Para comenzar EES, solo requiere hacer doble clic en el icono del programa.

Power Point elaborado por Arturo Arosemena



Los comandos de EES están distribuidos en 10 menús desplegables. A continuación se dará una breve descripción de sus funciones.

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

1. El menú del sistema (System menu). Es accesible al apretar el icono de EES arriba del menú de archivos. El menú del sistema no es parte del EES, sino más bien del sistema operativo. Permite cambiar mover la ventana, cambiar su tamaño y cambiar a otras aplicaciones.

2. El menú de archivos (*File menu***).** Proporciona los comandos para abrir, imprimir y salvar archivos. Esto último solo lo permite la versión académica y no la de demostración (DEMO).



3. El menú de edición (*Edit menu***).** Proporciona los comandos de edición para hacer, deshacer, y para cortar, copiar o pegar información. Este menú solo está disponible en la versión académica y no en la de demostración (DEMO).

4. El menú de búsqueda (Search menu). Contiene los comandos *Find* y *Replace* que pueden ser empleados en la ventana de ecuaciones (*Equations windows*). Este menú solo está disponible en la versión académica y no en la de demostración (DEMO).

5. El menú de opciones (*Options menu***).** Proporciona los comandos para establecer los valores supuestos (*guess values*) y los limites (*bounds*) para las variables. De igual forma permite establecer el sistema de unidades, muestra información de algunas funciones integradas en EES y permite acceder a las preferencias del programa que han sido establecidas por *default*.

File	Edit	Search	Options	Calculate	Tables
	Undo				Ctrl+Z
	Redo			Shift+	Ctrl+Z
	Cut				Ctrl+X
	Сору				Ctrl+C
	Сору	Table wit	h Headers	(Ctrl+H
	Paste				Ctrl+V
	Delete	2			
	Select	All			Ctrl+A
	Array	Editor		Ctrl+	Alt+A

EES					
EES	File	Edit	Search	Opt	
	Find		Ctrl+F		
	Rep	lace	Ctrl+R		
	Next		F12		

EE.S	File	Edit	Search	Options	Calculate	Tał			
	Vari	able In	fo		F9				
	Fun	ction l	nfo		Ctrl+Alt+F				
	Unit	Conv	ersion Inf	0					
	Con	stants							
	Unit	t Syster	m		Ctrl+Alt+U	I.			
	Stop	o Crite	ria		Ctrl+Alt+S	5			
	Defa	ault Inf	o						
	Sho	w Diag	Iram Tool	Bar	Shift+Ctrl+D)			
	Pref	erence	is i						
	Purg	ge Unu	ised Varia	bles					

6. El menú de cálculo (*Calculate menu***).** Contiene los comandos para comprobar, dar formato y resolver el set de ecuaciones. También tiene un comando para comprobar las unidades de las ecuaciones.

7. El menú de las tablas (*Table menu*). Contiene los comandos para configurar y alterar el contenido de *Parametric and Lookup Tables*. Las *Paramtric Tables*, son similares a una hoja de cálculo y permiten que un conjunto de ecuaciones sean resueltas repetitivamente al ir variando el valor de una o más variables dentro del sistema. Las *Lookup Tables* contienen data proporcionada por el usuario que puede ser interpolada y usada posteriormente.



t	S	earch	Options	Calculate	Tables				
		New Parametric Table							
		Alter	Values						
		Retrieve Parametic Table							
		Store	Parametrio	: Table					
		Insert	/Delete Ru	ns					
		Insert/Delete Vars							
		Delete Parametric Table							
		New Lookup Table							
		Open Lookup Table							
		Insert/Delete Lookup Rows							
		Insert/Delete Lookup Cols							
		Delete Lookup Table							
		Save	Table						
		Linea	r Regressio	n					

8. El menú de gráficos (*Plot menu*). Proporciona comandos para preparar un nuevo gráfico de data existente en las *Parametric o Lookup Tables*; o bien modificar un gráfico existente. Presenta también la capacidad de ajustar curvas (*Curve fitting*) y permite graficar diagramas termodinámicos, como el de temperatura vs entropía por ejemplo, para una gama de sustancias por medio del comando *Property Plot*.

9. El menú de ventanas (*Windows menu***).** Facilita el acceso rápido a cualquiera de las ventanas existentes en EES (ventana de ecuaciones, de diagrama o de soluciones, por ejemplo).

ch	Options	Calculate	Tables	Plots	
	New Plo	ot Window		Þ	
	Overlay	Plot			
	Modify	Plot			
	Modify Axes				
	Show To	Ctr	·l+T		
	Delete P	lot Window			
	Property	/ Plot			
	Curve F	it			

ptio	ons	Calculate	Tables	Plots Window		
	Equ	ations			Ctrl+E	
	For	matted Equa	ations		F10	
	Solu	ution		Ctrl+U		
	Arra	ays			Ctrl+Y	
	Res	iduals			F11	
	Para	ametric Tab	les		Ctrl+1	
	Integral Tables Ctrl+1				Ctrl+1	
	Plot	t Windows		Ctrl+Alt+1		
	Lookup Tables Shift+				+Ctrl+1	
	Dia	gram Windo	w		Ctrl+D	
	Rep	ort Window	1	Shift	+Ctrl+R	
	Ma	cro Window		Ctrl+M		
	Deb	oug Window	1		Ctrl+B	
	Wa	rnings			Ctrl+W	
	Tile	1		Ctr	l+Alt+T	
	Cas	cade		Ctr	I+Alt+C	
	Cal	culator		Shift	+Ctrl+C	

10. El menú de ayuda (*Help menu***).** Permite el acceso a documentos de ayuda acerca de EES. También puede acceder al *Help Index* apretando F1. Para obtener ayuda adicional acerca de cómo usar el programa, puede emplear el manual de usuario proporcionado.

11. El menú de ejemplos (*Examples menu*). Permite el acceso a algunos ejemplos de problemas de ingeniera resueltos por medio de EES.



Ca	lculate	Tables	Plots	Windows	Help	Examples	
	Getting	started v	vith EES				
	Animat	tion					
	Arrays						
	Comple	ex numbe	ers				
	Conver	gence lss	ues, Gu	ess Values a	nd Limi	ts	
	Curve-	fitting an	d regres	sion			
	Diagrar	m Windov	N				
	Differer	ntial equa	tions				
	Directives						
	Duplicate command						
	Formatted equations and special symbols						
	Functio	ons, user-	written				
	Heat Ex	changer	Library				
	Integra	tion					
	Lookup	Table an	d Interp	olate functi	on		
	Minimi	ze or max	imize				

Observaciones a tomar en cuenta a la hora de emplear la ventana de ecuaciones

Algunas observaciones importantes con respecto a cómo se ingresan las ecuaciones en la ventana de ecuaciones:

- ✓ EES funciona de forma similar a cualquier procesador de palabras.
- ✓ EES no hace distinción entre letras mayúsculas y minúsculas.
- ✓ Líneas en blanco y espacios puede ser ingresados sí así se desea en vista de que EES los ignorará.
- Pueden ingresarse comentarios en la ventana de ecuaciones. Los comentarios deben estar encerrados por medio de corchetes { } o entre comillas " ". Los comentarios entre comillas también serán desplegados en la ventana de formato de ecuaciones (*Formatted Equations window*).
- ✓ Nombres de variables deben comenzar con una letra y pueden consistir de cualquier carácter con excepción de () ' | * / + ^ { }: "; . La longitud máxima que puede tener el nombre de una variables es de 30 caracteres.
- ✓ Múltiples ecuaciones pueden ser ingresadas en una solo línea si son separadas por un punto y coma ;
- ✓ El símbolo ^ o el ** son usados para indicar una potencia.
- \checkmark El orden en que son ingresadas las ecuaciones no es relevante.
- ✓ La posición de variables conocidas y desconocidas en una ecuación no es importante.
- ✓ Nombres de símbolos griegos son remplazados por el símbolo correspondiente en la ventana de formato de ecuaciones y en la ventana de soluciones.
- ✓ _ Es empleado para subíndices.
- ✓ _dot es empleado para colocar un punto encima de la variable (\dot{m} , por ejemplo).
- \checkmark | es empleado para indicar superíndices.
- ✓ |star es empleado para colocar como superíndice un asterisco (A^* , por ejemplo).
- ✓ La unidades se colocan en medio de corchetes después del valor de la variable (A= 4[N] por ejemplo).
- ✓ El comando para convertir unidades tiene el siguiente formato: convert (unidad original, unidad deseada).

A continuación se presenta un problema de termodinámica presente en el manual de usuario.

Refrigerante R-134a entra a una válvula a 700 kPa, 50°C y a una velocidad de 15 m/s. A la salida de la válvula, la presión es de 300 kPa. Tanto el área de entrada como el área de salida es de 0.0110 m². Determine la presión, el flujo másicos y la velocidad a la salida de la válvula.



Suposiciones: Estado estable, flujo estable, energía potencial despreciable, proceso adiabático, sin dispositivos de transferencia o extracción de potencia. Las dos ecuaciones fundamentales requeridas son las de conservación de masa y de energía. Adicionalmente se requiere de las ecuaciones termodinámicas de estado, ya integradas en el programa.

1. Especificar el sistema de unidades (Option menu, Unit System).

	Preferences	
Unit System	Specific Properties	B Load
⊙ SI	Mass (kg)	E LOGO
C English	Molar (kmol)	ENL CL
		EA Store
Temperature Units	Pressure Units	
Celsius	⊖ Pa ⊖ bar	
C Kelvin	🖲 kPa 🔿 MPa	
Energy Units	Trig Functions	
O J	Degrees	Y Canon
⊙ kJ	C Badians	

2. Escribir las ecuaciones en la ventana de ecuaciones (Windows menu, Equations).



Sí desea también puede ver esta información en la ventana de formato de ecuaciones (*Windows menu, Formatted Equations*).

Er.	EEC Domono	tration Vargion	[Formatted Equational
	EES Demons	stration version:	- [Formatted Equations]
📧 File Edit Search Options Calculate I	ables Plots Wind	iows Help Exam	
Problema de ejemplo			
Variables conocidas			
$T_1 = 50 [C]$			
P ₁ = 700 [kPa]			
Vel ₁ = 15 [m/s]			
P ₂ = 300 [kPa]			
A ₁ = 0.011 [m ²]			
Ecuaciones fundamentales			
$\dot{m}_1 = Vel_1 \cdot \frac{A_1}{v_1}$			
$\dot{m}_1 = Vel_2 \cdot \frac{A_1}{v_2}$			
$h_1 + \frac{Vel_1^2}{2} \cdot \left 0.001 \cdot \frac{kJ/kg}{m^2/s^2} \right = h_2 +$	$\frac{\operatorname{Vel_2}^2}{2} \cdot 0.001$	kJ/kg m²/s²	
Ecuaciones termodinámicas			
$h_1 = h (R134a, T=T_1, P=P_1)$			
$v_1 = v (R134a, T=T_1, P=P_1)$			
$h_2 = h (R134a, T=T_2, P=P_2)$			
$v_2 = v (R134a, T=T_2, P=P_2)$			

3. Asignar unidades al resto de las variables no conocidas (Option menu, Variables Info).

EES		Var	iable Informa	itio	n				? ×
Show array variables Show string variables Variable	Guess 🔻	Lower	Upper	Dia	spl	ay	Units 💌	Кеу	Comment
A_1	0.011	-infinity	infinity	Α	3	Ν	m^2		
h_1	288.5	-infinity	infinity	Α	0	Ν	kJ/kg		
h_2	1	-infinity	infinity	Α	0	Ν	kJ/kg		
m_dot_1	4.952	-infinity	infinity	Α	3	Ν	m^3/s		
P_1	700	-infinity	infinity	Α	0	Ν	kPa		
P_2	300	-infinity	infinity	Α	0	Ν	kPa		
T_1	50	-infinity	infinity	Α	1	Ν	С		
T_2	1	-infinity	infinity	Α	1	Ν	С		
Vel_1	15	-infinity	infinity	Α	3	Ν	m/s		
Vel_2	1	-infinity	infinity	Α	3	Ν	m/s		
v_1	0.03332	-infinity	infinity	Α	3	Ν	m^3/kg		
v_2	1	-infinity	infinity	Α	3	Ν	m^3/kg		
🗸 ОК	The second secon		🖺 Print				Update		X Cancel

4. Ir al menú de cálculo y hacer click a resolver (Calculate menu, Solve).

6	File Edit Search Options	Calculate
	Check/Format	Ctrl+K
	Solve	F2
	Solve Table	F3
	Min/Max	F4
	Min/Max Table	F5
	Uncertainty Propagation	F6
	Uncertainty Propagation Table	F7
	Check Units	F8
	Update Guesses	Ctrl+G
	Reset Guesses	
	Reset Limits	

5. Una vez resuelto el sistema de ecuaciones, le saldrá una ventana indicándole que han finalizado los cálculos, debe hacer click en continuar.

Calculations Completed
12 equations in 2 blocks
Elapsed time = .2 sec Maximum residual = -1.6732E-11 Maximum variable change = 1.1066E-04 <u></u> Continue

6. Comprobar en la ventana de residuos (*Windows menu, Residual*) que el máximo residuo (el mayor entre el *Relative residual* y el *Absolute residual*) es menor que el criterio para detener las iteraciones realizadas por EES (*Options menu, Stop Criteria*). Para mayor información vea la guía se usuario.

There are a total of 12 equations in the Main program.							
Block	Rel. Res.	Abs. Res.	Units	Calls	Time(ms)	Equations	
0	0.000E+00	0.000E+00	ОК	1	0	T_1=50[C]	
0	0.000E+00	0.000E+00	ОК	1	0	P_1=700[kPa]	
0	0.000E+00	0.000E+00	ОК	1	0	Vel_1=15[m/s]	
0	0.000E+00	0.000E+00	ОК	1	0	P_2=300[kPa]	
0	0.000E+00	0.000E+00	ОК	1	0	A_1=0.0110[m^2]	
0	0.000E+00	0.000E+00	ОК	4	0	h_1=Enthalpy(R134a,T=T_1,P=P_1)	
0	0.000E+00	0.000E+00	ОК	4	16	v_1=Volume(R134a,T=T_1,P=P_1)	
0	0.000E+00	0.000E+00	?	4	0	m_dot_1=Vel_1*A_1/v_1	
1	3.379E-12	-1.673E-11	?	19	0	m_dot_1= Vel_2* A_1/ v_2	
1	4.893E-14	1.412E-11	ОК	19	0	h_1+(Vel_1)^2/2*convert(m^2/s^2,kJ/kq)= h_2+(Vel_2)^2/2*convert(m^2/s^2,kJ/kq)	
1	5.438E-14	-1.566E-11	ОК	19	16	h_2=Enthalpy(R134a,T=T_2,P=P_2)	
1	1.008E-13	8.197E-15	OK	19	0	v_2=Volume(R134a,T=T_2,P=P_2)	

Preferences	? ×
Stop Criteria Parameters]
No. of Iterations > 250	🖹 Load
Relative Residuals < 1.0000E-06	Store
Change in Variables < 1.0000E-09	
Elapsed Time (sec) > 3600	V OK
	🗙 Cancel

Variables shown in bold font are determined by the equation(s) in each block.

7. Observar las soluciones en la ventana de soluciones (Windows menu, Solution).

EEs	Solution	_ • •					
Main							
Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg							
A ₁ = 0.011 [m ²]	h ₁ = 288.5 [kJ/kg]	h ₂ = 288 [kJ/kg]					
m ₁ = 4.952 [m ³ /s]	P ₁ = 700 [kPa]	P ₂ = 300 [kPa]					
T ₁ =50 [C]	T ₂ = 42.12 [C]	Vel ₁ = 15 [m/s]					
Vel ₂ = 36.59 [m/s]	v ₁ = 0.03332 [m ³ /kg]	v ₂ = 0.08129 [m ³ /kg]					