Apéndice A. Código del modelo termodinámico en EES (ecuaciones, tablas paramétricas y diagramas). El código implementado en EES (R-134a, calibrado con el catálogo BITZER) se reproduce a continuación.

```
"============================================================"
"  MODELO TERMODINAMICO - MAQUINA DE HIELO CON ENERGIA SOLAR"
"  Refrigerante: R-134a"
"  Compresor comercial: BITZER 2EES-2Y-40S (semihermetico de piston)"
"  Andres Ricardo Mantilla Vargas - UIS - Ingenieria Mecanica"
"============================================================"


"------------------------------------------------------------"
"1. DATOS DE ENTRADA - CARGA TERMICA DE PRODUCCION DE HIELO"
"------------------------------------------------------------"
m_hielo_dia = 350            "Produccion de hielo por dia (kg)"
T_agua = 28                  "Temperatura del agua de entrada (C)"
T_hielo = -5                 "Temperatura final del hielo (C)"
cp_agua = 4,18               "Calor especifico del agua (kJ/kg-K)"
cp_hielo = 2,09              "Calor especifico del hielo (kJ/kg-K)"
h_sf = 334                   "Calor latente de fusion (kJ/kg)"
f_perdidas = 0,10            "Factor de perdidas y seguridad"

q1 = cp_agua*(T_agua - 0)                       "Calor sensible del agua"
q2 = h_sf                                       "Calor latente de solidificacion"
q3 = cp_hielo*(0 - T_hielo)                     "Subenfriamiento del hielo"
q_hielo = q1 + q2 + q3                          "Carga por kg de hielo (kJ/kg)"
Q_dia = q_hielo*m_hielo_dia*(1 + f_perdidas)    "Carga termica diaria (kJ/dia)"
Q_dia_kWh = Q_dia/3600                          "Carga termica diaria (kWh/dia)"

"------------------------------------------------------------"
"2. CONDICIONES DE OPERACION"
"    La temperatura de condensacion depende del ambiente:"
"    T_cond = T_amb + DELTAT_cond   (condensador por aire)"
"------------------------------------------------------------"
T_evap = -10                 "Temperatura de evaporacion (C)"
T_amb = 35                   "Temperatura ambiente de diseno - Barrancabermeja (C)"
DELTAT_cond = 10             "Diferencia del condensador enfriado por aire (C)"
```

```
T_cond = T_amb + DELTAT_cond "Temperatura de condensacion (C)"
SH = 5                       "Sobrecalentamiento en el evaporador (C)"
SC = 5                       "Subenfriamiento en el condensador (C)"

P_evap = Pressure(R134a; T=T_evap; x=1)
P_cond = Pressure(R134a; T=T_cond; x=1)
r_p = P_cond/P_evap          "Relacion de compresion"

"------------------------------------------------------------"
"3. ESTADOS DEL CICLO IDEAL"
"------------------------------------------------------------"
"Estado 1: salida del evaporador (vapor sobrecalentado)"
T[1] = T_evap + SH
h[1] = Enthalpy(R134a; T=T[1]; P=P_evap)
s[1] = Entropy(R134a; T=T[1]; P=P_evap)

"Estado 2s: descarga isentropica (ideal)"
h_2s = Enthalpy(R134a; P=P_cond; s=s[1])

"Estado 3: salida del condensador (liquido subenfriado)"
T[3] = T_cond - SC
h[3] = Enthalpy(R134a; T=T[3]; P=P_cond)

"Estado 4: salida de la valvula (isentalpico)"
h[4] = h[3]

"------------------------------------------------------------"
"4. DESEMPENO DEL COMPRESOR COMERCIAL"
"    Datos de la ficha tecnica BITZER 2EES-2Y-40S a -10/45 C"
"    (obtenidos con el software de seleccion del fabricante)"
"------------------------------------------------------------"
Q_evap = 4,03                "Capacidad frigorifica de catalogo (kW)"
W_comp = 1,68                "Potencia electrica absorbida de catalogo (kW)"
Q_cond = 5,71                "Capacidad del condensador de catalogo (kW)"
m_dot = 103,8/3600           "Flujo masico de refrigerante (kg/s)"
```

```
"Eficiencia isentropica global (a partir del catalogo)"
eta_s = m_dot*(h_2s - h[1])/W_comp

"Coeficiente de desempeno real"
COP = Q_evap/W_comp

"------------------------------------------------------------"
"5. BALANCES DE ENERGIA POR COMPONENTE (kW) - primera ley"
"------------------------------------------------------------"
Q_evap_bal = m_dot*(h[1] - h[4])     "Evaporador"
W_comp_ideal = m_dot*(h_2s - h[1])   "Trabajo isentropico ideal"
Q_cond_bal = Q_evap + W_comp         "Condensador (balance global)"
balance = Q_evap + W_comp - Q_cond   "Verificacion (debe ser ~0)"

"------------------------------------------------------------"
"6. CICLO DE CONGELACION Y COSECHA (gas caliente)"
"------------------------------------------------------------"
t_cong = Q_dia_kWh/Q_evap            "Tiempo de congelacion (h/dia)"
t_freeze = 20                        "Tiempo de congelacion por ciclo (min)"
t_harvest = 2                        "Tiempo de cosecha por ciclo (min)"
N_ciclos = (t_cong*60)/t_freeze      "Numero de ciclos por dia"
t_cosecha = N_ciclos*t_harvest/60    "Tiempo de cosecha total (h/dia)"
t_total = t_cong + t_cosecha         "Tiempo total de operacion (h/dia)"
f_aux = 0,15                         "Factor de auxiliares (bombas, ventiladores)"
E_dia = W_comp*t_total*(1 + f_aux)   "Consumo real diario (kWh/dia)"
E_anio = E_dia*365                   "Consumo real anual (kWh/anio)"
```