

Anexo 1.- Código Matlab.

SC.m

```
%Datos de entrada al programa
clc
clear all
format long g

global m0 tfunc T_we2 m1 L D V dens_s C_ps tregT tfunc Te
paso tfin C_pw A_t nt REFR

format long g
dens_s=2000;                                %densidad del suelo
kg/m^3%
REFR=-290e3;
%Carga de refrigeracion en periodo donde el condensador no
esta funcionando en Watios%
C_ps=800;                                    %calor especifico del
suelo J/kg·°C%
C_pw=4190;                                  %calor especifico agua
a 20°C en J/kgK
V=19*96*9;                                  %volumen de influencia
m^3%
D=0.05;                                     %diametro tuberia
metros
L=30;                                       %Longitud de los tubos
nt=20;                                     %Numero de tubos del
colector de entrada al de salida
C_pw=4190;                                  %Calor especifico del
fluido caloportador

%REGULACION CAUDAL MASICO
m0=142;                                     %gasto masico cuando
el equipo funciona kg/s en el periodo [0 tfunc]
m1=2;                                       %gasto masico a partir
del periodo [tfunc tfin]
tfunc=50000;                               %tiempo de
funcionamiento del equipo, tiempo en el q el caudal pasa de
m0 a m1 (en horas)%

A_t=pi*D*L*nt;
```

```
%INTERVALO Y NUMERO DE INTEGRACIONES
paso=1;                                %intervalo de calculo
deseado en horas, en este caso debe coincidir con el paso
del vector cargaA%
tfin=8760;                             %tiempo final de
calculo deseado en horas%

Te=20;                                %Temperatura de
entrada del agua inicialmente

%REGULACION TEMPERATURA DE ENTRADA

tregT=50000;                           %tiempo a partir de la
cual se regula la T_we2 en horas
T_we2=15;                             %temperatura a la que
pasara la entrada de agua tras tregT desde 40 °C

tiempo=[1:paso:tfin];
T_mloc=18.6;                           %Temperatura media de
la localidad%

%Integracion con un metodo de RK de orden 4 con paso
constante dado por ssize
ssize=3600;
T0=[T_mloc];
tspan=[3600,8760*3600];
[pi,FALLO]=fopen('DentroIT.txt','w');
fprintf(pi,'t|T_we(k)|T_ws(k)|q|q1|q2|T_Wsa|T(k-1)iteracion
anterior|Top');
[t,Tsuelo] = rk4(@sistC, tspan, T0, ssize);
fclose(pi);

%Integración analítica%

T_wst(1)=18.6;
Tteoricasuelo(1)=18.6;
eRQt=[];
eRQ1t=[];
eRQ2t=[];
eRQt(1)=0;
eRQ1t(1)=0;
```

```

eRQ2t(1)=0;
[mi,FALLO]=fopen('Parametros TEORICOS.txt','w');
fprintf(mi,'q|Qaster|q1|q2|Te|Ts|Tteoricasuelo|TsueloRK4|co
eficiente de pelicula(h)');

%Introducimos en un vector los gastos y Qaster
for k=1:length(t)
    m_w(k)=calculoinsM(t(k));
    indice=fix(t(k)/3600);
    if cargaA(indice)>0 || cargaA(indice)<0
        Qaster(k)=cargaA(indice)*1.3*1e3;
    else Qaster(indice)=REFR;
    end
end

for k=1:length(t)-1

    T_wet(k+1)=T_wst(k)+Qaster(k+1)/(m_w(k+1)*C_pw);
    ht(k+1)=calculoH(Tteoricasuelo(k),m_w(k+1));
    T_wst(k+1)=((m_w(k+1)*C_pw/(ht(k+1)*A_t))*T_wet(k+1)-
    T_wet(k+1)/2+Tteoricasuelo(k))*1/(m_w(k+1)*C_pw/(ht(k+1)*A_
    t)+0.5);
    qt(k+1)=m_w(k+1)*C_pw*(T_wet(k+1)-T_wst(k+1));

    Tteoricasuelo(k+1)=Tteoricasuelo(k)+qt(k+1)*3600/(dens_s*C_
    ps*V);
    q1t(k+1)=ht(k+1)*A_t*((T_wet(k+1)+T_wst(k+1))/2-
    Tteoricasuelo(k));
    q2t(k+1)=dens_s*C_ps*V*(Tteoricasuelo(k+1)-
    Tteoricasuelo(k))/(t(k+1)-t(k));
    incT_wst(k+1)=m_w(k+1)*C_pw*(T_wst(k+1)-T_wst(k));
    sumat(k+1)=incT_wst(k+1)+qt(k+1)-Qaster(k+1);
    if Qaster(k+1)==0 || q1t(k+1)==0 || qt(k+1)==0 ||
q2t(k+1)==0
        eRQt(k+1)=0;
        eRQ1t(k+1)=0;
        eRQ2t(k+1)=0;
    else
        eRQt(k+1)=abs(100*(qt(k+1)-q1t(k+1))/q1t(k+1));
        eRQ1t(k+1)=abs(100*(qt(k+1)-q2t(k+1))/q2t(k+1));
        eRQ2t(k+1)=abs(100*(q1t(k+1)-q2t(k+1))/q2t(k+1));
    end
end

```

```
fprintf(mi, '\n
%f| %f| %f| %f| %f| %f| %f| %f', qt(k+1), Qaster(k+1), q1t(k+1), q2t(k+1), T_wet(k+1), T_wst(k+1), Tteoricasuelo(k+1), Tsuelo(k+1));
end
```

```
fclose(mi);
```

```
%Integracion con RK4%
```

```
T_ws(1)=18.6;
eRQ=[];
eRQ1=[];
eRQ2=[];
eRQ(1)=0;
eRQ1(1)=0;
eRQ2(1)=0;
[si, FALLO]=fopen('Parametros RK4.txt', 'w');
fprintf(si, 'q|Qaster|q1|q2|Te|Ts|TsueloRK4|Temp teorica del
suelo');
```

```
%Introducimos en un vector los gastos y Qaster
```

```
Qmedio=0;
for k=1:length(t)
    m_w(k)=calculoinsM(t(k));
    indice=fix(t(k)/3600);
    if cargaA(indice)>0 || cargaA(indice)<0
        Qaster(k)=cargaA(indice)*1.3*1e3;
    else Qaster(indice)=REFR;
    end
```

```
end
```

```
for k=1:length(t)-1
```

```

    T_we(k+1)=T_ws(k)+Qaster(k+1)/(m_w(k+1)*C_pw);
    h(k+1)=calculoH(Tsuelo(k+1), m_w(k+1));
    T_ws(k+1)=(m_w(k+1)*C_pw/(h(k+1)*A_t))*T_we(k+1)-
T_we(k+1)/2+Tsuelo(k))*1/(m_w(k+1)*C_pw/(h(k+1)*A_t)+0.5);
    q(k+1)=m_w(k+1)*C_pw*(T_we(k+1)-T_ws(k+1));
    q1(k+1)=h(k+1)*A_t*((T_we(k+1)+T_ws(k+1))/2-Tsuelo(k));
    q2(k+1)=dens_s*C_ps*V*(Tsuelo(k+1)-Tsuelo(k))/(3600);
    incT_ws(k+1)=m_w(k+1)*C_pw*(T_ws(k+1)-T_ws(k));
```

```
%suma(k+1)=ihcT_ws(k+1)+q(k+1)-Qaster(k+1);  
if Qaster(k+1)==0 || q1(k+1)==0 || q2(k+1)==0 ||  
q2(k+1)==0  
    eRQ(k+1)=0;  
    eRQ1(k+1)=0;  
    eRQ2(k+1)=0;  
else  
    eRQ(k+1)=abs(100*(q(k+1)-q1(k+1))/q1(k+1));  
%Comparo lo que tiene que ser similar q=q1=q2 mientras que  
todos ellos son distinto de Qaster en mCp(T_ws(k+1)-  
T_ws(k))  
    eRQ1(k+1)=abs(100*(q(k+1)-q2(k+1))/q2(k+1));  
    eRQ2(k+1)=abs(100*(q1(k+1)-q2(k+1))/q2(k+1));  
end  
fprintf(si,'\n  
%f| %f | %f | %f | %f | %f | %f | %f | %f',q(k+1),Qaster(k+1),q1(k+1),q2  
(k+1),T_we(k+1),T_ws(k+1),Tsuelo(k+1),Tteoricasuelo(k+1),h(  
k+1));  
end  
  
fclose(si);  
  
%REPRESENTACIONES GRAFICAS%  
  
figure(1)  
  
subplot(2,1,1);plot(t/3600,Qaster,'r')  
xlabel('tiempo (horas)')  
ylabel('Potencia transferida (W)')  
title('Utilizamos parametros RK4')  
legend('Qaster')  
subplot(2,1,2);plot(t/3600,q2,'b')  
xlabel('tiempo (horas)')  
ylabel('Potencia transferida (W)')  
legend('Q2=ro*C_p*V*dT/dt')  
  
figure(2)  
  
subplot(2,1,1);plot(t/3600,q1,'k')  
xlabel('tiempo (horas)')  
ylabel('Potencia transferida (W)')  
legend('Q1=hA(T_mf-T_s)')  
subplot(2,1,2);plot(t/3600,q,'g')  
xlabel('tiempo (horas)')
```

```
ylabel('Potencia transferida (W)')
legend('Q=m*C_p*dT')
```

```
figure(3)
plot(t/3600,incT_ws,'g')
xlabel('tiempo (horas)')
ylabel('Potencia termica (W)')
legend('Q=m_w*C_p*(T_ws(k+1)-T_ws(k))')
title('Potencia invertida en calentar el fluido
caloportador')
```

```
figure(4)

subplot(2,2,1);plot(t/3600,eRQ,'b')
xlabel('tiempo (horas)')
ylabel('Error Relativo(%)')
title('Utilizamos parametros RK4')
legend('eRQ(k+1)=abs(100*(q(k+1)-q1(k+1))/q1(k+1))')
subplot(2,2,2);plot(t/3600,eRQ1,'g')
xlabel('tiempo (horas)')
ylabel('Error Relativo(%)')
legend('Error relativo=abs(100*(q(k+1)-q2(k+1))/q(k+1))')
subplot(2,2,3);plot(t/3600,eRQ2,'r')
xlabel('tiempo (horas)')
ylabel('Error Relativo(%)')
legend('Error relativo=abs(100*(q1(k+1)-q2(k+1))/q1(k+1))')
subplot(2,2,4);plot(t/3600,suma,'c')
legend('Balance global mCp(Te-Ts)+mcp(Ts(k+1)-Ts(k))-
Qaster=0')
xlabel('tiempo (horas)')
ylabel('Error absoluto (Int. RK4)(%)')
```

```
figure(5)
plot(t/3600,Tsuelo,'b',t/3600,T_ws,'r',t/3600,Qaster/1e4,'g',
t/3600,m_w,'y',t/3600,T_we(1:8760),'k')
legend('T_s_u_e_l_o[°C]','T_a_g_u_a_s_a_l_i_d_a[°C]','Q_t[W]/10^4',
'Gasto masico agua[kg/s]','T^a entrada agua[°C]')
xlabel('Tiempo [horas]')
title('Evolucion del terreno (Integracion RK4)')
```

```
figure(6)
plot(t/3600,Tteoricasuelo,'b',t/3600,T_wst,'r',t/3600,Qaster/1e4,'g',
t/3600,m_w,'y',t/3600,T_wet(1:8760),'k')
```

```

legend('T_s_u_e_l_o[°C]', 'T_a_g_u_a_s_a_l_i_d_a[°C]', 'Q_t[W] / 10^4', 'Gasto masico agua[kg/s]', 'T^a entrada agua[°C]')
xlabel('Tiempo [horas]')
title('Evolucion del terreno (Integracion analitica)')

```

```

figure(7)
plot(t/3600, Tsuelo, 'b', t/3600, Tteoricasuelo, 'r')
legend('Temperatura terreno (Int. RK4)', 'Temperatura terreno (Int. analitica)')
xlabel('Tiempo [horas]')
ylabel('Temperatura [°C]')
title('Comparativa con la solucion exacta')

```

```

figure(8)

```

```

subplot(2,2,1); plot(t/3600, eRQt, 'b')
xlabel('tiempo (horas)')
ylabel('Error Relativo(%)')
title('Utilizamos parametros EXACTOS')
legend('eRQ(k+1)=abs(100*(q(k+1)-q1(k+1))/q1(k+1))')
subplot(2,2,2); plot(t/3600, eRQ1t, 'g')
xlabel('tiempo (horas)')
ylabel('Error Relativo(%)')
legend('Error relativo=abs(100*(q(k+1)-q2(k+1))/q2(k+1))')
subplot(2,2,3); plot(t/3600, eRQ2t, 'r')
xlabel('tiempo (horas)')
ylabel('Error Relativo(%)')
legend('Error relativo=abs(100*(q1(k+1)-q2(k+1))/q2(k+1))')
subplot(2,2,4); plot(t/3600, sumat, 'c')
legend('Balance global mCp(Te-Ts)+mcp(Ts(k+1)-Ts(k))-Qaster=0')
xlabel('tiempo (horas)')
ylabel('Error absoluto con datos exactos(%)')

```

```

%Fichero de comprobacion%

```

```

suma=0;
suma1=0;
suma2=0;
sumat=0;
suma1t=0;
suma2t=0;
for k=1:length(t)

```

```

difTe(k)=T_wet(k)-T_we(k);
difTs(k)=T_wst(k)-T_ws(k);
Tmmt(k)=T_wet(k)+T_wst(k);
Tmm(k)=T_we(k)+T_ws(k);
difTmm(k)=Tmmt(k)-Tmm(k);
difTsuelo(k)=Tteoricasuelo(k)-Tsuelo(k);
suma=eRQ(k)+suma;
suma1=eRQ1(k)+suma1;
suma2=eRQ2(k)+suma2;
sumat=eRQt(k)+sumat;
suma1t=eRQ1t(k)+suma1t;
suma2t=eRQ2t(k)+suma2t;
end

maximoTe=max(difTe);
maximoTs=max(difTs);
maximoTmm=max(difTmm);
maximoTsuelo=max(difTsuelo);

Emedioq_q1=suma/length(t);
Emedioq1_q2=suma2/length(t);
Emedioq_q2=suma1/length(t);

Emedioq_q1t=sumat/length(t);
Emedioq1_q2t=suma2t/length(t);
Emedioq_q2t=suma1t/length(t);

[ti,FALLO]=fopen('Resultados.txt','w');
fprintf(ti,'RESULTADOS DE INTERÉS');
fprintf(ti,'\n MAximo Te-Teteorica= %f \n MAximo Ts-
Tsteorica=%f \n MAximo Tmm-Tmmteorica=%f \n MAximo Tsuelo-
Tsueloteorica=%f \n Error medio q-q1=%f \n Error medio q1-
q2=%f \n Error medio q-q2=%f \n Error medio teorico q-q1=%f
\n Error medio teorico q1-q2=%f \n Error medio teorico q-
q2=%f',maximoTe,maximoTs,maximoTmm,maximoTsuelo,Emedioq_q1,
Emedioq1_q2,Emedioq_q2,Emedioq_q1t,Emedioq1_q2t,Emedioq_q2t
);
fclose(ti);

```

.

sistC.m

```

function dT=sistC(t,T,pvez)
global L D V dens_s C_ps paso T_mloc C_pw A_t T_ws T_wsa
Tpo REFR
if t==3600                                %Inicializamos variables
    T_ws=18.6;
    T_we=18.6;
    T_wsa=18.6;
    Tpo=18.6;
end

indice=fix(t/(3600));

if cargaA(indice)>0 || cargaA(indice)<0
    Qaster=cargaA(indice)*1.3*1e3;
else Qaster=REFR;                        %Refrigeracion intermedia
end
m_w=calculoinsM(t);

if indice>1
    T_we=T_wsa+Qaster/(m_w*C_pw);
else
    T_we=18.6;
end
h=calculoH(T,m_w);
T_ws=((m_w*C_pw/(h*A_t))*T_we-
T_we/2+Tpo)*1/(m_w*C_pw/(h*A_t)+0.5);

q=m_w*C_pw*(T_we-T_ws);
q1=h*A_t*((T_we+T_ws)/2-Tpo);
q2=dens_s*C_ps*V*(T-Tpo)/3600;

dT=[q1/(dens_s*V*C_ps)];

if pvez==1
    T_wsa=T_ws;
    Tpo=T;
End

[pi,FALLO]=fopen('DentroIT.txt','a');
```

```
fprintf(pi, '\n
%f| %f| %f| %f| %f| %f| %f| %f| %f', t/3600, T_we, T_ws, q, q1, q2, T_wsa,
T, Tpo);
fclose(pi);
```

```
end
```

```
. . . . .
```

rk4.m

```
function [tout, yout] = rk4(FunFcn, tspan, y0, ssize)
```

```
% Initialization
```

```
t0=tspan(1);
tfinal=tspan(2);
pm = sign(tfinal - t0); % Which way are we computing?
h = pm*ssize;
t = t0;
y = y0(:);
```

```
% We need to compute the number of steps.
```

```
dt = abs(tfinal - t0);
N = floor(dt/ssize) + 1;
if (N-1)*ssize < dt
    N = N + 1;
end
```

```
% Initialize the output.
```

```
tout = zeros(N,1);
tout(1) = t;
yout = zeros(N, size(y,1));
yout(1,:) = y.';
k = 1;
```

```
% The main loop
```

```
while (k < N)
    if pm*(t + h - tfinal) > 0
```

```

        h = tfinal - t;
        tout(k+1) = tfinal;
    else
        tout(k+1) = t0 + k*h;
    end
    k = k + 1;

    % Compute the slopes
    s1 = feval(FunFcn, t, y,1); s1 = s1(:);
    s2 = feval(FunFcn, t + h/2 , y + h*s1/2,0); s2=s2(:);
    s3 = feval(FunFcn, t + h/2 , y + h*s2/2,0); s3=s3(:);
    %t+h/2 en este y s2
    s4 = feval(FunFcn, t + h, y + h*s3,0); s4=s4(:);
    y = y + h*(s1 + 2*s2 + 2*s3 +s4)/6;
    t = tout(k);
    yout(k,:) = y.';
end;

. . . . .

```

calculoinsT.m

```

function T_we=calculoinsT(t)      %t en horas y T_reg en
horas
global T_we2 tregT Te paso C_pw

% Para el caso de proporcionar la temp de entrada como dato
de entrada
time=tregT*3600;
if t>(time)
    T_we=T_we2;
else T_we=Te;
end

. . . . .

```

calculoinsM.m

```

function m_w=calculoinsM(t)
global m0 tfunc m1

```

```

if t>(tfunc*3600)          %t en segundos y tfunc en horas
    m_w=m1;
else m_w=m0;
end

```

.

calculoH.m

```

function h=calculoH(T,m_w)
global D nt

if T<=40      %Todo ello a 5 bar y 30 °C
RE=351158;
PR=5.531;
visc=7.977e-4;      %En NS/m^2=Pa·s
dens=995.8;
k_w=0.6031;
m_w_tubo=m_w/nt;
vel=m_w_tubo/(pi*D^2/4*dens);
RE=dens*vel*D/visc;
NU=0.023*RE^(4/5)*PR^(0.3);
h=NU/(D/k_w);
end

if T>40 && T<=60  %Propiedades calculadas a 50 °C
RE=511957;
PR=3.627;
visc=5.471e-4;      %En NS/m^2=Pa·s
dens=988.2;
k_w=0.6306;
m_w_tubo=m_w/nt;
vel=m_w_tubo/(pi*D^2/4*dens);
RE=dens*vel*D/visc;
NU=0.023*RE^(4/5)*PR^(0.3);
h=NU/(D/k_w);
end

if T>60  % Las propiedades estan calculadas a 70 °C
RE=693092;

```

```
PR=2.604;
visc=4.041e-4;      %En NS/m^2=Pa·s
dens=978;
k_w=0.6497;
m_w_tubo=m_w/nt;
vel=m_w_tubo/(pi*D^2/4*dens);
RE=dens*vel*D/visc;
NU=0.023*RE^(4/5)*PR^(0.3);
h=NU/(D/k_w);
end
```

Anexo 2.- Valores climatológicos. Aeropuerto de Sevilla.

Valores climatológicos normales en el observatorio del Aeropuerto de Sevilla.

1971-2000	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	MEDIA
Temperatura media (°C)	10,6	12,2	14,7	16,4	19,7	23,9	27,4	27,2	24,5	19,6	14,8	11,8	18,6
Media de temperaturas máximas diarias (°C)	15,9	17,9	21,2	22,7	26,4	31,0	35,3	35,0	31,6	25,6	20,1	16,6	24,9
Media de temperaturas mínimas diarias (°C)	5,2	6,7	8,2	10,1	13,1	16,7	19,4	19,5	17,5	13,5	9,3	6,9	12,2