

Trabajo de Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Análisis en régimen permanente de redes multienergéticas

ANEXOS

Autor: Jordi Gordillo Torres
Director: Juan José Mesas García
Codirector: Luis Sainz Sapera
Convocatoria: Septiembre 2022



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Sumario

SUMARIO	3
ANEXO A. CÓDIGO PROGRAMADO EN MATLAB DE APLICACIÓN DEL MÉTODO ITERATIVO NEWTON-RAPHSON CON JACOBIANO NUMÉRICO AL ANÁLISIS EN RÉGIMEN PERMANENTE DE LA RED MULTIENERGÉTICA OBJETO DE ESTUDIO	5
ANEXO B. RESULTADOS DE INTERÉS OBTENIDOS A PARTIR DEL CÓDIGO MATLAB	15

Anexo A. Código programado en MATLAB de aplicación del método iterativo Newton-Raphson con jacobiano numérico al análisis en régimen permanente de la red multienergética objeto de estudio

```

function solve_system_newton_v3_mod

% En el presente script se programa el código asociado al TFM
% Análisis en régimen permanente de una red multienergética
% NEWTON-RAPHSON CON JACOBIANO NUMÉRICO

clear all
clc
close all

% DATOS GENERALES
% Especificaciones técnicas de la red multienergética
% Especificaciones técnicas de los elementos de acople

C_E1_C1 = +1; % C1 suministra potencia al nodo E1
C_G1_C1 = -1; % C1 consume potencia del nodo G1
C_H1_C1 = +1; % C1 suministra potencia al nodo H1
eta_HE_C1 = 0.875; % Rendimiento de C1 al pasar de calor a electricidad
eta_GE_C1 = 0.35; % Rendimiento de C1 al pasar de gas a electricidad
eta_GH_C1 = 0.4; % Rendimiento de C1 al pasar de gas a calor
C_G4_C2 = -1; % C2 consume potencia del nodo G4
C_H4_C2 = +1; % C2 suministra potencia al nodo H4
eta_GH_C2 = 0.9; % Rendimiento de C2 al pasar de gas a calor
C_H3_C3 = -1; % C3 consume potencia del nodo H3
C_C2_C3 = +1; % C3 suministra potencia al nodo C2
eta_HC_C3 = 0.65; % Rendimiento de C3 al pasar de calor a frío

% DATO NODALES - RED ELÉCTRICA
% E1 nodo PV; E2 nodo PQ; E3 nodo Slack

p_E1_g = 0; % potencia activa generada nodo E1 [MW]
p_E1_d = 0.8; % potencia activa demandada nodo E1 [MW]
q_E1_d = 0.1; % potencia reactiva demandada nodo E1 [MVAr]
v_E1 = 1.02; % magnitud del voltaje en el nodo E1 [p.u.]
p_E2_g = 0; % potencia activa generada nodo E2 [MW]
q_E2_g = 0; % potencia reactiva generada nodo E2 [MVAr]
p_E2_d = 0.8; % potencia activa demandada nodo E2 [MW]
q_E2_d = 0.1; % potencia reactiva demandada nodo E2 [MVAr]
p_E3_d = 0.4; % potencia activa demandada nodo E3 [MW]
q_E3_d = 0.25; % potencia reactiva demandada nodo E3 [MVAr]
v_E3 = 1.0; % magnitud del voltaje en el nodo E3 [p.u.]
delta_E3 = 0; % ángulo del voltaje en el nodo E3 [°]

```

```
% DATOS NODALES - RED GAS NATURAL
% G1 nodo carga; G2 nodo infeed; G3 nodo carga; G4 nodo carga

V_G1_s = 0; % caudal volumétrico suministrado nodo G1 [m3/hr]
V_G1_d = 200; % caudal volumétrico demandado nodo G1 [m3/hr]
V_G2_s = 0; % caudal volumétrico suministrado nodo G2 [m3/hr]
V_G2_d = 50; % caudal volumétrico demandado nodo G2 [m3/hr]
pr_G2 = 100; % presión nodal en G2 [mbar]
V_G3_s = 0; % caudal volumétrico suministrado nodo G3 [m3/hr]
V_G3_d = 100; % caudal volumétrico demandado nodo G3 [m3/hr]
V_G4_s = 0; % caudal volumétrico suministrado por el nodo G4 [m3/hr]
V_G4_d = 180; % caudal volumétrico demandado por el nodo G4 [m3/hr]

% DATOS NODALES - RED TÉRMICA
% Parte de calor de la red térmica
% H1 nodo slack; H2 nodo demandante; H3 nodo demandante; H4 nodo suminst.

Q_H1_d = 400; % potencia calorífica demandada nodo H1 [kW]
T_H1_s = 100; % Tª de suministro nodo H1 [°C]
Q_H2_s = 0; % potencia calorífica suministrada nodo H2 [kW]
Q_H2_d = 1200; % potencia calorífica demandada nodo H2 [kW]
T_H2_out = 50; % Tª salida nodo H2 [°C]
Q_H3_s = 0; % potencia calorífica suministrada nodo H3 [kW]
Q_H3_d = 0; % potencia calorífica demandada nodo H3 [kW]
T_H3_out = 50; % Tª salida nodo H3 [°C]
Q_H4_s = 500; % potencia calorífica suministrada nodo H4 [kW]
Q_H4_d = 0; % potencia calorífica demandada nodo H4 [kW]
T_H4_s = 100; % Tª de suministro nodo H4 [°C]

% Parte de frío de la red térmica
% C1 nodo demandante; C2 nodo slack; C3 nodo demandante

Q_C1_s = 0; % potencia calorífica suministrada nodo C1 [kW]
Q_C1_d = 400; % potencia calorífica demandada nodo C1 [kW]
T_C1_s = 0; % Tª de suministro nodo C1 [°C]
T_C1_out = 12; % Tª salida nodo C1 [°C]
Q_C2_d = 0; % potencia calorífica demandada nodo C2 [kW]
T_C2_s = 5; % Tª de suministro del nodo C2 [°C]
Q_C3_s = 0; % potencia calorífica suministrada nodo C3 [kW]
Q_C3_d = 400; % potencia calorífica demandada nodo C3 [kW]
T_C3_s = 0; % Tª de suministro nodo C3 [°C]
T_C3_out = 12; % Tª salida nodo C3 [°C]

% PARÁMETROS ENERGÉTICOS - RED ELÉCTRICA

R1 = 0.02; % Resistencia línea 1 (E1-E2) [p.u.]
X1 = 0.04; % Reactancia línea 1 (E1-E2) [p.u.]
G1 = 10; % G línea 1 (E1-E2) [p.u.]
B1 = -20; % B línea 1 (E1-E2) [p.u.]
R2 = 0.01; % Resistencia línea 2 (E2-E3) [p.u.]
X2 = 0.02; % Reactancia línea 2 (E2-E3) [p.u.]
G2 = 20; % G línea 2 (E2-E3) [p.u.]
B2 = -40; % B línea 2 (E2-E3) [p.u.]
```

% PARÁMETROS ENERGÉTICOS - RED GAS NATURAL

```

pd1_g = 150;      % Diámetro de la tubería línea 1 (G2-G1) [mm]
pl1_g = 680;      % Longitud de la tubería línea 1 (G2-G1) [m]
pd2_g = 150;      % Diámetro de la tubería línea 2 (G2-G3) [mm]
pl2_g = 500;      % Longitud de la tubería línea 2 (G2-G3) [m]
pd3_g = 150;      % Diámetro de la tubería línea 3 (G3-G4) [mm]
pl3_g = 420;      % Longitud de la tubería línea 3 (G3-G4) [m]

```

% PARÁMETROS ENERGÉTICOS - RED TÉRMICA % Parte de calor de la red térmica

```

pd1_h = 0.15;    % Diámetro de la tubería línea 1 (H1-H2) [m]
pl1_h = 3000;    % Longitud de la tubería línea 1 (H1-H2) [m]
rhtc1_h = 0.9;   % Coef. de transmisión térmica radial L1 [W/m2K]
pd2_h = 0.15;    % Diámetro de la tubería línea 2 (H2-H3) [m]
pl2_h = 3000;    % Longitud de la tubería línea 2 (H2-H3) [m]
rhtc2_h = 0.9;   % Coef. de transmisión térmica radial L2 [W/m2K]
pd3_h = 0.15;    % Diámetro de la tubería línea 3 (H3-H4) [m]
pl3_h = 3000;    % Longitud de la tubería línea 3 (H3-H4) [m]
rhtc3_h = 0.9;   % Coef. de transmisión térmica radial L3 [W/m2K]

```

% Parte de frío de la red térmica

```

pd1_c = 0.16;    % Diámetro de la tubería línea 1 (C1-C2) [m]
pl1_c = 100;     % Longitud de la tubería línea 1 (C1-C2) [m]
rhtc1_c = 0.9;   % Coef. de transmisión térmica radial L1 [W/m2K]
pd2_c = 0.16;    % Diámetro de la tubería línea 2 (C2-C3) [m]
pl2_c = 100;     % Longitud de la tubería línea 2 (C2-C3) [m]
rhtc2_c = 0.9;   % Coef. de transmisión térmica radial L2 [W/m2K]

```

% Se calcula la matriz de admitancias de bus para la red eléctrica
% Como hay 3 nodos en la red eléctrica, la Ybus será 3x3

```

y11 = 0;
y12 = G1+B1*i;
y13 = 0;
y21 = y12;
y22 = 0;
y23 = G2+B2*i;
y31 = 0;
y32 = y23;
y33 = 0;
Y11_b = y11+y12+y13;
Y12_b = -y12;
Y13_b = -y13;
Y21_b = -y21;
Y22_b = y22+y21+y23;
Y23_b = -y23;
Y31_b = -y31;
Y32_b = -y32;
Y33_b = y33+y31+y32;

```

%Tras determinar los parámetros de la Ybus en forma binomial:
Y_bus = [Y11_b Y12_b Y13_b; Y21_b Y22_b Y23_b; Y31_b Y32_b Y33_b];

% Se determina el argumento y el ángulo de los elementos de la Ybus

```

Y11 = abs(Y11_b);
Y12 = abs(Y12_b);
Y13 = abs(Y13_b);
Y21 = abs(Y21_b);
Y22 = abs(Y22_b);
Y23 = abs(Y23_b);
Y31 = abs(Y31_b);
Y32 = abs(Y32_b);
Y33 = abs(Y33_b);
theta_Y11_rad = angle(Y11_b);
theta_Y11 = theta_Y11_rad*(180/pi);
theta_Y12_rad = angle(Y12_b);
theta_Y12 = theta_Y12_rad*(180/pi);
theta_Y13_rad = angle(Y13_b);
theta_Y13 = theta_Y13_rad*(180/pi);
theta_Y21_rad = angle(Y21_b);
theta_Y21 = theta_Y21_rad*(180/pi);
theta_Y22_rad = angle(Y22_b);
theta_Y22 = theta_Y22_rad*(180/pi);
theta_Y23_rad = angle(Y23_b);
theta_Y23 = theta_Y23_rad*(180/pi);
theta_Y31_rad = angle(Y31_b);
theta_Y31 = theta_Y31_rad*(180/pi);
theta_Y32_rad = angle(Y32_b);
theta_Y32 = theta_Y32_rad*(180/pi);
theta_Y33_rad = angle(Y33_b);
theta_Y33 = theta_Y33_rad*(180/pi);

% Se calcula la matriz de incidencia de la red de gas natural
A_G = [1 0 0; -1 -1 0; 0 1 -1; 0 0 +1];
A_Gr = [1 0 0; 0 1 -1; 0 0 1]; % matriz de incidencia reducida

% La red de gas natural es de baja presión y se parametriza según:
m_G = 2;

% Se calcula la constante de la tubería para cada nodo:
K_G1 = (11.7*10^3)*(pl1_g/(pd1_g)^5);
K_G2 = (11.7*10^3)*(pl2_g/(pd2_g)^5);
K_G3 = (11.7*10^3)*(pl3_g/(pd3_g)^5);

% Se calcula la matriz de incidencia de la red térmica
A_H = [-1 0 0; 1 -1 0; 0 1 1; 0 0 -1]; % red de calor
A_Hr = [1 -1 0; 0 1 1; 0 0 -1];
A_C = [1 0; -1 -1; 0 1]; % red de frío
A_Cr = [1 0; 0 1];

% CONDICIONES INICIALES (CI)
% Aproximaciones iniciales para los parámetros de estado estacionario

% Aproximaciones iniciales red eléctrica
delta_E1 = 0; % en grados
delta_E2 = 0; % en grados
v_E2 = 1; % en p.u.

% Aproximaciones iniciales red gas natural
% Demanda de gas de la CHP (elemento acople C1) [m3/hora]

```

```

QH_dnet = Q_H1_d+Q_H2_d+Q_H3_d+Q_H4_d-Q_H2_s-Q_H3_s-Q_H4_s;
GCV = 41.04;
V_H1_C1 = (QH_dnet/(eta_GH_C1*GCV*1000))*3600;

% Aproximaciones iniciales red térmica (calor y frío)
% Demanda de gas de la GB (elemento acople C2) [m3/hora]
Q_H4_C2 = Q_H4_s;
V_G4_C2 = (Q_H4_C2/(eta_GH_C2*GCV*1000))*3600;

% Demandas de gas revisadas
V_G1_drev = V_G1_d+V_H1_C1;
V_G2_drev = V_G2_d;
V_G3_drev = V_G3_d;
V_G4_drev = V_G4_d+V_G4_C2;

% Caudales de gas en las "ramas" -> tuberías [m3/h]
% Se utiliza la matriz de incidencia reducida
v = [V_G1_drev; V_G3_drev; V_G4_drev];
v2 = inv(A_Gr)*v;
V_G_tub1 = v2(1);
V_G_tub2 = v2(2);
V_G_tub3 = v2(3);

% Caída de presión de cada tubería [mbar]
ci=1;
pr_drop_tub1=K_G1*V_G_tub1^2;
pr_drop_tub2=K_G2*V_G_tub2^2;
pr_drop_tub3=K_G3*V_G_tub3^2;

% Aproximaciones iniciales presión nudos red GN [mbar]
pr_G1 = pr_G2-pr_drop_tub1;
pr_G3 = pr_G2-pr_drop_tub2;
pr_G4 = pr_G3-pr_drop_tub3;

% Valores iniciales red térmica (calor)
m_H1 = 1;
m_H2 = 1;
m_H3 = 1;
T_H2_sup = 100;
T_H3_sup = 100;
T_H1_ret = 50;
T_H4_ret = 50;

% Valores iniciales red térmica (frío)
m_C1 = 5;
m_C2 = 5;
T_C1_sup = 5;
T_C3_sup = 5;
T_C2_ret = 12;

% APARTADO TEMPERATURAS y S's
T_amb=10;
T_H1_sup = T_H1_s;
T_H4_sup = T_H4_s;
T_H3_ret = T_H3_out;
T_C2_sup = T_C2_s;

```

```

T_C1_ret = T_C1_out;
T_C3_ret = T_C3_out;
T_H2_ret = T_H2_out;
S21 = 1;
S23 = 1;
S34 = 1;
% ECUACIONES DE LOS NUDOS
% Balance flujo potencia real activa (eléctrica) nudo PV i PQ

% NODO E1
Sb = 100; % Base utilizada para pasar a p.u.
cp = 4.18; % poder calorífico del agua
p_E1_C1 = abs((m_H1*cp*(T_H1_s-T_H1_ret))/(eta_HE_C1*1000));

% NODO E2
% No se conecta ningún elemento de acople a este nudo => C_E2=0
% Balance flujo de potencia reactiva (eléctrica) nudo PQ
% NODO E2
% No se conecta ningún elemento de acople a este nudo => C_E2=0
% Balance flujo volumétrico gas en nodos tipo carga de la red de gas

% NODO G1
E_G1_C1 = (m_H1*cp*(T_H1_s-T_H1_ret))/eta_GH_C1;

% NODO G3
% No se conecta ningún elemento de acople a este nudo => C_G3=0

% NODO G4
E_G4_C2 = abs(Q_H4_s)/eta_GH_C2;
% Balance de caudales másicos nudos "Sup" y "Dem" en la RT (calor)

% NODO H2
% No se conecta a ningún elemento de acople a este nudo => C_H2=0
M_H2_d = Q_H2_d/(cp*(T_H2_sup-T_H2_out));

% NUDO H3
Q_Cslack_C3 = (A_C(2)*m_C1+A_C(5)*m_C2)*cp*(T_C2_s-T_C2_ret);
M_H3_C3 = abs((Q_Cslack_C3/eta_HC_C3)/(cp*(T_H3_sup-T_H3_out)));

% NUDO H4
M_H4_s = Q_H4_s/(cp*(T_H4_s-T_H4_ret));
% Balance de caudales másicos nudos "Dem" en la RT (frio)

% NUDO C1
% No se conecta a ningún elemento de acople a este nudo => C_C1=0
M_C1_d = Q_C1_d/(cp*abs(T_C1_sup-T_C1_out));

% NUDO C3
% No se conecta a ningún elemento de acople a este nudo => C_C3=0
M_C3_d = Q_C3_d/(cp*abs(T_C3_sup-T_C3_out));
Xo = [delta_E1; delta_E2; v_E2; pr_G1; pr_G3; pr_G4; ...
      m_H1; m_H2; m_H3; m_C1; m_C2];
param_ctes = {p_E1_g, p_E1_d, Sb, C_E1_C1, ...
              cp, T_H1_s, eta_HE_C1, v_E1, Y11, theta_Y11, Y12, theta_Y12, p_E2_g,
              p_E2_d, Y21, ...};

```

```

theta_Y21, Y22, theta_Y22, v_E3, Y23, delta_E3, theta_Y23, q_E2_g, ...
q_E2_d, V_G1_s, V_G1_d, C_G1_C1, eta_GH_C1, GCV, A_G, pr_G2, K_G1, ...
m_G, V_G3_s, V_G3_d, K_G2, K_G3, V_G4_s, V_G4_d, ...
C_G4_C2, E_G4_C2, Q_H2_d, T_H2_out, A_H, C_H3_C3, T_C2_s, eta_HC_C3,
T_H3_out, ...
Q_H4_s, T_H4_s, Q_C1_d, T_C1_out, A_C, Q_C3_d, T_C3_out};
param_ctes_bis = {rhtc1_h, p11_h, pd1_h, T_H1_sup, T_amb, cp, rhtc2_h,
p12_h, pd2_h, ...
rhtc3_h, p13_h, pd3_h, T_H4_sup, T_H3_ret, Q_H2_d, T_H2_out, rhtc1_c,
...
p11_c, pd1_c, T_C2_sup, rhtc2_c, p12_c, pd2_c, T_C1_ret, T_C3_ret};
param_no_ctes = {T_H2_sup, T_H3_sup, T_H1_ret, T_H2_ret, T_H4_ret, ...
T_C1_sup, T_C3_sup, T_C2_ret, S21, S23, S34};
param_no_cteshi((0)+1,:) = cell2mat(param_no_ctes);
TolX=1e-6;
TolFX=1e-6;
p=2;
MaxIter=1000;
NX=length(Xo);
FX=feval(@Iteration_cte,Xo,param_ctes,param_no_ctes)
NF=length(FX);
if NX~=NF
    error('Incompatible dimensions of F and Xo!')
end
Xhi((0)+1,:)=Xo(:); %Initialize the solution as the initial row
vector
FXhi((0)+1,:)=FX(:).';
normFXhi((0)+1,:)=norm(FX,p);
dXhi((0)+1,:)=zeros(1,NX);
normdXhi((0)+1,:)=0;
JFXhi(:,:, (0)+1)=zeros(NF,NX);
detJFXhi((0)+1,:)=0;
for k=1:MaxIter
    JFX=jacob(@Iteration_cte,Xhi((k-1)+1,:),Xo,param_ctes,param_no_ctes);
    JFXhi(:,:, (k-1)+1)=JFX;
    detJFXhi((k-1)+1,:)=det(JFX);

    dX=-JFX\FX(:);
    dXhi((k-1)+1,:)=dX.';
    normdXhi((k-1)+1,:)=norm(dX,p);

    Xhi((k)+1,:)=Xhi((k-1)+1,:)+dX.';
    T = Temperatures(Xhi((k)+1,:),param_ctes_bis);
    S = Sij(Xhi((k)+1,:),param_ctes);
    param_no_ctes = [T, S];
    param_no_cteshi((k)+1,:)= cell2mat(param_no_ctes);
    FX=feval(@Iteration_cte,Xhi((k)+1,:),param_ctes,param_no_ctes);
    FXhi((k)+1,:)=FX(:).';
    normFXhi((k)+1,:)=norm(FX,p);

    if norm(dX,p)<TolX && norm(FX,p)<TolFX
        break
    end
end
X=Xhi((k)+1,:);
normFX=normFXhi((k)+1,:);
normdX=normdXhi((k-1)+1,:);
detJFX=detJFXhi((k-1)+1,:);

```

```

if k==MaxIter
    fprintf('The best in %d iterations\n',MaxIter)
end
X = X.';
display(X)
FX=feval(@Iteration_cte,X,param_ctes,param_no_ctes)
%display(normFX)
%display(normdX)
%display(detJFX)
display(Xhi)
%display(normFXhi)
%display(normdXhi)
%display(detJFXhi)
display(FXhi)
%display(dXhi)
%display(JFXhi)
display(param_no_cteshi)

end
function JFX=jacob(F,X,Xo,param_ctes,param_no_ctes)

N=length(X);
X=X(:)';
h=diag(1e-5*max(abs(Xo),1e-8));
JFX=zeros(N,N);

for n=1:N
    JFX(:,n)=(feval(F,X+h(n,:),param_ctes,param_no_ctes)-feval(F,X-h(n,:),param_ctes,param_no_ctes))'/(2*h(n,n));
end
end

function I = Iteration_cte(x,param_ctes,param_no_ctes)
xcell=num2cell(x);
[delta_E1, delta_E2, v_E2, pr_G1, pr_G3, pr_G4, ...
m_H1, m_H2, m_H3, m_C1, m_C2]=deal(xcell{:});

[p_E1_g, p_E1_d, Sb, C_E1_C1, ...
cp, T_H1_s, eta_HE_C1, v_E1, Y11, theta_Y11, Y12, theta_Y12,
p_E2_g, p_E2_d, Y21, ...
theta_Y21, Y22, theta_Y22, v_E3, Y23, delta_E3, theta_Y23, q_E2_g,
...
q_E2_d, V_G1_s, V_G1_d, C_G1_C1, eta_GH_C1, GCV, A_G, pr_G2, K_G1,
...
m_G, V_G3_s, V_G3_d, K_G2, K_G3, V_G4_s, V_G4_d, ...
C_G4_C2, E_G4_C2, Q_H2_d, T_H2_out, A_H, C_H3_C3, T_C2_s,
eta_HC_C3, T_H3_out, ...
Q_H4_s, T_H4_s, Q_C1_d, T_C1_out, A_C, Q_C3_d,
T_C3_out]=deal(param_ctes{:});
[T_H2_sup, T_H3_sup, T_H1_ret, T_H2_ret, T_H4_ret, T_C1_sup, ...
T_C3_sup, T_C2_ret,S21, S23, S34]=deal(param_no_ctes{:});

%elementos acople y otros con influencia
p_E1_C1 = abs((m_H1*cp*(T_H1_s-T_H1_ret))/(eta_HE_C1*1000));
E_G1_C1 = (m_H1*cp*(T_H1_s-T_H1_ret))/eta_GH_C1;
M_H2_d = Q_H2_d/(cp*(T_H2_sup-T_H2_out));

```

```

Q_Cslack_C3 = (A_C(2)*m_C1+A_C(5)*m_C2)*cp*(T_C2_s-T_C2_ret);
M_H3_C3 = abs((Q_Cslack_C3/eta_HC_C3)/(cp*(T_H3_sup-T_H3_out)));
M_H4_s = Q_H4_s/(cp*(T_H4_s-T_H4_ret));
M_C1_d = Q_C1_d/(cp*abs(T_C1_sup-T_C1_out));
M_C3_d = Q_C3_d/(cp*abs(T_C3_sup-T_C3_out));
I(1,1) = ((p_E1_g-p_E1_d)/Sb)+(C_E1_C1/Sb)*p_E1_C1-
(abs(v_E1^2*Y11)*cosd(delta_E1-delta_E1-
theta_Y11)+abs(v_E1*v_E2*Y12)*cosd(delta_E1-delta_E2-theta_Y12));
I(2,1) = ((p_E2_g-p_E2_d)/Sb)-(abs(v_E1*v_E2*Y21)*cosd(delta_E2-
delta_E1-theta_Y21)+abs(v_E2^2*Y22)*cosd(delta_E2-delta_E2-
theta_Y22)+abs(v_E2*v_E3*Y23)*cosd(delta_E2-delta_E3-theta_Y23));
I(3,1) = ((q_E2_g-q_E2_d)/Sb)-(abs(v_E1*v_E2*Y21)*sind(delta_E2-
delta_E1-theta_Y21)+abs(v_E2^2*Y22)*sind(delta_E2-delta_E2-
theta_Y22)+abs(v_E2*v_E3*Y23)*sind(delta_E2-delta_E3-theta_Y23));
I(4,1) = V_G1_s-
V_G1_d+C_G1_C1*abs((E_G1_C1/(GCV*1000))*3600)+(A_G(1)*S21*(S21*(pr_G2-
pr_G1)/K_G1)^(1/m_G));
I(5,1) = V_G3_s-V_G3_d+A_G(7)*S23*(S23*(pr_G2-
pr_G3)/K_G2)^(1/m_G)+A_G(11)*S34*(S34*(pr_G3-pr_G4)/K_G3)^(1/m_G);
I(6,1) = V_G4_s-
V_G4_d+C_G4_C2*abs((E_G4_C2/(GCV*1000))*3600)+A_G(12)*S34*(S34*(pr_G3-
pr_G4)/K_G3)^(1/m_G);
I(7,1) = -M_H2_d+(A_H(2)*m_H1+A_H(6)*m_H2);
I(8,1) = C_H3_C3*(M_H3_C3)+(A_H(7)*m_H2+A_H(11)*m_H3);
I(9,1) = M_H4_s+(A_H(12)*m_H3);
I(10,1) = -M_C1_d+(A_C(1)*m_C1);
I(11,1) = -M_C3_d+(A_C(6)*m_C2);

end

function T = Temperatures(x,param_ctes_bis)
xcell=num2cell(x);
[m_H1, m_H2, m_H3, m_C1, m_C2]=deal(xcell{7:11});
[rhtc1_h, pl1_h, pd1_h, T_H1_sup, T_amb, cp, rhtc2_h, pl2_h, pd2_h, ...
rhtc3_h, pl3_h, pd3_h, T_H4_sup, T_H3_ret, Q_H2_d, T_H2_out, rhtc1_c,
...
pl1_c, pd1_c, T_C2_sup, rhtc2_c, pl2_c, pd2_c, T_C1_ret,
T_C3_ret]=deal(param_ctes_bis{:});
% TEMPERATURAS (red térmica)
delta_Tsup_H_rama1=(pi*rhtc1_h*pl1_h*pd1_h*(T_H1_sup-
T_amb))/(m_H1*cp*1000); %T_H2_Sup
T_H2_sup = T_H1_sup-delta_Tsup_H_rama1; %T_H2_Sup
delta_Tsup_H_rama2=(pi*rhtc2_h*pl2_h*pd2_h*(T_H2_sup-
T_amb))/(m_H2*cp*1000); %T_H3_Sup
delta_Tsup_H_rama3=(pi*rhtc3_h*pl3_h*pd3_h*(T_H4_sup-
T_amb))/(m_H3*cp*1000); %T_H3_Sup
T_H3_sup = (m_H2*(T_H2_sup-delta_Tsup_H_rama2)+m_H3*(T_H4_sup-
delta_Tsup_H_rama3))/(m_H2+m_H3); %T_H3_Sup
delta_Tret_H_rama3=(pi*rhtc3_h*pl3_h*pd3_h*(T_H3_ret-
T_amb))/(m_H3*cp*1000); %T_H4_ret
T_H4_ret = T_H3_ret-delta_Tret_H_rama3; %T_H4_ret
delta_Tret_H_rama2=(pi*rhtc2_h*pl2_h*pd2_h*(T_H3_ret-
T_amb))/(m_H2*cp*1000); %T_H2_ret
M_H2_d=Q_H2_d/(cp*(T_H2_sup-T_H2_out)); %T_H2_ret
T_H2_ret = (m_H2*(T_H3_ret-
delta_Tret_H_rama2)+M_H2_d*T_H2_out)/(m_H2+M_H2_d); %T_H2_ret

```

```

delta_Tret_H_ramal=(pi*rhtcl_h*p11_h*pd1_h*(T_H2_ret-
T_amb))/(m_H1*cp*1000); %T_H1_ret
T_H1_ret = T_H2_ret-delta_Tret_H_ramal; %T_H1_ret
delta_Tsup_C_ramal=(pi*rhtcl_c*p11_c*pd1_c*(T_C2_sup-
T_amb))/(m_C1*cp*1000); %T_C1_sup
T_C1_sup = T_C2_sup-delta_Tsup_C_rama1; %T_C1_sup
delta_Tsup_C_rama2=(pi*rhtc2_c*p12_c*pd2_c*(T_C2_sup-
T_amb))/(m_C2*cp*1000); %T_C3_sup
T_C3_sup = T_C2_sup-delta_Tsup_C_rama2; %T_C3_sup
delta_Tret_C_ramal=(pi*rhtcl_c*p11_c*pd1_c*(T_C1_ret-
T_amb))/(m_C1*cp*1000); %T_C2_ret
delta_Tret_C_rama2=(pi*rhtc2_c*p12_c*pd2_c*(T_C3_ret-
T_amb))/(m_C2*cp*1000); %T_C2_ret
T_C2_ret = (m_C1*(T_C1_ret-delta_Tret_C_ramal)+m_C2*(T_C3_ret-
delta_Tret_C_rama2))/(m_C1+m_C2); %T_C2_ret
T = {T_H2_sup, T_H3_sup, T_H1_ret, T_H2_ret, T_H4_ret, T_C1_sup, ...
      T_C3_sup, T_C2_ret};
End

function S = Sij(x,param_ctes)
xcell=num2cell(x);
[pr_G1, pr_G3, pr_G4]=deal(xcell{4:6});
pr_G2=param_ctes{31};
if (pr_G2 > pr_G1)
    S21 = 1;
else
    S21 = -1;
end
if (pr_G2 > pr_G3)
    S23 = 1;
else
    S23 = -1;
end
if (pr_G3 > pr_G4)
    S34 = 1;
else
    S34 = -1;
end
S = {S21, S23, S34};
end

```

Anexo B. Resultados de interés obtenidos a partir del código MATLAB

Los resultados se adjuntan en la siguiente página.

Xo =

```
0
0
1.0000
79.6031
91.6750
88.2894
1.0000
1.0000
1.0000
5.0000
5.0000
```

FX =

```
-0.2096
0.1920
0.3990
195.3947
0.0000
-0.0000
-5.7416
-0.1538
1.3923
-8.6705
-8.6705
```

X =

```
-0.5025
-0.1754
1.0066
43.9640
91.6750
88.2894
11.1123
5.0729
2.1488
13.6783
13.6783
```

FX =

```
1.0e-07 *
0.0000
0.0000
0.0000
```

```
-0.6301
 0.0000
-0.0000
-0.0099
-0.0591
-0.0000
 0
 0
```

Xhi =

	0	0	1.0000	79.6031	91.6750	88.2894	1.0000	1.0000 ↵
1.0000	5.0000	5.0000						
	-0.5248	-0.1876	1.0066	62.7590	91.6750	88.2894	9.2381	3.4965 ↵
2.3923	13.6705	13.6705						
	-0.4977	-0.1739	1.0066	43.2522	91.6750	88.2894	11.4676	5.3639 ↵
2.1713	13.6783	13.6783						
	-0.5032	-0.1756	1.0066	44.5866	91.6750	88.2894	11.0408	5.0111 ↵
2.1511	13.6783	13.6783						
	-0.5023	-0.1753	1.0066	43.8478	91.6750	88.2894	11.1258	5.0844 ↵
2.1491	13.6783	13.6783						
	-0.5025	-0.1754	1.0066	43.9876	91.6750	88.2894	11.1096	5.0706 ↵
2.1489	13.6783	13.6783						
	-0.5025	-0.1754	1.0066	43.9595	91.6750	88.2894	11.1129	5.0734 ↵
2.1488	13.6783	13.6783						
	-0.5025	-0.1754	1.0066	43.9649	91.6750	88.2894	11.1122	5.0728 ↵
2.1488	13.6783	13.6783						
	-0.5025	-0.1754	1.0066	43.9639	91.6750	88.2894	11.1124	5.0729 ↵
2.1488	13.6783	13.6783						
	-0.5025	-0.1754	1.0066	43.9641	91.6750	88.2894	11.1123	5.0729 ↵
2.1488	13.6783	13.6783						
	-0.5025	-0.1754	1.0066	43.9640	91.6750	88.2894	11.1123	5.0729 ↵
2.1488	13.6783	13.6783						
	-0.5025	-0.1754	1.0066	43.9640	91.6750	88.2894	11.1123	5.0729 ↵
2.1488	13.6783	13.6783						
	-0.5025	-0.1754	1.0066	43.9640	91.6750	88.2894	11.1123	5.0729 ↵
2.1488	13.6783	13.6783						
	-0.5025	-0.1754	1.0066	43.9640	91.6750	88.2894	11.1123	5.0729 ↵

FXhi =

	-0.2096	0.1920	0.3990	195.3947	0.0000	-0.0000	-5.7416	-0.1538 ↵
1.3923	-8.6705	-8.6705						
	-0.0010	0.0052	-0.0019	-48.7621	0.0000	-0.0000	-0.3620	-1.6422 ↵
-0.2210	-0.0077	-0.0077						
	-0.0003	-0.0001	-0.0005	-11.7307	0.0000	-0.0000	0.0739	0.3731 ↵
-0.0202	0.0000	0.0000						
	0.0000	-0.0000	0.0001	-0.7804	0.0000	-0.0000	-0.0117	-0.0713 ↵
-0.0020	-0.0000	-0.0000						
	-0.0000	0.0000	0.0000	0.1372	0.0000	-0.0000	0.0024	0.0140 ↵

-0.0002	0.0000	0.0000						
-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0294	0.0000	-0.0000	-0.0005	-0.0027	✗
-0.0000	-0.0000	-0.0000						
-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0057	0.0000	-0.0000	0.0001	0.0005	✗
-0.0000	0	0						
0.0000	0.0000	0.0000	-0.0011	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0001	✗
-0.0000	0	0						
-0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	✗
-0.0000	0	0						
0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	✗
-0.0000	0	0						
-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	✗
-0.0000	0	0						
0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	✗
-0.0000	0	0						
-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	✗
-0.0000	0	0						
0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	✗
-0.0000	0	0						
-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	✗
-0.0000	0	0						
0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	✗
-0.0000	0	0						

```
param no cteshi =
```

>>