

Anexos: Códigos de Matlab

Índice

1	Anexos: Códigos de Matlab	131
1.1	Análisis sin efectos de compresibilidad.....	131
1.1.1	Análisis de funcionamiento en modo bomba	131
1.1.2	Análisis en funcionamiento modo turbina	142
1.2	Análisis con efectos de compresibilidad	151
1.2.1	Cierre instantáneo sin fricción	151
1.2.2	Cierre instantáneo con fricción	153
1.2.3	Cierre no instantáneo con fricción.....	155
1.2.4	Cierre no instantáneo con fricción y con turbina	157
1.2.5	Cierre no instantáneo con fricción, con turbina y con chimenea.....	162

1 Anexos: Códigos de Matlab

1.1 Análisis sin efectos de compresibilidad

1.1.1 Análisis de funcionamiento en modo bomba

1.1.1.1 Estacionario en régimen de bombeo

- Programa principal:

```
clc
clear
global z0 z13 z14 C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 C9 C11 C12 C13 C14 B0 B1 B2

EPS = 1e-7 ; % incremento para derivadas
PREC = 1e-4 ; % precisión relativa requerida
Niter = 20 ; % número máximo de iteraciones
N = 4 ; %NUMERO DE INCOGNITAS
Ieps = EPS*eye(N) ; % eps * matriz identidad NxN

% cotas en m
z0 = 586.5 ; %ALTURA DEL DEPOSITO MÁXIMA
%z0 = 566.5 ; %ALTURA DEL DEPOSITO MÍNIMA
z1 = 548.2 ;
z2 = 534.6 ;
z3 = 521.1 ;
z4 = 516.6 ;
z5 = 390.7 ;
z6 = 372.6 ;
z7 = 293.5 ;
z8 = 270.5 ;
z9 = 239.6 ;
z10 = 239.6 ;
z11 = 163 ;
z12 = 163 ;
z13 = 163 ;
z14 = 163 ;
z15 = 163 ;
z16 = 163 ;

zs = 586.5 ;

% longitudes de los tramos en m

L1 = 154.8 ;
L2 = 154.8 ;
L3 = 154.8 ;
L4 = 51.8 ;
L5 = 160.4 ;
L6 = 121.9 ;
L7 = 136.15 ;
L8 = 58.9 ;
L9 = 89.7 ;
L10 = 89.7 ;
```

```
L11 = 114 ;  
L12 = 114 ;  
L13 = 48 ;  
L14 = 48 ;  
L15 = 48 ;  
L16 = 48 ;
```

```
% H=636,96 - 5,85441·Q - 0,107618·Q^2\  
B0 =636.96 ; B1=- 5.85441 ; B2 = - 0.107618 ;
```

```
landa = 0.01 ; % coeficiente de fricción
```

```
% diámetro de los conductos en m
```

```
D1 = 5.4 ;  
D2 = 5.4 ;  
D3 = 5.4 ;  
D4 = 5.4 ;  
D5 = 5.4 ;  
D6 = 4.8 ;  
D7 = 4.8 ;  
D8 = 4.4 ;  
D9 = 3.4 ;  
D10 = 3.4 ;  
D11 = 3.15 ;  
D12 = 3.15 ;  
D13 = 1.5 ;  
D14 = 1.5 ;  
D15 = 1.5 ;  
D16 = 1.5 ;
```

```
Ds = 8.5 ;  
Dcs = 4 ;
```

```
%AREAS DE LOS CONDUCTOS
```

```
A1 = pi/4 * D1*D1 ;  
A2 = pi/4 * D2*D2 ;  
A3 = pi/4 * D3*D3 ;  
A4 = pi/4 * D4*D4 ;  
A5 = pi/4 * D5*D5 ;  
A6 = pi/4 * D6*D6 ;  
A7 = pi/4 * D7*D7 ;  
A8 = pi/4 * D8*D8 ;  
A9 = pi/4 * D9*D9 ;  
A10 = pi/4 * D10*D10 ;  
A11 = pi/4 * D11*D11 ;  
A12 = pi/4 * D12*D12 ;  
A13 = pi/4 * D13*D13 ;  
A14 = pi/4 * D14*D14 ;  
A15 = pi/4 * D15*D15 ;  
A16 = pi/4 * D16*D16 ;
```

```
% --- Constantes de pérdida de carga en m/(l/s)^2
```

```
C1 = (landa*L1/D1 + 3)/2/9.81/A1/A1 ; % Q0 > 0  
C2 = (landa*L2/D2 + 3)/2/9.81/A2/A2 ; % Q0 > 0  
C3 = (landa*L3/D3 + 3)/2/9.81/A3/A3 ; % Q0 > 0  
C4 = (landa*L4/D4 + 3)/2/9.81/A4/A4 ; % Q0 > 0  
C5 = (landa*L5/D5 + 3)/2/9.81/A5/A5 ; % Q0 > 0
```

```

C6 = (landa*L6/D6 + 3)/2/9.81/A6/A6 ; % Q0 > 0
C7 = (landa*L7/D7 + 3)/2/9.81/A7/A7 ; % Q0 > 0
C8 = (landa*L8/D8 + 3)/2/9.81/A8/A8 ; % Q0 > 0
C9 = (landa*L9/D9 + 3)/2/9.81/A9/A9 ; % Q0 > 0
C10 = (landa*L10/D10 + 3)/2/9.81/A10/A10 ; % Q0 > 0
C11 = (landa*L11/D11 + 3)/2/9.81/A11/A11 ; % Q0 > 0
C12 = (landa*L12/D12 + 3)/2/9.81/A12/A12 ; % Q0 > 0
C13 = (landa*L13/D13 + 3)/2/9.81/A13/A13 ; % Q0 > 0
C14 = (landa*L14/D14 + 3)/2/9.81/A14/A14 ; % Q0 > 0
C15 = (landa*L15/D15 + 3)/2/9.81/A15/A15 ; % Q0 > 0
C16 = (landa*L16/D16 + 3)/2/9.81/A16/A16 ; % Q0 > 0

Cs = 4.28*1e-4 ; %Pág 78 PFC Lara Rosales
% --- Valores iniciales para iterar
X = [27.2 27.2 54.4 500] ;
% Q_bomba1= 27.2 m^3/s, Q_bomba2= 27.2 m^3/s, Q_B = 54.4 m^3/s, H_B =
30 m

for i=1:100
    x(i) = i ;
    f(i) = B0 + B1*x(i) + B2*x(i)^2 ; % una bomba
    g(i) = B0 + B1*2*x(i) + B2*4*x(i)^2 ; % suma de las dos
    bombas
    j(i) = f(i) + z13 - C13*x(i)*x(i); % una bomba
    k(i) = g(i) + z13 - C13*x(i)*x(i) - C14*x(i)*x(i); %dos bombas
    contando las pérdidas
    h(i) = z0 + (C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C10+C11+C12)*x(i)*x(i) ;
end

figure(1)
clf
plot(x,j)
hold on
plot(x,k,'--')
plot(x,h,'r')
legend(' Bomba',' Instalación');
axis([0 80 0 1000])
% set(gca,'xtick',[0 0.10 0.20 0.30 0.40])
grid on
xlabel({'\it Q} (m^3/s)','FontSize',15)
ylabel({'\it H_B} (m)','FontSize',15)

for k=1:Niter
    F = ecs_tdleest2b(X) ;
    for i=1:N
        J(:,i) = ( ecs_tdleest2b(X+Ieps(i,:)) - F ) / EPS ;
    end
    incr = transpose( inv(J)*F ) ;
    X = X - incr ;
    converg = max( abs(incr./X) ) ;
    if (converg < PREC) break; end
end

F = ecs_tdleest2b(X) ;

Iteraciones = k ;

X

```

- Subrutina:

```
function F = ecs_tdleest2b(X);

global z0 z13 z14 C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 C9 C11 C12 C13 C14 B0 B1 B2

H1 = B0 + B1*X(1) + B2*X(1)*X(1) ;
B0 =636.96 ; B1=- 5.85441 ; B2 = - 0.107618 ;
H2 = B0 + B1*X(2) + B2*X(2)*X(2) ;
B0 =636.96 ; B1=- 5.85441 ; B2 = - 0.107618 ;

% X = [27.2 27.2 54.4 500] ;
% Q_bomba1, Q_bomba2, Q_B, H_B

if( X(1)<0 ) perd14 = -C14*X(1)*X(1) ;
else perd14 = C14*X(1)*X(1) ; end
if( X(2)<0 ) perd13 = -C13*X(2)*X(2) ;
else perd13 = C13*X(2)*X(2) ; end
if( X(3)<0 ) perdB_1 = -
(C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C11+C12)*X(3)*X(3) ;
else perdB_1 = (C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C11+C12)*X(3)*X(3) ; end

F = [ X(4) - H1 + perd14 - z14
      X(4) - H2 + perd13 - z13
      X(4) - z0 - perdB_1
      X(3) - X(1) - X(2) ];
```

1.1.1.2 Transitorio en régimen de bombeo

- Programa principal:

```
clc
clear
global z0 Cs z13 C13 z14 C14 CBM Atf Ltf A13 L13 A14 L14 Agp Lgp CM1
As M t_apert rho g omega_n I B0 B1 B2

% longitudes de los tramos en m

L1 = 154.8 ;
L2 = 154.8 ;
L3 = 154.8 ;
L4 = 51.8 ;
L5 = 160.4 ;
L6 = 121.9 ;
L7 = 136.15 ;
L8 = 58.9 ;
L9 = 89.7 ;
L10 = 89.7 ;
L11 = 114 ;
L12 = 114 ;
L13 = 48 ;
L14 = 48 ;
L15 = 48 ;
L16 = 48 ;

% cotas en m
% z0 = 566.5 ; %ALTURA DEL DEPOSITO
z0 = 586.5 ;
z1 = 548.2 ;
z2 = 534.6 ;
z3 = 521.1 ;
z4 = 516.6 ;
z5 = 390.7 ;
z6 = 372.6 ;
z7 = 293.5 ;
z8 = 270.5 ;
z9 = 239.6 ;
z10 = 239.6 ;
z11 = 163 ;
z12 = 163 ;
z13 = 163 ;
z14 = 163 ;
z15 = 163 ;
z16 = 163 ;

Ds = 8.5 ; % diámetro interior de la chimenea de equilibrio (m)
As = pi/4 * Ds*Ds ; % área transversal del calderín (m^2)
A0 = 4 ; % diámetro de la chimenea de equilibrio en su conexión a la
conducción (m)

landa = 0.01 ; % coeficiente de fricción
```

% diámetro de los conductos en m

```
D1 = 5.4 ;
D2 = 5.4 ;
D3 = 5.4 ;
D4 = 5.4 ;
D5 = 5.4 ;
D6 = 4.8 ;
D7 = 4.8 ;
D8 = 4.4 ;
D9 = 3.4 ;
D10 = 3.4 ;
D11 = 3.15 ;
D12 = 3.15 ;
D13 = 1.5 ;
D14 = 1.5 ;
D15 = 1.5 ;
D16 = 1.5 ;
```

%AREAS DE LOS CONDUCTOS

```
A1 = pi/4 * D1*D1 ;
A2 = pi/4 * D2*D2 ;
A3 = pi/4 * D3*D3 ;
A4 = pi/4 * D4*D4 ;
A5 = pi/4 * D5*D5 ;
A6 = pi/4 * D6*D6 ;
A7 = pi/4 * D7*D7 ;
A8 = pi/4 * D8*D8 ;
A9 = pi/4 * D9*D9 ;
A10 = pi/4 * D10*D10 ;
A11 = pi/4 * D11*D11 ;
A12 = pi/4 * D12*D12 ;
A13 = pi/4 * D13*D13 ;
A14 = pi/4 * D14*D14 ;
A15 = pi/4 * D15*D15 ;
A16 = pi/4 * D16*D16 ;
```

% Pérdidas de carga para caudales en l/s

% donde hemos supuesto que las pérdidas localizadas son siempre $k_i=3$
% estas pérdidas deberán ser calculadas más exhaustivamente con
% posterioridad de cara a reflejar fielmente las pérdidas provocadas
por

% los cambios de sección entre tuberías

% las bifurcaciones

% las pérdidas de carga en las válvulas esféricas

```
C1 = (landa*L1/D1 + 3)/2/9.81/A1/A1 ; % Q0 > 0
C2 = (landa*L2/D2 + 3)/2/9.81/A2/A2 ; % Q0 > 0
C3 = (landa*L3/D3 + 3)/2/9.81/A3/A3 ; % Q0 > 0
C4 = (landa*L4/D4 + 3)/2/9.81/A4/A4 ; % Q0 > 0
C5 = (landa*L5/D5 + 3)/2/9.81/A5/A5 ; % Q0 > 0
C6 = (landa*L6/D6 + 3)/2/9.81/A6/A6 ; % Q0 > 0
C7 = (landa*L7/D7 + 3)/2/9.81/A7/A7 ; % Q0 > 0
C8 = (landa*L8/D8 + 3)/2/9.81/A8/A8 ; % Q0 > 0
C9 = (landa*L9/D9 + 3)/2/9.81/A9/A9 ; % Q0 > 0
C10 = (landa*L10/D10 + 3)/2/9.81/A10/A10 ; % Q0 > 0
C11 = (landa*L11/D11 + 3)/2/9.81/A11/A11 ; % Q0 > 0
C12 = (landa*L12/D12 + 3)/2/9.81/A12/A12 ; % Q0 > 0
```

```
C13 = (landa*L13/D13 + 3)/2/9.81/A13/A13 ; % Q0 > 0
C14 = (landa*L14/D14 + 3)/2/9.81/A14/A14 ; % Q0 > 0
C15 = (landa*L15/D15 + 3)/2/9.81/A15/A15 ; % Q0 > 0
C16 = (landa*L16/D16 + 3)/2/9.81/A16/A16 ; % Q0 > 0

% Cs = 4.28*1e-4 ; %Pág 78 PFC Lara Rosales
Cs = 4.44*1e-4 ; %Por el manual
CBM = C4 + C5 + C6 + C7 + C8 + C9 + C11 ;
Atf = pi/4 * 4.4 * 4.4; %Vamos a tomar este valor para simplificar
los cálculos
Ltf = L4 + L5 + L6 + L7 + L8 + L9 + L11 ;
Agp = pi/4 * 5.4 * 5.4;
Lgp = L1 + L2 + L3;
CM1 = C1 + C2 + C3;

M = 3e4 ; % pérdida de carga con válvula cerrada
t_apert = 370 ;
rho = 1000 ;
g = 9.81 ;
omega_n = 500 ;
I = 228714.8 ;% [kgm^3]
B0 = 636.96 ; B1 = - 5.85441 ; B2 = - 0.107618 ;

tfin = 600 ;
tspan = [0 tfin] ;
y0 = [27.2 0 27.2 27.2 586.5 0.01] ; % Q1, Q2, Qtf, Qgp, zs y omega
en t=0
OPTIONS = odeset('RelTol',1e-4);
[t,y] = ode45('ecs_tdletranbomb',tspan,y0,OPTIONS) ;

Q1 = y(:,1);
Q2 = y(:,2);
Qtf = y(:,3);
Qgp = y(:,4);
zs = y(:,5);
omega = y(:,6);

figure(1)
clf
plot(t,zs)
set(gca,'xtick',[0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600])
xlabel('t (s)','FontSize',15)
ylabel('zs (m)','FontSize',15)

figure(2)
clf
plot(t,Q1)
set(gca,'xtick',[0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600])
xlabel('t (s)','FontSize',15)
ylabel('Q_1 (m^3/s)','FontSize',15)

figure(3)
clf
plot(t,Q2)
set(gca,'xtick',[0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600])
xlabel('t (s)','FontSize',15)
ylabel('Q_2 (m^3/s)','FontSize',15)

figure(4)
clf
```

```

plot(t,omega)
axis([0 tfin 0 600])
set(gca,'xtick',[0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600])
xlabel('t (s)','FontSize',15)
ylabel('omega (r.p.m.)','FontSize',15)

for i=1:3*t_apert
    tt(i) = i ;
    kv(i) =(1 - tanh( (tt(i)-t_apert) / 10 ))/2 ;
end
figure(5)
clf
plot(tt,kv)
axis([0 2*t_apert -1 2])
xlabel('{\it t}','FontSize',15)
ylabel('{\it k_v}','FontSize',15)
print -deps2 kv_vs_t

%-----
%-----
% Pc = (Pc0+10.3) * ( Vc0/(Vc0 - Ac*y(3)) )^1.3 - 10.3 ;
% HM = Pc + y(3) + Cc*(y(1)-y(2))*abs(y(1)-y(2)) ;
%
% Pc = (Pc0+10.3) * (Vc0*ones(size(zc))./Vc).^1.3 -
10.3*ones(size(zc)) ;
% HM = Pc + zc + Cc*(Q1-Q2).^2 ;
% figure(4)
% clf
% plot(t,HM)
% xlabel('{\it Tiempo} (s)','FontSize',15)
% ylabel('{\it H_M} (m)','FontSize',15)
%-----
% Q1 = y(:,1);
% Q2 = y(:,2);
% Qtf = y(:,3);
% Qgp = y(:,4);
% zs = y(:,5);
% omega = y(:,6);

HM = zs + Cs*(Qtf-Qgp).*abs(Qtf-Qgp) ;
figure(6)
clf
plot(t,HM)
xlabel('{\it Tiempo} (s)','FontSize',15)
ylabel('{\it H_M} (m)','FontSize',15)

figure(7)
clf
plot(t,HM)
hold on
plot(t,zs,'--')
legend('{\it HB1}','{\it zs}')
xlabel('{\it Tiempo} (s)','FontSize',15)
ylabel('{\it HM y zs } (l/s)','FontSize',15)

HB1 = B0 + B1.*Q1 + B2*Q1.*Q1 ;
HB2 = B0*(omega./omega_n).^2 + B1*Q2.*(omega./omega_n) + B2*Q2.*Q2;

figure(8)

```

```

clf
plot(t,HB1)
hold on
plot(t,HB2,'--')
legend({'\it HB1'},{'\it HB2'})
xlabel({'\it Tiempo} (s)','FontSize',15)
ylabel({'\it HB1 y HB2} (l/s)','FontSize',15)

%-----
%   for i=1:3*Tv
%   tt(i) = i ;
%   kv(i) = tanh( (tt(i)-Tv) / t_c ) - tanh( (tt(i)-2*Tv) / t_c ) ;
% end
% figure(2)
% clf
% plot(tt,kv)
% axis([0 3*Tv -1 3])
% xlabel({'\it t}','FontSize',15)
% ylabel({'\it k_v}','FontSize',15)
% print -deps2 kv_vs_t

%PRIMERA MANERA QUE SE ME OCURRIÓ
% for i=1:size(HB2,1)
%   tt(i) = i ;
%   kvprima(i) = (1 - tanh( (tt(i)-t_apert) / 10 ))/2 ;
% end
R1 = z13 + HB1 - C13*Q1.*abs(Q1) ;
R3 = HM + CBM*Qtf.*abs(Qtf) ;

kv = (1 - tanh( (t-t_apert) / 10 ))/2 ;
R2 = z14 + HB2 - (C14 + M *kv).*Q2.*abs(Q2) ;
for i=1:size(t,1)
    if(t(i)<240)

        HB(i) = (Atf/Ltf*R3(i) + A13/L13*R1(i) + A14/L14*R2(i)) /
(ATf/Ltf + A13/L13 + A14/L14) ;
    else
        HB(i) = (Atf/Ltf*R3(i) + A13/L13*R1(i)) / (Atf/Ltf + A13/L13)
;
    end
end
%SEGUNDA FORMA
% for i=1:600
%   tt(i) = i ;
%   kvprima(i) = (1 - tanh( (tt(i)-t_apert) / 10 ))/2 ;
% % end
%   R1 = z13 + HB1 - C13.*Q1.*abs(Q1) ;
%   R3 = HM + CBM.*Qtf.*abs(Qtf) ;
%
%   if (i>240)
%       R2 = z14 + HB2 - (C14 + M .*kvprima).*Q2.*abs(Q2) ;
%
%       HB_sup240 = (Atf/Ltf.*R3 + A13/L13.*R1 + A14/L14.*R2) /
(ATf/Ltf + A13/L13 + A14/L14) ;
%   else
%       HB_inf240 = (Atf/Ltf.*R3 + A13/L13.*R1) / (Atf/Ltf +
A13/L13) ;
%   end
% end

```

```
% %TERCERA
% for i=1:100
%     x(i) = i/200.0 ;
%     f(i) = B0 + B1*x(i) + B3*x(i)^3 ; % para on = 1
%     g(i) = -400*x(i)*abs(x(i)) ;      % para on = 0
%     h(i) = z2-z1 + (C01+C02)*x(i)*x(i) ;
%
%     R1 = z13 + HB1 - C13.*Q1.*abs(Q1) ;
%     R3 = HM + CBM.*Qt.*abs(Qt) ;
%
%     R2 = z14 + HB2 - (C14 + M .*kvprima).*Q2.*abs(Q2) ;
%
%     HB_sup240 = (Atf/Ltf.*R3 + A13/L13.*R1 + A14/L14.*R2) / (Atf/Ltf
+ A13/L13 + A14/L14) ;
%
%     HB_inf240 = (Atf/Ltf.*R3 + A13/L13.*R1) / (Atf/Ltf + A13/L13) ;

% end
% figure(1)
% clf
% plot(x,f)
% hold on
% plot(x,g,'--')
% plot(x,h,'r')
% legend(' Bomba on',' Bomba off',' Instalación');
% axis([0 0.4 -10 40])
% set(gca,'xtick',[0 0.10 0.20 0.30 0.40])
% grid on
% xlabel('\it Q} (l/s)','FontSize',15)
% ylabel('\it H_M} (m)','FontSize',15)

figure(9)
clf
plot(t,HB)
% hold on
% plot(t,HB_inf240,'--')
legend('\it HB}')
xlabel('\it Tiempo} (s)','FontSize',15)
ylabel('\it HB} (l/s)','FontSize',15)
```

- Subrutina:

```
function deriv=ecs_tdletranbomb(t,y);

global z0 Cs z13 C13 z14 C14 CBM Atf Ltf A13 L13 A14 L14 Agp Lgp CM1
As M t_apert rho g omega_n I B0 B1 B2

HB1 = B0 + B1*y(1) + B2*y(1)*y(1) ;

HM = y(5) + Cs*(y(3)-y(4))*abs(y(3)-y(4)) ;
R1 = z13 + HB1 - C13*y(1)*abs(y(1)) ;

kv = (1 - tanh( (t-t_apert) / 10 ))/2 ;

R3 = HM + CBM*y(3)*abs(y(3)) ;

if(t > 240)

    HB2 = B0*(y(6)/omega_n)^2 + B1*y(2)*(y(6)/omega_n) + B2*y(2)*y(2)
;

    R2 = z14 + HB2 - (C14 + M * kv)*y(2)*abs(y(2)) ;

    HB = (Atf/Ltf*R3 + A13/L13*R1 + A14/L14*R2) / (Atf/Ltf + A13/L13 +
A14/L14) ;
    eta = -5.42101E-20 + 0.0588235*y(2)*y(6)/omega_n -
0.00108131*y(2)*y(2)*(y(6)/omega_n)^2 ;

    Cfluido = (rho*g*y(2)*HB2)/(y(6)*eta) ;% bomba en marcha
    Cmotor = 1.36100E+06 - 2155.44*y(6)+ 11.4579*y(6)^2 -
0.0234098*y(6)^3 ;
    dQ2 = 9.81*A14/L14 * ( R2 - HB ) ;

else

    HB = (Atf/Ltf*R3 + A13/L13*R1) / (Atf/Ltf + A13/L13) ;

    Cfluido = 0 ; % bomba parada
    Cmotor = 0 ; % bomba parada
    dQ2=0 ;

end

deriv = [ % caudales en m^3/s
    9.81*A13/L13 * ( R1 - HB )
    dQ2
    9.81*Atf/Ltf * ( HB - R3 )
    9.81*Agp/Lgp * ( HM - z0 - CM1*y(4)*abs(y(4)) )
    (y(3)-y(4))/As
    (Cmotor - Cfluido)/I
];
```

1.1.2 Análisis en funcionamiento modo turbina

1.1.2.1 Transitorio simplificado

- Programa principal:

```
%
clc
clear
close all
global Lgp Ltf Ltdif z1 C1ch CchT Ctdif Cch Agp Atf Atdif Ach Tv1 Tv2
t_a B0 B1 B2

Lgp = 3*154.8 ;           % longitud de la galería de presión(m)
Ltf = 1197.25 - Lgp ;    % longitud de la tubería forzada(m)
Ltdif = 20 ;             % longitud del tubo difusor
z1 = 400 ;               % cota del depósito 1 (m)
z2 = 0 ;                 % cota del depósito 2 (m)

landa = 0.02 ;           % coeficiente de fricción del conducto
D = 4.4 ;                % diámetro del conducto (m)
Agp = pi/4*D*D ;         % área del conducto a la entrada (m^2)
Atf = pi/4*D*D ;         % área del conducto a la entrada (m^2)
Atdif = 4.5*Atf ;        % área del conducto a la salida (m^2)
% Atdif = Atf ;

%Dch = 8.5 ;             % diámetro interior de la chimenea de
equilibrio (m)
Dch = 3 ;                % diámetro interior de la chimenea de
equilibrio (m)
Ach = pi/4 * Dch*Dch ;   % área transversal de la chimenea de
equilibrio (m^2)
A0 = 4 ;                 % diámetro de la chimenea de equilibrio en su
conexión a la conducción (m)

Tv1 = 50.0 ;             % periodo de apertura-cierre de la válvula
Tv2 = 600 ;
t_a = 10 ;               % tiempo de apertura de la válvula

% H=-103,499 + 22,19·Q - 0,0785307·Q^2\
B0= -103.499 ;
B1= 22.19 ;
B2= - 0.0785307 ;

% Pérdidas de carga para caudales en l/s

C1ch = ( landa*Lgp/D + 1.5 )/2/9.81/Agp/Agp ;
CchT = ( landa*Ltf/D + 1.5 )/2/9.81/Atf/Atf ;
Ctdif = ( landa*Ltdif/D + 0.5 )/2/9.81/Atdif/Atdif ;

Cch = 4.44*1e-4 ; %Por el manual

for i=1:2*Tv2
    tt(i) = i ;
```

```
% kv(i) = 1 - tanh( (tt(i)-Tv) / t_a ) ;  
kv = 2 - tanh( (tt-Tv1) / t_a ) + tanh( (tt-Tv2) / t_a ) ;  
end  
figure(1)  
clf  
plot(tt,kv)  
axis([0 2*Tv2 -1 3])  
xlabel('\it t}','FontSize',15)  
ylabel('\it k_v}','FontSize',15)  
print -deps2 kv_vs_t  
grid on  
  
% valores iniciales  
Qgp = 0 ; % caudal inicial con válvula cerrada  
% Qch = 0 ;  
zch = z1 ;  
% zch = 399.5 ;  
Qtf = 0 ;  
% HET = z2; % altura inicial  
% HST = 0 ;  
  
tfin = 5*Tv2 ; % comentar  
% tfin = 600 ; % descomentar  
tspan = [0 tfin] ;  
y0 = [Qgp zch Qtf] ;  
OPTIONS = odeset('RelTol',1e-3);  
[t,y] = ode45('ecs_trans_simp',tspan,y0,OPTIONS) ;  
  
% valores iniciales  
Qgp = y(:,1) ;  
zch = y(:,2) ;  
Qtf = y(:,3) ;  
  
HT = B0 + B1*Qtf + B2*Qtf.*Qtf ;  
figure(2)  
clf  
plot(t,HT)  
xlabel('\it Tiempo} (s)','FontSize',15)  
ylabel('\it Altura} (m)','FontSize',15)  
  
figure(3)  
clf  
plot(t,Qtf)  
axis([0 1000 0 27])  
% set(gca,'xtick',[0 0.10 0.20 0.30 0.40])  
grid on  
xlabel('\it Tiempo} (s)','FontSize',15)  
ylabel('\it Caudal Q_t_f} (m^3/s)','FontSize',15)  
  
% Hch = zch + Cch*(Qgp-Qtf).*(abs(Qgp-Qtf)) ;  
Hch = zch - Cch*(Qgp-Qtf).*(abs(Qgp-Qtf)) ;  
figure(4)  
clf  
plot(t,Hch)  
xlabel('\it Tiempo} (s)','FontSize',15)  
ylabel('\it H_c_h} (m)','FontSize',15)  
  
figure(5)
```

```
clf
plot(t,Hch)
hold on
plot(t,zch,'r--')
legend({'\it H_c_h'}, {'\it z_c_h'})
xlabel({'\it Tiempo} (s)', 'FontSize', 15)
ylabel({'\it H_c_h y z_c_h } (m)', 'FontSize', 15)

Qch = Qtf - Qgp;
figure(6)
clf
plot(t,Qch)
xlabel({'\it Tiempo} (s)', 'FontSize', 15)
ylabel({'\it Q_c_h} (m)', 'FontSize', 15)
```

- Subrutina:

```
function deriv=ecs_trans_simp(t,y);

global Lgp Ltf Ltdif z1 C1ch CchT Ctdif Cch Agp Atf Atdif Ach Tv1 Tv2
t_a B0 B1 B2
CVMAX = 1e4 ; % pérdida de carga con válvula cerrada
% CVMAX = 6e3 ; % pérdida de carga con válvula cerrada

kv = 2 - tanh( (t-Tv1) / t_a ) + tanh( (t-Tv2) / t_a ) ;% comentar
% kv = 1 - tanh( (t-Tv) / t_a ); % comentar
Ctf = CchT + CVMAX * kv ; % comentar

Cgp = C1ch ;
% Ctf = CchT ; % descomentar

HT = B0 + B1*y(3) + B2*y(3)*y(3) ;
Hch = y(2) + Cch*(y(1)-y(3))*abs(y(1)-y(3)) ;

% HET = (Ltdif*(Hch-
Ctf*y(3)*abs(y(3)))+Ltf*(HT+Ctdif*y(3)*abs(y(3))))/(Ltf+Ltdif);
HET = ((Atf/Ltf)*(Hch-
Ctf*y(3)*abs(y(3)))+(Atdif/Ltdif)*(HT+Ctdif*y(3)*abs(y(3))))/(Atf/Ltf+
Atdif/Ltdif);
% HET = 100 ;

deriv = [ % caudales en m^3/s
9.81*Agp/Lgp * ( z1 - Hch -Cgp*y(1)*abs(y(1)))
(y(1)-y(3))/Ach
9.81*Atf/Ltf * ( Hch - Ctf*y(3)*abs(y(3)) - HET)
];
```

1.1.2.2 Transitorio sin aproximaciones

- Programa principal:

```
%
clc
clear
close all
global Lgp Lch Ltf Ltdif z1 C1ch CchT Ctdif Cch Agp Ach Atf Atdif Tv1
Tv2 t_a B0 B1 B2 A Ctf Cgp

Lgp = 3*154.8 ;           % longitud de la galería de presión(m)
Ltf = 1197.25 - Lgp ;    % longitud de la tubería forzada(m)
Ltdif = 20 ;             % longitud del tubo difusor
z1 = 400 ;               % cota del depósito 1 (m)
z2 = 0 ;                 % cota del depósito 2 (m)

landa = 0.02 ;           % coeficiente de fricción del conducto
D = 4.4 ;                % diámetro del conducto (m)
Agp = pi/4*D*D ;         % área del conducto a la entrada (m^2)
Atf = pi/4*D*D ;         % área del conducto a la entrada (m^2)
Atdif = 4.5*Atf ;        % área del conducto a la salida (m^2)
% Atdif = Atf ;

g = 9.81 ;

%Dch = 8.5 ;             % diámetro interior de la chimenea de
equilibrio (m)
Dch = 2 ;                % diámetro interior de la chimenea de
equilibrio (m)
Ach = pi/4 * Dch*Dch ;   % área transversal de la chimenea de
equilibrio (m^2)

A0 = 4 ;                 % diámetro de la chimenea de equilibrio en su
conexión a la conducción (m)
Lch = 100 ;

Tv1 = 50.0 ;             % periodo de apertura-cierre de la válvula
Tv2 = 600 ;
t_a = 10 ;               % tiempo de apertura de la válvula

% H=-103,499 + 22,19·Q - 0,0785307·Q^2\
B0= -103.499 ;
B1= 22.19 ;
B2= - 0.0785307 ;

% Pérdidas de carga para caudales en l/s

C1ch = ( landa*Lgp/D + 1.5 )/2/9.81/Agp/Agp ;
CchT = ( landa*Ltf/D + 1.5 )/2/9.81/Atf/Atf ;
Ctdif = ( landa*Ltdif/D + 0.5 )/2/9.81/Atdif/Atdif ;
% Ctdif = ( landa*Ltdif/D)/2/9.81/Atf/Atf + (0.5)/2/9.81/Atdif/Atdif
;

Cch = 4.44*1e-4 ; %Por el manual
```

```
A(1,1)= Agp/Lgp+Ach/Lch+Atf/Ltf;
A(1,2)= -Atf/Ltf;
A(1,3)= 0;

A(2,1)= Atf/Ltf;
A(2,2)= -Atf/Ltf;
A(2,3)= -Atdif/Ltdif;

A(3,1)= 0;
A(3,2)= 1;
A(3,3)= -1;

for i=1:2*Tv2
    tt(i) = i ;
%    kv(i) = 1 - tanh( (tt(i)-Tv) / t_a ) ;
    kv = 2 - tanh( (tt-Tv1) / t_a ) + tanh( (tt-Tv2) / t_a ) ;
end
figure(1)
clf
plot(tt,kv)
axis([0 2*Tv2 -1 3])
xlabel('\it t','FontSize',15)
ylabel('\it k_v','FontSize',15)
print -deps2 kv_vs_t
grid on

% valores iniciales
Qgp = 0 ; % caudal inicial con válvula cerrada
Qch = 0 ;
Qtf = 0 ;
% Hch = z1 ;
% HET = z2; % altura inicial
% HST = 0 ;
zch = z1 ;
Qtdif = 0 ;

tfin = 5*Tv2 ; % comentar
% tfin = 240 ; % descomentar
% tfin = 3*Tv2; % descomentar
tspan = [0 tfin] ;
y0 = [Qgp Qch Qtf zch Qtdif] ;
OPTIONS = odeset('RelTol',1e-3);
[t,y] = ode45('ecs_trans',tspan,y0,OPTIONS) ;

Qgp = y(:,1) ;
Qch = y(:,2) ;
Qtf = y(:,3) ;
zch = y(:,4) ;
Qtdif = y(:,5);

HT = B0 + B1*Qtf + B2*Qtf.*Qtf ;
figure(2)
clf
plot(t,HT)
xlabel('\it Tiempo (s)','FontSize',15)
```

```
ylabel('{\it Altura HT} (m)', 'FontSize', 15)

figure(3)
clf
plot(t, Qgp)
xlabel('{\it Tiempo} (s)', 'FontSize', 15)
ylabel('{\it Caudal Q_g_p} (m^3/s)', 'FontSize', 15)

figure(4)
clf
plot(t, Qch)
xlabel('{\it Tiempo} (s)', 'FontSize', 15)
ylabel('{\it Caudal Q_c_h} (m^3/s)', 'FontSize', 15)

figure(5)
clf
plot(t, Qtf)
hold on
plot(t, Qtdif, '--')
legend('{\it Q_t_f}', '{\it Q_t_d_i_f}')
xlabel('{\it Tiempo} (s)', 'FontSize', 15)
ylabel('{\it Caudal Q_t_f y Caudal Q_t_d_i_f} (m^3/s)', 'FontSize', 15)

Q = Qgp+Qch-Qtf;
figure(6)
clf
plot(t, Q)
xlabel('{\it Tiempo} (s)', 'FontSize', 15)
ylabel('{\it Diferencia de Caudales} (m^3/s)', 'FontSize', 15)

% Hch = zch - Cch*Qch.*abs(Qch) ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% t_Hch = [0:tfin/(length(Hch)-1):tfin];

for i=1:1:length(Qtf)
    b(1,i)= (Agp/Lgp)*(z1-Cgp*Qgp(i).*abs(Qgp(i)))+(Ach/Lch)*(zch(i)-
Cch*Qch(i).*abs(Qch(i)))+(Atf/Ltf)*Ctf*Qtf(i).*abs(Qtf(i));
    b(2,i)= (Atf/Ltf)*Ctf*Qtf(i).*abs(Qtf(i))-
(Atdif/Ltdif)*Ctdif*Qtdif(i).*abs(Qtdif(i));
    b(3,i)= HT(i);
end

x=A\b;

Hch = x(1,:);
HET = x(2,:);
HST = x(3,:);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

figure(7)
clf
plot(t, zch, '-')
xlabel('{\it Tiempo} (s)', 'FontSize', 15)
ylabel('{\it z_c_h } (m)', 'FontSize', 15)
```

```
% axis([0 tfin 390 405])

figure(8)
clf
plot(t,Hch,'r--')
xlabel('{\it Tiempo} (s)','FontSize',15)
ylabel('{\it H_c_h } (m)','FontSize',15)
% axis([0 tfin 390 405])

figure(9)
clf
plot(t,zch,'-',t,Hch,'r--')
legend('{\it H_c_h}','{\it z_c_h}')
xlabel('{\it Tiempo} (s)','FontSize',15)
ylabel('{\it H_c_h y z_c_h } (m)','FontSize',15)

N = tfin;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% for i = 1:N-1
%     eps(i) = (Lch/g*Ach)*((Qch(i+1)-Qch(i))/(zch(i)-Hch(i)-
% Cch*Qch(i)*abs(Qch(i))))*(1/(t(i+1)-t(i))) ;
% end
%
%
% figure (10)
% plot (t(1:N-1),eps)
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

- Subrutina:

```
function deriv=ecs_trans_simp(t,y);

global Lgp Ltf Ltdif z1 C1ch CchT Ctdif Cch Agp Atf Atdif Ach Tv1 Tv2
t_a B0 B1 B2
CVMAX = 1e4 ; % pérdida de carga con válvula cerrada
% CVMAX = 6e3 ; % pérdida de carga con válvula cerrada

kv = 2 - tanh( (t-Tv1) / t_a ) + tanh( (t-Tv2) / t_a ) ;% comentar
% kv = 1 - tanh( (t-Tv) / t_a ) ; % comentar
Ctf = CchT + CVMAX * kv ; % comentar

Cgp = C1ch ;
% Ctf = CchT ; % descomentar

HT = B0 + B1*y(3) + B2*y(3)*y(3) ;
Hch = y(2) + Cch*(y(1)-y(3))*abs(y(1)-y(3)) ;

% HET = (Ltdif*(Hch-
Ctf*y(3)*abs(y(3)))+Ltf*(HT+Ctdif*y(3)*abs(y(3))))/(Ltf+Ltdif);
HET = ((Atf/Ltf)*(Hch-
Ctf*y(3)*abs(y(3)))+(Atdif/Ltdif)*(HT+Ctdif*y(3)*abs(y(3))))/(Atf/Ltf+
Atdif/Ltdif);
% HET = 100 ;

deriv = [ % caudales en m^3/s
          9.81*Agp/Lgp * ( z1 - Hch -Cgp*y(1)*abs(y(1))
          (y(1)-y(3))/Ach
          9.81*Atf/Ltf * ( Hch - Ctf*y(3)*abs(y(3)) - HET)
          ];
```

1.2 Análisis con efectos de compresibilidad

1.2.1 Cierre instantáneo sin fricción

```
% Método de las características
% Este programa no considera la aparición de cavitación

clc
clear all
close all

% Datos
Lgp = 3*154.8 ;      % longitud de la galería de presión(m)
Ltf = 1197.25-Lgp ; % longitud de la tubería forzada(m)
Ltdif = 20 ;        % longitud del tubo difusor

L= Lgp + Ltf ;

landa = 0.02 ;      % coeficiente de fricción del conducto
D = 4.4 ;           % diámetro del conducto (m)
v_0 = 1 ;           % m/s
c_0 = 1300 ;        % m/s

N = 50 ;
inc_t = 1.0/N ;     % Incremento de tiempo
tfin = 50 ;
t_p = (0:1.0/N:tfin);
lt=length(t_p);     % = tfin*N + 1

x_p = (0:1.0/N:1);
lx=length(x_p);     % = N + 1

% Condiciones de iniciales para t=0 (primera fila) y para toda x
% (todas las columnas)

p_p(1,1:lx) = 0 ;
v_p(1,1:lx) = 1 ;

% A continuación, se resuelven el resto de los puntos

A = [1 1 ; 1 -1];

for i = 2:lt
    j=1;
    p_p(i,j) = 0 ;
    v_p(i,j) = v_p(i-1,j+1) - p_p(i-1,j+1) ;
    j=lx;
    v_p(i,j) = 0 ;
    p_p(i,j) = v_p(i-1,j-1) + p_p(i-1,j-1) ;
    for j = 2:lx-1
        b(1,1) = v_p(i-1,j-1) + p_p(i-1,j-1);
        b(2,1) = v_p(i-1,j+1) - p_p(i-1,j+1);
        x=A\b;
        v_p(i,j) = x(1);
    end
end
```

```
        p_p(i,j) = x(2);
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Representación gráfica (animación)

m = size(v_p,1) ;
figure(1)
clf
% hv = plot(x,v(1:n),'EraseMode','background');
hp = plot(x_p,p_p(1,:), 'EraseMode','xor');
hold on
hv = plot(x_p,v_p(1,:), 'r', 'EraseMode','xor');
axis([0 1 -1.2 1.2])
% axis square
% box on
set(gca, 'xtick',[0 0.2 0.4 0.6 0.8 1])
set(gca, 'ytick',[-1.2 -1.0 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
1.2])
% grid
xlabel('\it x/L','FontSize',15)
ylabel('\it v/v_o , \it p/p_o','FontSize',15)
title('Presión y velocidad a lo largo del conducto')

for j=2:m
    pause(0.01);
    % set(hv,'XData',x,'YData',v( n*(j-1)+1 : n*j ))
    set(hp, 'YData',p_p(j,:))
    set(hv, 'YData',v_p(j,:))
    drawnow
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure(2)
axis([0 1 -2 2])
% plot(t_p,p_p(:,12),'r')
% hold on
plot(t_p,p_p(:,51),'r')
xlabel('\it t/t_i_v','FontSize',15)
ylabel('\it p/p_o','FontSize',15)
hold on
```

1.2.2 Cierre instantáneo con fricción

```
% Método de las características
% Este programa no considera la aparición de cavitación

clc
clear all
close all

% Datos
Lgp = 3*154.8 ;      % longitud de la galería de presión(m)
Ltf = 1197.25-Lgp ; % longitud de la tubería forzada(m)
Ltdif = 20 ;        % longitud del tubo difusor

L= Lgp + Ltf ;

landa = 0.02 ;      % coeficiente de fricción del conducto
D = 4.4 ;           % diámetro del conducto (m)
v_0 = 1 ;           % m/s
c_0 = 1300 ;        % m/s

N = 50 ;
inc_t = 1.0/N ;     % Incremento de tiempo
tfin = 50 ;
t_p = (0:1.0/N:tfin);
lt=length(t_p);     % = tfin*N + 1

x_p = (0:1.0/N:1);
lx=length(x_p);     % = N + 1

% Condiciones de iniciales para t=0 (primera fila) y para toda x
% (todas las columnas)

p_p(1,1:lx) = 0 ;
v_p(1,1:lx) = 1 ;

% A continuación, se resuelven el resto de los puntos

A = [1 1 ; 1 -1];

for i = 2:lt
    j=1;
    p_p(i,j) = 0 ;
    v_p(i,j) = v_p(i-1,j+1) - p_p(i-1,j+1) -
    landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j+1)*abs(v_p(i-1,j+1)) +
    p_p(i,j) ;
    j=lx;
    v_p(i,j) = 0 ;
    p_p(i,j) = v_p(i-1,j-1) + p_p(i-1,j-1) -
    landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j-1)*abs(v_p(i-1,j-1)) -
    v_p(i,j);
    for j = 2:lx-1
        b(1,1) = v_p(i-1,j-1) + p_p(i-1,j-1) -
        landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j-1)*abs(v_p(i-1,j-1));
```

```
        b(2,1) = v_p(i-1,j+1) - p_p(i-1,j+1) -  
landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j+1)*abs(v_p(i-1,j+1));  
        x=A\b;  
        v_p(i,j) = x(1);  
        p_p(i,j) = x(2);  
    end  
end  
  
% Representación gráfica (animación)  
  
m = size(v_p,1) ;  
figure(1)  
clf  
% hv = plot(x,v(1:n),'EraseMode','background');  
hp = plot(x_p,p_p(1,:), 'EraseMode','xor');  
hold on  
hv = plot(x_p,v_p(1,:), 'r', 'EraseMode','xor');  
axis([0 1 -1.2 1.2])  
% axis square  
% box on  
set(gca, 'xtick',[0 0.2 0.4 0.6 0.8 1])  
set(gca, 'ytick',[-1.2 -1.0 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0  
1.2])  
% grid  
xlabel({'\it x/L'}, 'FontSize',15)  
ylabel({'\it v/v}_o , '\it p/p}_o', 'FontSize',15)  
title('Presión y velocidad a lo largo del conducto')  
  
for j=2:m  
    pause(0.01);  
    % set(hv, 'XData',x, 'YData',v( n*(j-1)+1 : n*j ))  
    set(hp, 'YData',p_p(j,:))  
    set(hv, 'YData',v_p(j,:))  
    drawnow  
end  
  
figure(2)  
plot(t_p,p_p(:,12), 'r')  
hold on  
plot(t_p,p_p(:,51), 'b')
```

1.2.3 Cierre no instantáneo con fricción

```
% Método de las características
% Este programa no considera la aparición de cavitación

clc
clear all
close all

% Datos
Lgp = 3*154.8 ;      % longitud de la galería de presión(m)
Ltf = 1197.25-Lgp ; % longitud de la tubería forzada(m)
Ltdif = 20 ;        % longitud del tubo difusor

L= Lgp + Ltf ;

landa = 0.02 ;      % coeficiente de fricción del conducto
D = 4.4 ;           % diámetro del conducto (m)
v_0 = 1 ;           % m/s
c_0 = 1300 ;        % m/s

N = 50 ;
inc_t = 1.0/N ;     % Incremento de tiempo
tfin = 50 ;
t_p = (0:1.0/N:tfin);
lt=length(t_p);     % = tfin*N + 1

x_p = (0:1.0/N:1);
lx=length(x_p);     % = N + 1

% Condiciones de iniciales para t=0 (primera fila) y para toda x
% (todas las columnas)

p_p(1,1:lx) = 0 ;
v_p(1,1:lx) = 1 ;

% A continuación, se resuelven el resto de los puntos

A = [1 1 ; 1 -1];

for i = 2:lt
    j=1;
    p_p(i,j) = 0 ;
    v_p(i,j) = v_p(i-1,j+1) - p_p(i-1,j+1) -
    landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j+1)*abs(v_p(i-1,j+1)) +
    p_p(i,j) ;
    j=lx;
    v_p(i,j) = 0 ;
    p_p(i,j) = v_p(i-1,j-1) + p_p(i-1,j-1) -
    landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j-1)*abs(v_p(i-1,j-1)) -
    v_p(i,j);
    for j = 2:lx-1
        b(1,1) = v_p(i-1,j-1) + p_p(i-1,j-1) -
        landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j-1)*abs(v_p(i-1,j-1));
```

```
        b(2,1) = v_p(i-1,j+1) - p_p(i-1,j+1) -  
landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j+1)*abs(v_p(i-1,j+1));  
        x=A\b;  
        v_p(i,j) = x(1);  
        p_p(i,j) = x(2);  
    end  
end  
  
% Representación gráfica (animación)  
  
m = size(v_p,1) ;  
figure(1)  
clf  
% hv = plot(x,v(1:n), 'EraseMode', 'background');  
hp = plot(x_p,p_p(1,:), 'EraseMode', 'xor');  
hold on  
hv = plot(x_p,v_p(1,:), 'r', 'EraseMode', 'xor');  
axis([0 1 -1.2 1.2])  
% axis square  
% box on  
set(gca, 'xtick', [0 0.2 0.4 0.6 0.8 1])  
set(gca, 'ytick', [-1.2 -1.0 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0  
1.2])  
% grid  
xlabel({'\it x/L'}, 'FontSize', 15)  
ylabel({'\it v/v}_o , '\it p/p}_o', 'FontSize', 15)  
title('Presión y velocidad a lo largo del conducto')  
  
for j=2:m  
    pause(0.01);  
    % set(hv, 'XData', x, 'YData', v( n*(j-1)+1 : n*j ))  
    set(hp, 'YData', p_p(j,:))  
    set(hv, 'YData', v_p(j,:))  
    drawnow  
end  
  
figure(2)  
plot(t_p,p_p(:,12), 'r')  
hold on  
plot(t_p,p_p(:,51), 'b')
```

1.2.4 Cierre no instantáneo con fricción y con turbina

```
% Método de las características
% Este programa no considera la aparición de cavitación

clc
clear all
close all

% Datos
Lgp = 3*154.8 ;      % longitud de la galería de presión(m)
Ltf = 1197.25-Lgp ; % longitud de la tubería forzada(m)
Ltdif = 20 ;        % longitud del tubo difusor

L= Lgp + Ltf ;

landa = 0.02 ;      % coeficiente de fricción del conducto
D = 4.4 ;           % diámetro del conducto (m)
% v_0 = 1 ;         % m/s
c_0 = 1300 ;        % m/s

N = 50 ;
inc_t = 1.0/N ;     % Incremento de tiempo
tfin = 20.0 ;
% tfin = 0.1 ;
t_p = (0:1.0/N:tfin);
lt=length(t_p);     % = tfin*N + 1

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% nuevos parámetros para imponer el cierre no instantáneo
t_c = 1;            % tiempo de cierre de la válvula
t_iv = L/c_0;       % tiempo de ida y vuelta de la onda
A_e = (pi*D^2)/4;   % Área de entrada de la válvula
A_s = A_e ;         % Área de salida de la válvula
% a_0 = A_s/A_e ;   % Constante adimensionales para t=0
% a_0 = 0.01129200682 ; % Para que salga finalmente v_0 próximo a 1
H_g = 400 ;
g = 9.81 ;

% v_0 = sqrt((2*g*H_g)/(1/(a_0^2)+landa*L/D));

% n = 0.5;          % (n<1/2) Cierre muy rápido, siempre aparece
compresibilidad
% n = 1.0;          % Ley de cierre lineal
% n = 2.0;          % Cierre lento

% a = a_0*((t_c-t_p)/t_c).^n ; % Ley de cierre

% v_0 = sqrt((2*g*H_g)/(1/(a(1)^2)+landa*L/D));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

x_p = (0:1.0/N:1);
```

```
lx=length(x_p);      % = N + 1

rho_0 = 1000 ; % [kg/m3]
g = 9.81 ;      % [m/s2]
H_g = 400;      % [m]
p_a = 1*10^5 ; % [Pa]

alpha = asin(H_g/(Lgp+Ltf+Ltdif));
x = x_p*(Lgp+Ltf+Ltdif);
z = (Lgp+Ltf+Ltdif-x)*sin(alpha);

landa = 0.02 ;      % coeficiente de fricción del conducto
D = 4.4 ;           % diámetro del conducto (m)
Agp = pi/4*D*D ;    % área del conducto a la entrada (m^2)
Atf = pi/4*D*D ;    % área del conducto a la entrada (m^2)
% Atdif = 4.5*Atf ;    % área del conducto a la salida (m^2)
% C1ch = ( landa*Lgp/D + 1.5 )/2/9.81/Agp/Agp ;
% CchT = ( landa*Ltf/D + 1.5 )/2/9.81/Atf/Atf ;
Ctdif = ( landa*Ltdif/D + 0.5 )/2/9.81/Atf/Atf ;

% v_E = v_p*v_0;

% H=-103,499 + 22,19·Q - 0,0785307·Q^2\
B0= -103.499 ;
B1= 22.19 ;
B2= - 0.0785307 ;

% Q = v_p*v_0*Atf ;
% HT = B0 + B1*Q + B2*Q.*Q ;
% HS = Ctdif*(Atf^2/Atdif^2)*(v_p*v_0).*(v_p*v_0);
% HE = HS + HT ;
z_E = H_g - (Lgp+Ltf)*sin(alpha);
% p_E = (HE - z_E - ((v_p*v_0).*(v_p*v_0))/(2*g))*rho_0*g - p_a;
% p_Ep = (p_E+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0);

t_a = t_c ;
t = (0:1.0/N:t_c);
% kv = 1 + tanh( (t-t_c*N) / t_a );
C_0=70;
o=0.4;
% o=1e-6;
kv=C_0./(t_c*N-t*N).^o - C_0./(t_c*N).^o;

C=0;

k = kv;

figure(1)
clf
plot(t,k)
% axis([0 200 -1 2*H_g])
xlabel('\it t','FontSize',15)
ylabel('\it k_v','FontSize',15)
print -deps2 kv_vs_t

% Condiciones de iniciales para t=0 (primera fila) y para toda x
(todas las columnas)
```

```

c_0 = 1300 ;
% % v_0 = sqrt((2*g*H_g)/(1/(a_0^2)+landa*L/D));
% c_a = (Ctdif+B2+C1ch+CchT)*Atf^2;
% c_b = B1*Atf;
% % c_c = B0-rho_0*g*H_g;
% c_c = B0-H_g;
% v_0 = (-c_b + sqrt(c_b^2-4*c_a*c_c))/(2*c_a);
% p_0 = rho_0*v_0*c_0;

% v_0 = sqrt((2*g*H_g)/(1/(a_0^2)+landa*L/D));
c_a = (Ctdif+B2)*Atf^2+0.5*(-1+landa*L/D);
% c_a2 = (Ctdif+B2)*Atf^2+0.5*(1+landa*L/D)
c_b = B1*Atf;
% c_c = B0-rho_0*g*H_g;
c_c = (B0-H_g);
v_0 = (-c_b + sqrt(c_b^2-4*c_a*c_c))/(2*c_a)
p_0 = rho_0*v_0*c_0;

% p_p(1,1:lx) = 0 ;
% p_p = rand(1,1x);
for i = 1:lx
%     p_p(1,i) = -(landa*(L+Ltdif)/(2*D))*(v_0/c_0)*i/lx ;
    p_p(1,i) = -(landa*(L)/(2*D))*(v_0/c_0)*i/lx ;
end
v_p(1,1:lx) = 1 ;

% A continuación, se resuelven el resto de los puntos
Q = v_0*Atf ;
HT = B0 + B1*Q + B2*Q*Q ;
HS = Ctdif*Q*Q;
HE = HS + HT ;
p_primaE1 = (HE - H_g - v_0^2/2/g)/(v_0*c_0/g)
p_primaE2 = p_p(1,1x)

A = [1 1 ; 1 -1];

ca = [];
cb = [];
cc = [];

for i = 2:lt
    j=1;
    p_p(i,j) = 0 ;
    v_p(i,j) = v_p(i-1,j+1) - p_p(i-1,j+1) -
    landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j+1)*abs(v_p(i-1,j+1)) +
    p_p(i,j) ;

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    j=lx;
    if i <= t_c*N

        coefa = ((Ctdif+B2+k(i))*(Atf^2)*(v_0^2)-
(v_0^2)/(2*g))*(rho_0*g/p_0);
        ca = [ca coefa];
        coefb = 1+(B1*Atf*v_0)*(rho_0*g/p_0);
        cb = [cb coefb];
        coefc = -v_p(i-1,j-1) - p_p(i-1,j-1) +
        ((landa*L*v_0*inc_t)/(2*D*c_0))*(v_p(i-1,j-1)^2)+(B0-
H_g)*(rho_0*g/p_0);
        cc = [cc coefc];
    end
end

```

```
%
%      c_a = (Ctdif+B2)*Atf^2+0.5*(-1+landa*L/D);
%      c_b = B1*Atf;
%      c_c = (B0-H_g);

v_p(i,j) = (-coefb + sqrt(coefb^2-4*coefa*coefc))/(2*coefa);

%      Q = v_p(i,j)*v_0*Atf ;
%      HT = B0 + B1*Q + B2*Q*Q ;
%      HS = Ctdif*Q*Q;
%      HE = HS + HT ;
%      p_E = (HE - z_E -
%      ((v_p(i,j)*v_0)*(v_p(i,j)*v_0))/(2*g))*rho_0*g + p_a;
%      p_p(i,j) = (p_E+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0);

%      p_p(i,j) = v_p(i-1,j-1) + p_p(i-1,j-1) -
%      landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j-1)*abs(v_p(i-1,j-1)) -
%      v_p(i,j);
%      %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      else
%      v_p(i,j) = 0 ;
%      p_p(i,j) = v_p(i-1,j-1) + p_p(i-1,j-1) -
%      landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j-1)*abs(v_p(i-1,j-1)) -
%      v_p(i,j);
%      end
%      p_p(i,j) = v_p(i-1,j-1) + p_p(i-1,j-1) -
%      landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j-1)*abs(v_p(i-1,j-1)) -
%      v_p(i,j);
%      for j = 2:lx-1
%      b(1,1) = v_p(i-1,j-1) + p_p(i-1,j-1) -
%      landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j-1)*abs(v_p(i-1,j-1));
%      b(2,1) = v_p(i-1,j+1) - p_p(i-1,j+1) -
%      landa*L/(2*D)*(v_0/c_0)*inc_t*v_p(i-1,j+1)*abs(v_p(i-1,j+1));
%      x=A\b;
%      v_p(i,j) = x(1);
%      p_p(i,j) = x(2);
%      end
%      end
%      end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% tcoef = t_p(1:(length(t_p)-2));
tcoef = t_p(1:(t_c*N-1));

figure(2)
clf
plot(tcoef,ca)
xlabel('\it t','FontSize',15)
ylabel('\it ca','FontSize',15)

figure(3)
clf
plot(tcoef,cb)
xlabel('\it t','FontSize',15)
ylabel('\it cb','FontSize',15)

figure(4)
```

```
clf
plot(tcoef,cc)
xlabel('\it t','FontSize',15)
ylabel('\it cc','FontSize',15)

% Representación gráfica (animación)
%
m = size(v_p,1) ;
figure(5)
clf
% hv = plot(x,v(1:n),'EraseMode','background');
hp = plot(x_p,p_p(1,:), 'EraseMode','xor');
hold on
hv = plot(x_p,v_p(1,:), 'r', 'EraseMode','xor');
axis([0 1 -1.2 1.2])
% axis square
% box on
set(gca, 'xtick',[0 0.2 0.4 0.6 0.8 1])
set(gca, 'ytick',[-1.2 -1.0 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
1.2])
% grid
xlabel('\it x/L','FontSize',15)
ylabel('\it v/v_o , \it p/p_o','FontSize',15)
title('Presión y velocidad a lo largo del conducto')

for j=2:m
    pause(0.1);
    % set(hv,'XData',x,'YData',v( n*(j-1)+1 : n*j ))
    set(hp,'YData',p_p(j,:))
    set(hv,'YData',v_p(j,:))
    drawnow
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

T = 20; % [°C]
p_vapor = 1000*exp(16.573-3988.842/(273 + T - 39.47)) ; % [Pa]
% p_vapor_p = (p_vapor + rho_0*g*z - p_a - rho_0*g*H_g)/p_0;

for i = 1:lt
    for j = 1:lx
        p(i,j) = p_p(i,j)*p_0 - (rho_0*g*z(j) - p_a - rho_0*g*H_g) ;
        if (p(i,j)<p_vapor)
            % t = t_p(i)*(L/c_0);
            str = sprintf('\n Se ha alcanzado una presión inferior a la de
vapor en el la posición i = %.0f, j = %.0f, correspondiente al
instante t = %.0f s y a la posición x = %.0f m\n' , i, j,
t_p(i)*(L/c_0),x_p(j)*L);
            disp(str)
            break
        end
    end
    if (p(i,j)<p_vapor)
        break
    end
end
end
```

1.2.5 Cierre no instantáneo con fricción, con turbina y con chimenea

```
clc
clear all
close all

global H_g C1ch Agp Cch Ach CchT Atf

% Datos
Lgp = 3*154.8 ; % longitud de la galería de presión(m)
Ltf = 1197.25-Lgp ; % longitud de la tubería forzada(m)
Ltdif = 20 ; % longitud del tubo difusor

Dch = 8.5 ; % diámetro interior de la chimenea de
equilibrio (m)
Ach = pi/4 * Dch*Dch ; % área transversal de la chimenea de
equilibrio (m^2)
A0 = 4 ; % diámetro de la chimenea de equilibrio en su
conexión a la conducción (m)
Lch = 100 ;

L= Lgp + Ltf ; % Ojo con t_iv, ¿En función de qué L lo defino?

landa = 0.02 ; % coeficiente de fricción del conducto
D = 4.4 ; % diámetro del conducto (m)
c_0 = 1300 ; % m/s

N = 50 ;
inc_t = 1.0/N ; % Incremento de tiempo
tfin = 50.0 ;
% tfin = 0.1 ;
t_p = (0:1.0/N:tfin);
lt=length(t_p); % = tfin*N + 1

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% nuevos parámetros para imponer el cierre no instantáneo
t_c = 1; % tiempo de cierre de la válvula
t_iv = L/c_0; % tiempo de ida y vuelta de la onda
A_e = (pi*D^2)/4; % Área de entrada de la válvula
A_s = A_e ; % Área de salida de la válvula
% a_0 = A_s/A_e ; % Constante adimensionales para t=0
a_0 = 0.01129200682 ; % Para que salga finalmente v_0 próximo a 1
H_g = 400 ;
g = 9.81 ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
x_p = (0:1.0/N:1);
lx=length(x_p);      % = N + 1

rho_0 = 1000 ; % [kg/m3]
g = 9.81 ;      % [m/s2]
H_g = 400;      % [m]
p_a = 1*10^5 ; % [Pa]
c_0 = 1300 ;

alpha = asin(H_g/(Lgp+Ltf+Ltdif));
x = x_p*(Lgp+Ltf+Ltdif);
z = (Lgp+Ltf+Ltdif-x)*sin(alpha);

landa = 0.02 ;      % coeficiente de fricción del conducto
D = 4.4 ;           % diámetro del conducto (m)
Agp = pi/4*D*D ;    % área del conducto a la entrada (m^2)
Atf = pi/4*D*D ;    % área del conducto a la entrada (m^2)
Atdif = 4.5*Atf ;   % área del conducto a la salida (m^2)
Cch = ( landa*Lch/D + 1.5 )/2/9.81/Ach/Ach ;
C1ch = ( landa*Lgp/D + 1.5 )/2/9.81/Agp/Agp ;
Ccht = ( landa*Ltf/D + 1.5 )/2/9.81/Atf/Atf ;
Ctdif = ( landa*Ltdif/D + 0.5 )/2/9.81/Atf/Atf ;
% v_E = v_p*v_0;

% H=-103,499 + 22,19*Q - 0,0785307*Q^2
B0= -103.499 ;
B1= 22.19 ;
B2= - 0.0785307 ;

z_ch= H_g - Lgp*sin(alpha);
z_E = H_g - (Lgp+Ltf)*sin(alpha);

%%% 3 de las 6 ecuaciones

%%% 1ª Ecuación
% Agp*vgp+Ach*vch = Atf*vtf;
%%% 2ª
%eje x
% -vgp*cos(alpha)*(Agp*vgp)+vtf*cos(alpha)*(Atf*vtf)=-
p1*cos(alpha)*Agp-p2*cos(alpha)*Atf;
%%% 3ª
%eje y
% -vgp*sin(alpha)*(Agp*vgp)+vtf*sin(alpha)*(Atf*vtf)=-
p1*sin(alpha)*Agp-p2*sin(alpha)*Atf-pch*Ach;
%%% En primer lugar dimensionalizamos las variables con las que se
está
trabajando
%%% Velocidades
% vgp=v_1*v_0;
% vch=v_ch*v_0;
% vtf=v_2*v_0;
%%% Presiones
% p1 = (p_1+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0);
% pch = (p_ch+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0);
% p2 = (p_2+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0);
%%% Resultando:
%%% 1ª Ecuación
% Agp*v_1*v_0+Ach*v_ch*v_0 = Atf*v_2*v_0;
%%% 2ª
```

```

%eje x
% -v_1*v_0*cos(alpha)*(Agp*v_1*v_0)+v_2*v_0*cos(alpha)*(Atf*v_2*v_0)=-
(p_1+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0)*cos(alpha)*Agp-
(p_2+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0)*cos(alpha)*Atf;
%%% 3ª
%eje y
% -v_1*v_0*sin(alpha)*(Agp*v_1*v_0)+v_2*v_0*sin(alpha)*(Atf*v_2*v_0)=-
(p_1+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0)*sin(alpha)*Agp-
(p_2+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0)*sin(alpha)*Atf-
(p_ch+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0)*Ach;

%%%Intento de resolver las condiciones iniciales%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% X = [1 1 1 z_ch] ;
% %X = [v_01 v_0ch v_02 Hch] ;
%
% EPS = 1e-7 ; % incremento para derivadas
% PREC = 1e-4 ; % precisión relativa requerida
% Niter = 20 ; % número máximo de iteraciones
% N = 4 ; %NUMERO DE INCOGNITAS
% Ieps = EPS*eye(N) ; % eps * matriz identidad NxN
%
% for k=1:Niter
%     F = ecs_Cierre_no_inst_con_fricc_chimenea_1(X) ;
%     for i=1:N
%         J(:,i) = ( ecs_tdleest2b(X+Ieps(i,:)) - F ) / EPS ;
%     end
%     incr = transpose( inv(J)*F ) ;
%     X = X - incr ;
%     converg = max( abs(incr./X) ) ;
%     if (converg < PREC) break; end
% end
%
% F = ecs_Cierre_no_inst_con_fricc_chimenea_1(X) ;
%
% % Iteraciones = k ;
%
% X
%
% v_01 = X(1);
% v_0ch = X(2);
% v_02 = X(3);
% Hch= X(4);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

t = (0:1.0/N:t_c);
C_0=70;
o=0.4;
kv=C_0./((t_c*N-t*N).^o - C_0./((t_c*N).^o);
k = kv;

%%%Candiciones inicales calculadas con EES
Hch = 399.5 ;
v_01 = 1.632 ;
v_02 = 1.632 ;
v_0ch = 0.0004883 ;
ztopch = 399.5 ;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% p_0 = rho_0*v_0*c_0;

```

```
p_01 = rho_0*v_01*c_0;
p_0ch = rho_0*v_0ch*c_0;
p_02 = rho_0*v_02*c_0;

% %%%%%%%%%%Descomentar todo hacia abajo%%%%%%%%%

% Condiciones de iniciales para t=0 (primera fila) y para toda x
% (todas las columnas)

for i = 1:lx
    %%% Tramo 1
    p_1(1,i) = -(landa*(Lgp)/(2*D))*(v_01/c_0)*i/lx ;
    %%% Chimenea
    p_ch(1,i) = -(landa*(Lch)/(2*Dch))*(v_0ch/c_0)*i/lx ;
    %%% Tramo 2 % Para conocer las condiciones de presión y velocidad
    %%% iniciales en el Tramo 2, aplicamos las
    %%% siguientes ecuaciones:
    p_2(1,i) = -(landa*(Ltf)/(2*D))*(v_02/c_0)*i/lx ;
    %%%
end
%% Tramo1
v_1(1,1:lx) = 1 ;
%% Chimenea
v_ch(1,1:lx) = 1 ;
%% Tramo 2 % Para conocer las condiciones de presión y velocidad
%% iniciales en el Tramo 2, aplicamos las
%% siguientes ecuaciones:
% Agp*v_1*v_0+Ach*v_ch*v_0 = Atf*v_2*v_0;
v_2(1,1:lx)=(Agp*v_1*v_01+Ach*v_ch*v_0ch)/(Atf*v_02);

%% Para calcular la presión se aplica una de las dos ecuaciones
%% siguientes:
%eje x
% -v_1*v_0*cos(alpha)*(Agp*v_1*v_0)+v_2*v_0*cos(alpha)*(Atf*v_2*v_0)=-
% (p_1+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0)*cos(alpha)*Agp-
% (p_2+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0)*cos(alpha)*Atf;
%% 3ª
%eje y
% -v_1*v_0*sin(alpha)*(Agp*v_1*v_0)+v_2*v_0*sin(alpha)*(Atf*v_2*v_0)=-
% (p_1+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0)*sin(alpha)*Agp-
% (p_2+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0)*sin(alpha)*Atf-
% (p_ch+rho_0*g*z_E-p_a-rho_0*g*H_g)/(p_0)*Ach;
%% Se va a emplear la primera, por simplicidad
% for i = 1:lx
%     p_2(1,i)=(-
% v_1(1,i)*v_01*cos(alpha)*(Agp*v_1(1,i)*v_01)+v_2(1,i)*v_02*cos(alpha)*
% (Atf*v_2(1,i)*v_02)+(p_1(1,i)+rho_0*g*z_E-p_a-
% rho_0*g*H_g)/(p_0)*cos(alpha)*Agp)*(p_02)/(cos(alpha)*Atf)-
% rho_0*g*z_E+p_a+rho_0*g*H_g;
% end

%%
A = [1 1 ; 1 -1];

for i = 2:lt
    j=1;
    %%% Tramo 1
    p_1(i,j) = 0 ;
```

```

        v_1(i,j) = v_1(i-1,j+1) - p_1(i-1,j+1) -
landa*L/(2*D)*(v_01/c_0)*inc_t*v_1(i-1,j+1)*abs(v_1(i-1,j+1)) +
p_1(i,j) ;
        %%% Chimenea
        p_ch(i,j) = 0 ;
        v_ch(i,j) = v_ch(i-1,j+1) - p_ch(i-1,j+1) -
landa*L/(2*D)*(v_0ch/c_0)*inc_t*v_ch(i-1,j+1)*abs(v_ch(i-1,j+1)) +
p_ch(i,j) ;
        %%% Tramo 2
        % p_2(i,j)= 0!?!; ¿Es esto correcto???
        p_2(i,j)= 0;
        v_2(i,j) = v_2(i-1,j+1) - p_2(i-1,j+1) -
landa*L/(2*D)*(v_02/c_0)*inc_t*v_2(i-1,j+1)*abs(v_2(i-1,j+1)) +
p_2(i,j) ;
        %%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        j=lx;
        if i <= t_c*N
            %% AQUÍ ESTÁ LO DIFÍCIL
            %%% Tramo 1
            v_1(i,j) = 0 ;% !? ¿Es esto correcto???
            %%% Chimenea
            v_ch(i,j) = 0 ;% !? ¿Es esto correcto???
            %%% Tramo 2
            coefa = ((Ctdif+B2+k(i))*(Atf^2)*(v_02^2)-
(v_02^2)/(2*g))*(rho_0*g/p_02);
            coefb = 1+(B1*Atf*v_02)*(rho_0*g/p_02);
            coefc = -v_2(i-1,j-1) - p_2(i-1,j-1) +
((landa*L*v_02*inc_t)/(2*D*c_0))*(v_2(i-1,j-1)^2)+(B0-
H_g)*(rho_0*g/p_02);
            v_2(i,j) = (-coefb + sqrt(coefb^2-4*coefa*coefc))/(2*coefa);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        else
            %%% Tramo 1
            v_1(i,j) = 0 ;
            %%% Chimenea
            v_ch(i,j) = 0 ;
            %%% Tramo 2
            v_2(i,j) = 0 ;
            %%%
        end
        p_1(i,j) = v_1(i-1,j-1) + p_1(i-1,j-1) -
landa*L/(2*D)*(v_01/c_0)*inc_t*v_1(i-1,j-1)*abs(v_1(i-1,j-1)) -
v_1(i,j);
        p_ch(i,j) = v_ch(i-1,j-1) + p_ch(i-1,j-1) -
landa*L/(2*D)*(v_0ch/c_0)*inc_t*v_ch(i-1,j-1)*abs(v_ch(i-1,j-1)) -
v_ch(i,j);
        p_2(i,j) = v_2(i-1,j-1) + p_2(i-1,j-1) -
landa*L/(2*D)*(v_02/c_0)*inc_t*v_2(i-1,j-1)*abs(v_2(i-1,j-1)) -
v_2(i,j);

        for j = 2:lx-1
            %%% Tramo 1
            b(1,1) = v_1(i-1,j-1) + p_1(i-1,j-1) -
landa*L/(2*D)*(v_01/c_0)*inc_t*v_1(i-1,j-1)*abs(v_1(i-1,j-1));
            b(2,1) = v_1(i-1,j+1) - p_1(i-1,j+1) -
landa*L/(2*D)*(v_01/c_0)*inc_t*v_1(i-1,j+1)*abs(v_1(i-1,j+1));
            x=A\b;

```

```

        v_1(i,j) = x(1);
        p_1(i,j) = x(2);
        %%% Chimenea
        c(1,1) = v_ch(i-1,j-1) + p_ch(i-1,j-1) -
landa*L/(2*D)*(v_0ch/c_0)*inc_t*v_ch(i-1,j-1)*abs(v_ch(i-1,j-1));
        c(2,1) = v_ch(i-1,j+1) - p_ch(i-1,j+1) -
landa*L/(2*D)*(v_0ch/c_0)*inc_t*v_ch(i-1,j+1)*abs(v_ch(i-1,j+1));
        y=A\c;
        v_ch(i,j) = y(1);
        p_ch(i,j) = y(2);
        %%% Tramo 2
        d(1,1) = v_2(i-1,j-1) + p_2(i-1,j-1) -
landa*L/(2*D)*(v_02/c_0)*inc_t*v_2(i-1,j-1)*abs(v_ch(i-1,j-1));
        d(2,1) = v_2(i-1,j+1) - p_2(i-1,j+1) -
landa*L/(2*D)*(v_02/c_0)*inc_t*v_2(i-1,j+1)*abs(v_ch(i-1,j+1));
        y=A\d;
        v_2(i,j) = y(1);
        p_2(i,j) = y(2);
        %%%
    end
end

%%¿Cómo unimos los vectores para poder representarlos?%%
%% A continuación se intenta representar cada conucto

% Representación gráfica Galería de Presión(animación)
%
m = size(v_1,1) ;
figure(1)
clf
% hv = plot(x,v(1:n), 'EraseMode', 'background');
hp = plot(x_p,p_1(1,:), 'EraseMode', 'xor');
hold on
hv = plot(x_p,v_1(1,:), 'r', 'EraseMode', 'xor');
axis([0 1 -1.2 1.2])
% axis square
% box on
set(gca, 'xtick', [0 0.2 0.4 0.6 0.8 1])
set(gca, 'ytick', [-1.2 -1.0 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
1.2])
% grid
xlabel({'\it x/L'}, 'FontSize', 15)
ylabel({'\it v/v}_o , {\it p/p}_o', 'FontSize', 15)
title('Presión y velocidad a lo largo de la galería de presión')

for j=2:m
    pause(0.01);
    % set(hv, 'XData', x, 'YData', v( n*(j-1)+1 : n*j ))
    set(hp, 'YData', p_1(j,:))
    set(hv, 'YData', v_1(j,:))
    drawnow
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Representación gráfica Chimenea de Equilibrio(animación)
%
m = size(v_ch,1) ;
figure(2)
clf
% hv = plot(x,v(1:n), 'EraseMode', 'background');
hp = plot(x_p,p_ch(1,:), 'EraseMode', 'xor');

```

```
hold on
hv = plot(x_p,v_ch(1,:), 'r', 'EraseMode', 'xor');
axis([0 1 -1.2 1.2])
% axis square
% box on
set(gca, 'xtick',[0 0.2 0.4 0.6 0.8 1])
set(gca, 'ytick',[-1.2 -1.0 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
1.2])
% grid
xlabel('\it x/L','FontSize',15)
ylabel('\it v/v_o , \it p/p_o','FontSize',15)
title('Presión y velocidad a lo largo de la chimenea de equilibrio')

for j=2:m
    pause(0.01);
    % set(hv, 'XData',x, 'YData',v( n*(j-1)+1 : n*j ))
    set(hp, 'YData',p_ch(j,:))
    set(hv, 'YData',v_ch(j,:))
    drawnow
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Representación gráfica Tubería Forzada(animación)
%
m = size(v_2,1) ;
figure(3)
clf
% hv = plot(x,v(1:n), 'EraseMode', 'background');
hp = plot(x_p,p_2(1,:), 'EraseMode', 'xor');
hold on
hv = plot(x_p,v_2(1,:), 'r', 'EraseMode', 'xor');
axis([0 1 -1.2 1.2])
% axis square
% box on
set(gca, 'xtick',[0 0.2 0.4 0.6 0.8 1])
set(gca, 'ytick',[-1.2 -1.0 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
1.2])
% grid
xlabel('\it x/L','FontSize',15)
ylabel('\it v/v_o , \it p/p_o','FontSize',15)
title('Presión y velocidad a lo largo de la tubería forzada')

for j=2:m
    pause(0.01);
    % set(hv, 'XData',x, 'YData',v( n*(j-1)+1 : n*j ))
    set(hp, 'YData',p_2(j,:))
    set(hv, 'YData',v_2(j,:))
    drawnow
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```