

Pràctica transitoris hidraulics



EFM

Departament de Mecànica de fluids

Professor: Alfred Fontanals

Autors:

Alex Mata

Yago Trias

Índex

1. Introducció i marc teòric	3
2. Descripció de materials i equips utilitzats.....	3
3. Procediment experimental	4
4. Dades experimental obtingudes	5
4.1. Cop d'ariet	5
4.2. Xemeneia simple	6
5. Resultats.....	7
6. Conclusions. Discussió de resultats.....	9
Annex 1	10

1. Introducció i marc teòric

En aquesta practica s'estudien els transitoris hidràulics que es centra en el càlcul de pressions i velocitats que aconseguixen els fluids durant el funcionament dels sistemes en regim no estacionari. A demes es important saber els seu comportament perquè es generen soroll, fatiga en els materials, desgasts, errors ens els sistemes de control o fins i tot el fallo estructural. Les causes més freqüents que provoquen un cop d'ariet es al ajustar vàlvules o una parada sobtada de una bomba.

Al tancar-se ràpidament una vàlvula en una canonada que esta operant en condiciones de flux estacionari en la que el fluid porta una energia cinètica, es gener un augment de pressió com a conseqüència de la disminució del caudal. La sobrepressió te forma de un puls de pressió que es propaga en direcció contraria a la del flux.

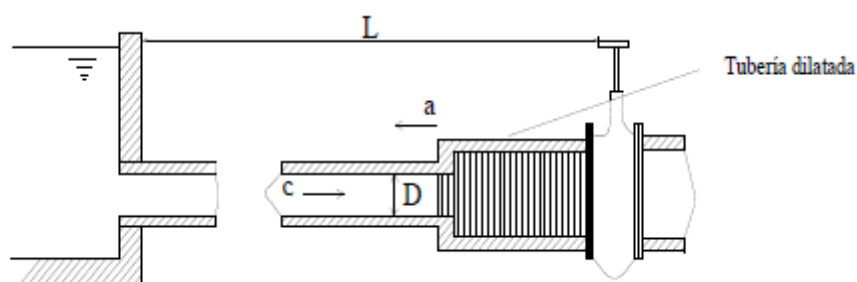


Figura 1 Cop d'Ariet

Las xemeneies de equilibri s'utilitzen en centrals hidroelèctrica ja que les variacions de pressions molt elevades i el us d'aquestes permet: disposar de una energia potencial d'emmagatzemat en cas de que es demandes una major potencia, disposar de una cambra de dissipació d'energia i sobretot reduir els efectes del cop d'ariet. Existeixen diverses: la xemeneia simple d'equilibri, la amb orifici diferencia i la xemeneia diferencial.

2. Descripció de materials i equips utilitzats

Per a la realització d'aquesta pràctica, es disposa d'un circuit d'aigua, el qual està dotat de diverses funcions per poder executar els diversos experiments.

Primer de tot, el circuit està dotat d'un dipòsit el qual té una divisió per garantir una alçada d'aigua constant. El dipòsit està alimentat per una bomba que proporciona aigua i connectat a la resta del circuit. El equip disposa de dos circuits de diferents longituds y permet realitzar assaigs de cop d'ariet, oscil·lacions de masses en xemeneies simples i càmeres d'aire.

El dispositiu de esmorteïment està format per un conducte de metacrilat de etilo on en la part superior esta col·locada una vàlvula de esfera. Si esta oberta la canonada es comporta com una xemeneia simple de equilibri i si es manté tancada el tub es comportada com una càmera de aire. Si a la base de la xemeneia es tanca la vàlvula llavors el sistema es comportarà com un cop d'ariet.

S'utilitzen diferents dispositius per mesures les característiques del flux en el sistema. Esta instal·lat un mesurador de Cabal Anubar el qual es pot determinar el caudal en funció de la pressió diferencial del manòmetre. A demes esta instal·la un sistema d'adquisició de dades electrònic que mesura a través d'un transductor de pressió

3. Procediment experimental

Per a la realització de la practica es modifica l'estat d'algunes vàlvules per tal de modificar el circuit i així poder obtenir mesures per a diferents casos.

- Primer es realitza assaigs per simular un cop d'Ariet, per això es tanca la vàlvula del sistema d'esmoreïment i es obra la vàlvula per que circuli l'aigua en el circuit curt. S'inicia el sistema d'adquisició de dades amb el LabView i es tanca molt ràpid la ultima vàlvula per a provocar el cop d'Ariet. Es repeteix el mateix procés però tancant la vàlvula del circuit curt i obrint la del circuit llarg.
- Segon es realitza assaigs per simular una xemeneia d'equilibri simple, per això s'obre la vàlvula de la xemeneia en la qual es manté una altura d'aigua inicial. Un cop estabilitzat el sistema s'executa el mateix procediment anterior tant per al circuit llarg i curt.
- Finalment es realitza assaig per simular xemeneia amb càmera d'aire, per això es manté la vàlvula inferior de la xemeneia oberta i es tanca la vàlvula d'esfera situada a la zona superior així a la que augmenti l'altura de l'aigua a la xemeneia es comprimeixi l'aire que es troba en el anterior.

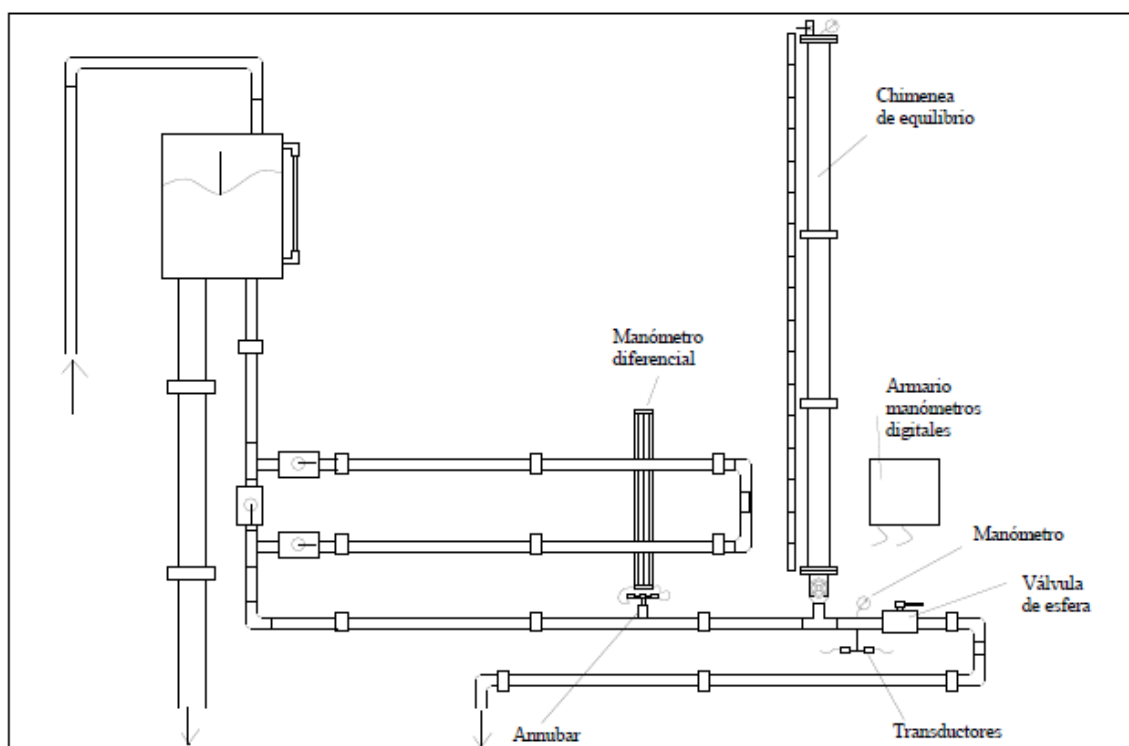


Figura 2 Descripció de l'equip

4. Dades experimental obtingudes

4.1. Cop d'ariet

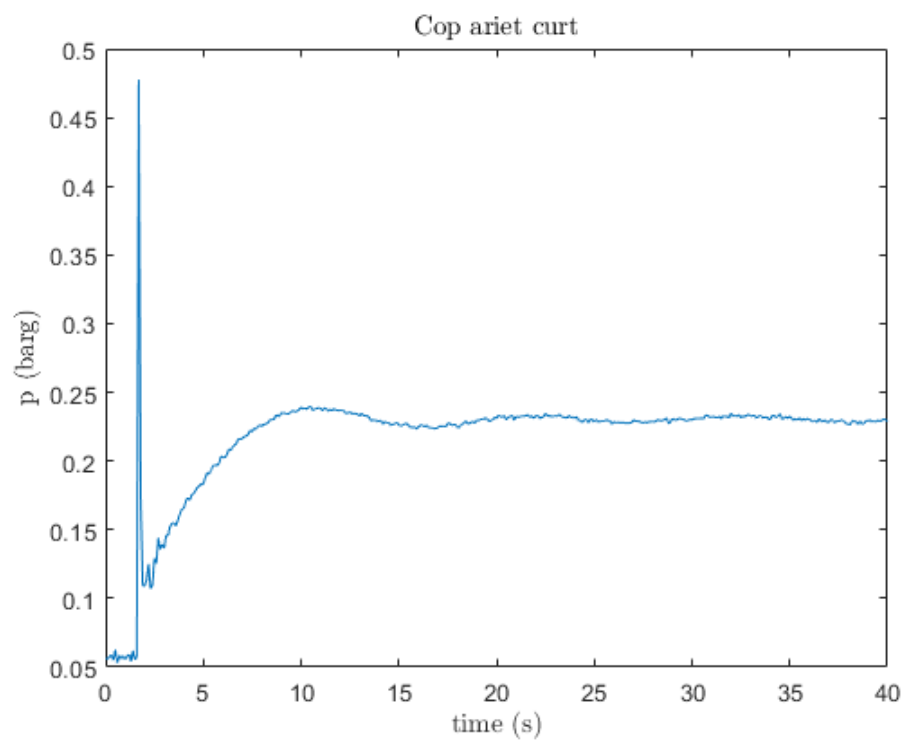


Figura 3 Cop d'Ariet en circuit curt

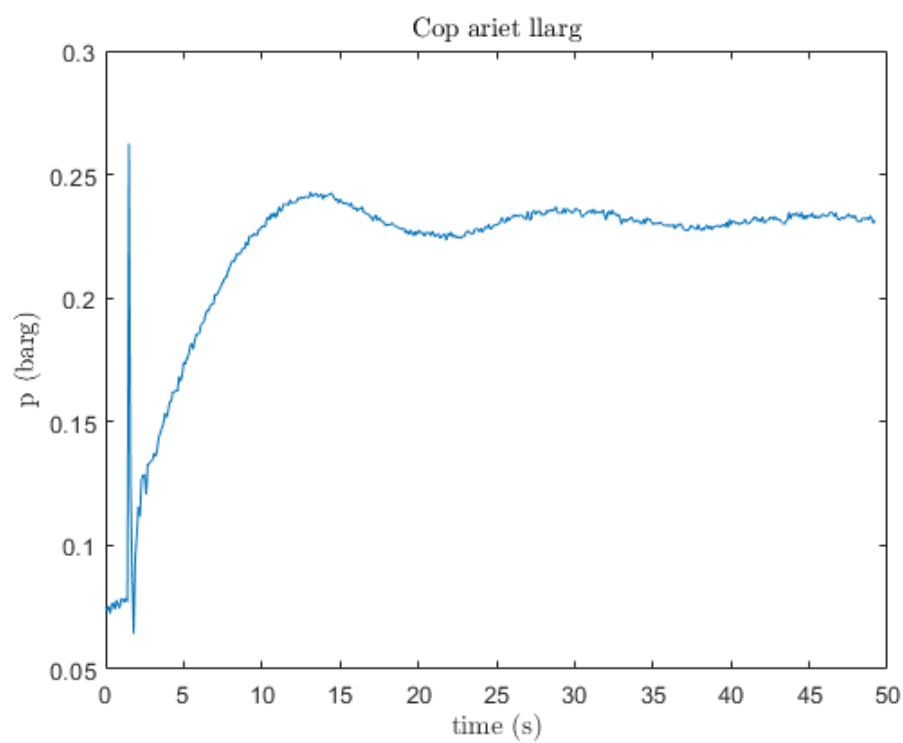


Figura 4 Cop d'Ariet en circuit llarg

4.2. Xemeneia simple

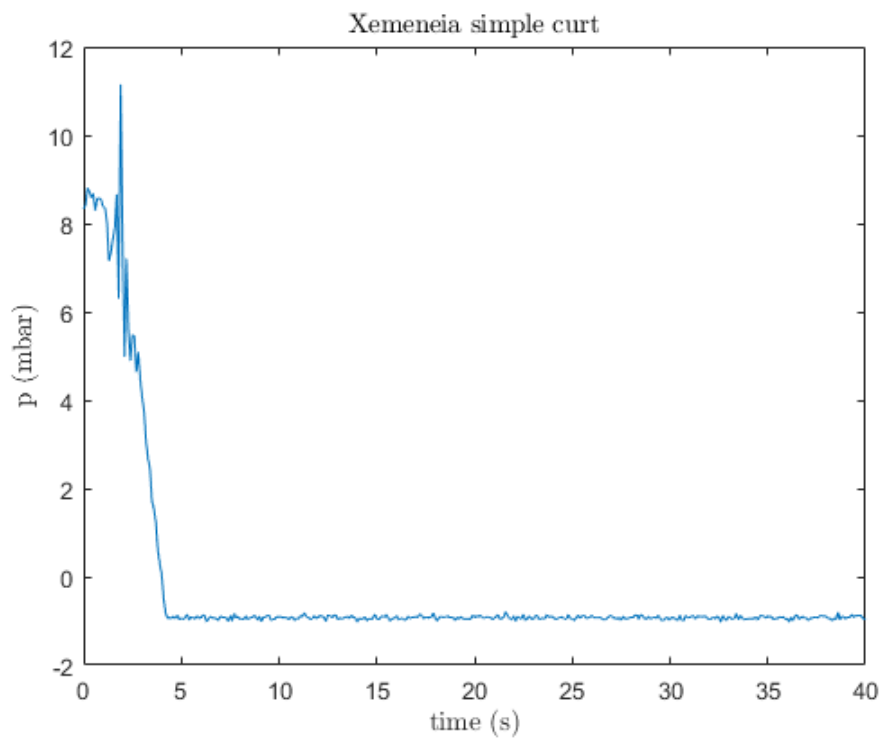


Figura 5 Xemeneia simple en circuit curt

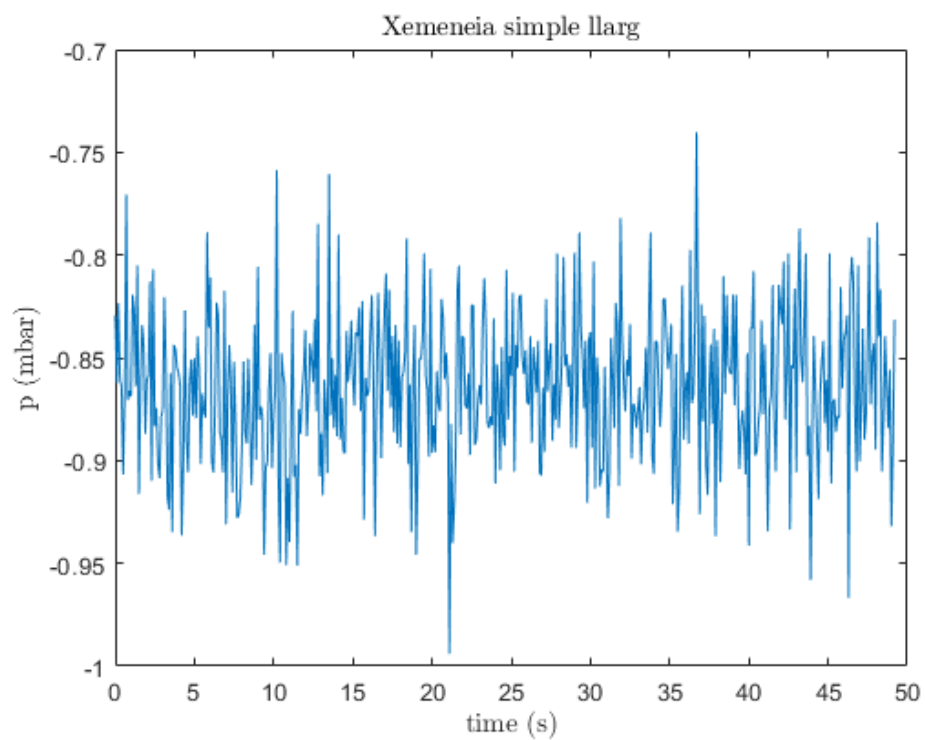


Figura 6 Xemeneia simple en circuit llarg

5. Resultats

Per realitzar la simulació numèrica de la oscil·lació de masses en una xemeneia simple es necessita obtenir la equació diferencial (ODE) a partir de les mesures experimentals obtingudes en el circuit curt i llarg.

La ODE que hem de resoldre té la següent forma:

$$\frac{d^2z}{dt^2} + A \frac{dz}{dt} \cdot \left| \frac{dz}{dt} \right| + Bz = 0$$

I per resoldre un ODE de 2n grau necessitem unes condicions inicials:

$$\begin{cases} z_0 = H - h_0 \text{ (m)} \\ \frac{dz}{dt}(t=0) = -\frac{S_T}{S_C} c \left(\frac{m}{s} \right) \end{cases}$$

El valor de la velocitat de la canonada c s'obté a partir del cabal:

$$c = \frac{\dot{V}}{S_T} \left(\frac{m}{s} \right)$$

I el cabal es calcula a través del mesurador de caudal Annubar:

$$\dot{V} = F_{NA} K D^2 F_{RA} F_M F_{AA} F_L \sqrt{\frac{\Delta h}{\rho_r}} \text{ (l/min)}$$

Per calcular les constants A i B:

$$A = \frac{\beta(f) S_C}{2 L S_T}, B = \frac{S_T g}{S_C L}$$

El paràmetre que agrupo tots els factor de fregament $\beta(f)$ es calcula:

$$\beta(f) = f \frac{L}{D_t} + \sum_{i=1}^n k_i$$

S'utilitza el factor de fregament de S.E. Haaland:

$$f = \left(-1.8 \log \left(\left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right) \right)^{-2}$$

Definint el numero de Reynolds com:

$$Re = \frac{\rho c D}{\mu}$$

Un cop s'han determinat les constants A i B es pot resoldre la EDO mitjançant mètodes numèrics d'integració amb el MATLAB.

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + A \frac{dz}{dt} \cdot \left| \frac{dz}{dt} \right| + Bz = 0$$

Es fa un canvi de variable:

$$z(t) = Z_1, \frac{dz(t)}{dt} = Z_2$$

$$\frac{dZ_2}{dt} + AZ_2|Z_2| + BZ_1 \rightarrow \frac{dZ_2}{dt} = -(AZ_2|Z_2| + BZ_1)$$

I es transforma un sistema de 2n ordre a un sistema de 1r ordre i després s'utilitza el solver ODE45 per trobar la solució del sistema.

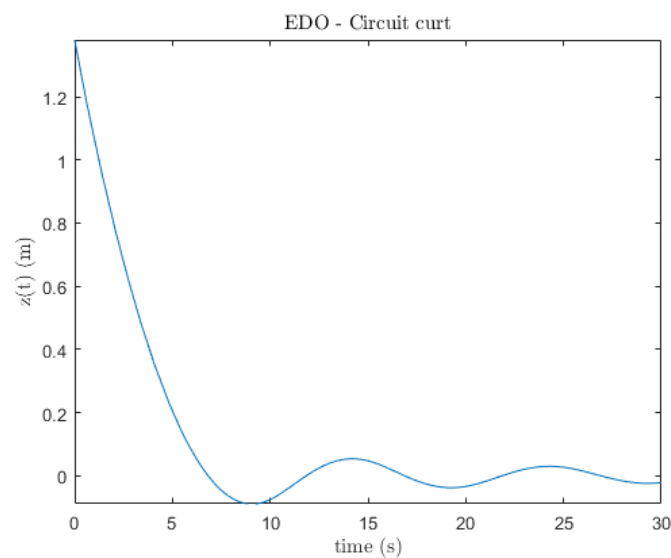


Figura 7

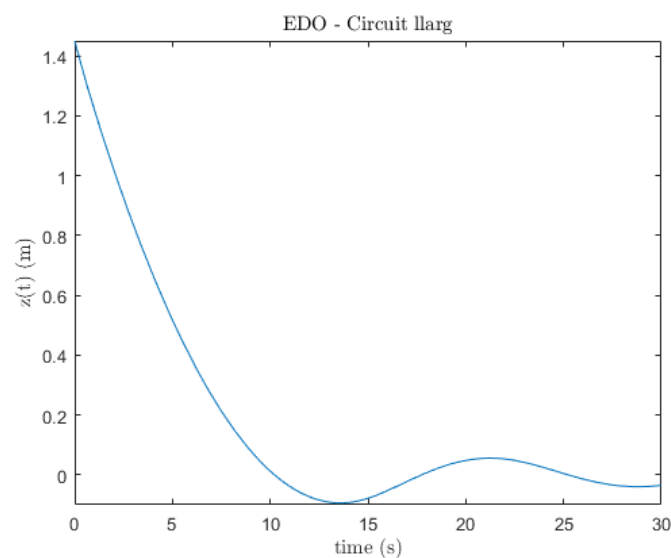


Figura 8

6. Conclusions. Discussió de resultats

En aquesta pràctica hem observat les conseqüències d'un cop d'ariet per a dos circuits de llargària diferent. A més, hem après les diferents solucions que s'utilitzen i com afecten aquestes a la diferència de pressió.

El primer experiment consistia en observar la reacció natural dels dos circuits a un cop d'ariet. En primer lloc, podem veure com les dues gràfiques tenen una forma similar, amb un pic de pressions al principi, fruit del cop d'ariet, i com s'acaba estabilitzant al voltant d'un valor proper als 0.23 bar. Tot i aquesta semblança, podem observar que al circuit curt, el pic de pressió és gairebé el doble que es produeix al circuit llarg. No obstant, el temps que triga el fluid en estabilitzar-se a una pressió, la qual és la mateixa per ambdós circuits, és major al circuit llarg, ja que la ona triga més a tornar.

En el segon experiment, hem analitzat el comportament del fluid en vers els cops d'ariet però amb la xemeneia connectada als circuits. Així doncs, podem observar un comportament similar en les gràfiques del circuit curt. Es pot veure com segueix tenint una forma similar, amb el pic de pressió a l'inici i una posterior estabilització. Tot i a la similitud que presenta, l'existència de la xemeneia ens fa presenciar uns valors de pressió molt menors, tant en el pic com en la pressió final. Per altra banda, les gràfiques del circuit llarg no són similars, probablement per un error a la presa de dades del sensor.

Per últim, hem computat l'equació diferencial que ens permet conèixer el comportament teòric dels dos circuits amb una xemeneia simple. Comparant l'EDO obtinguda amb les dades experimentals en el cas del circuit curt, observem que ambdues gràfiques tenen una forma similar. La principal diferència es troba a la zona d'estabilització, ja que a les dades experimentals es veu una funció amb més sorolls i menys harmonia.

Per el circuit llarg, però, no tenim una comparació directa amb les dades experimentals, però ens permet fer una comparació amb el comportament teòric del circuit curt.

Aleshores, veiem un altre cop una semblança entre els dos gràfics, fent present el mateix el patró un altre cop, començant pel pic de pressió i arribant a l'estabilització. Tornem a veure, com en el cas de cop d'ariet sense esmorteïment, que la pressió final per els dos circuits és la mateixa, però que en el cas del circuit llarg es triga més a arribar-hi a aquella pressió.

Així doncs, podem concloure que, com es mostra a la teoria, la pressió final no depèn de la longitud, ja que sempre s'arriba a la mateixa per conductes de mateixa secció. En canvi, el temps que es triga a arribar a la pressió d'estabilització sí depèn del recorregut total, ja que contra més distància, més temps per arribar a la pressió final.

Per últim, també podem dir que, així com el temps és linealment proporcional a la distància del conducte, la pressió adquirida al moment del cop d'ariet és inversament proporcional al recorregut total, ja que contra més distància, la pressió adquirida és menor.

Annex 1

```
%-----  
%  
%      P4-EFM-Transitorios hidraulicos  
%  
%-----  
  
format long  
disp('P4-EFM-Transitorios hidraulicos')  
  
% Constantes  
  
g = 9.81; % m/s2 gravedad  
  
% Fluido-agua  
  
rho = 1000; % kg/m3  
mhu = 0.001; % Pa*s  
  
% Caracteristicas equipo  
  
Dt = 0.0525; % m diametre canonada  
St = 0.00216; % m2 seccion canonada  
Dc = 0.1155; % m diametro chimenea  
Sc = 0.01047; % m2 seccion chimenea  
H = 2.25; % m nivel deposito  
epsilon = 0.0046/100; % cm a m rugosidad absoluta  
  
% Caracteristicas circuito corto  
  
Lc = 5.13; %m  
Ll = 11.47; %m  
Kc = 0.30; % constante de perdidas de canto de 45°  
Kv = 6.90; % constante de perdidas de una valvula esferica  
Kc1 = 0.95; % constante de perdidas de un canto de 90°  
Kt = 0.9; % constante de perdidas de una T  
Ke = 0.5; % constante de perdidas de la salida del deposito  
Km = 0.6871; % constante de perdidas del medido de cabal Annubar  
  
% Solución EDO  
  
h0 = 0.617; % m  
z0 = H-h0; % m  
  
delta_h = 400; % mm.c.a  
  
%medidor de caudal Annubar  
F_NA = 0.0065966; % factor de corrección de unidades  
K = 0.6871; % coeficiente de perdidas del medidor  
D = 52.5; % mm diametro interior tuberia  
F_RA = 0.9910; % factor de correccion del Reynolds  
F_M = 1; % factor de correccion del manometro  
F_AA = 1; % factor de expansion termica de la tuberia y el Annubar  
F_L = 1; % factor de correccion segun la localizaciion del medidor  
rho_r = 1; % densidad relativa  
  
P = F_NA*K*D^2*F_RA*F_M*F_AA*F_L*sqrt(delta_h/rho_r)*1/(1000*60); % l/min a m3/s  
c = P/St; % m/s velocidad en tuberia  
dzdt0 = -(St/Sc)*c; %m/s variacion de altura en condicion inicial  
  
% factor de rozamiento  
Re = rho*c*Dt/mhu; % n de Renyolds  
eD = epsilon/Dt; % rugosidad / diametro  
  
f = (-1.8*log10((eD/3.7)^(1.11)+6.9/Re))^(-2); %factor de Rozamiento de Halland
```

```

beta = f*Lc/Dt+2*Kc+Kv+Kc1+Ke+Km;

% constantes EDO

A = beta*Sc/(2*Lc*St);
B = St*g/(Sc*Lc);

%-----
% solver EDO

% Reescribir la EDO 2n orden a un sistema de EDO's 1r orden
syms y(t)
[V] = odeToVectorField(diff(y,2) == -(A*diff(y)*abs(diff(y))+B*y));

% Generemos la funcion de matlab
M = matlabFunction(V, 'vars', {'t', 'Y'});

%Solucion al sistema de EDO's de 1r orden
tspan = 0:0.01:30; % vector de tiempo de simulacion 1ms
sol = ode78(M,tspan,[z0 dzdt0]);

% plotting
figure
fplot(@(x)deval(sol,x,1), [0, 30])
title('EDO - Circuit curt','Interpreter','latex')
xlabel('time (s)','Interpreter','latex')
ylabel('z(t) (m)','Interpreter','latex')

hold on
plot(times5,(PresinmbargP_difmbar5))
hold off

legend('númeroic','experimental')

```

P4-EFM-Transitorios hidraulicos

Published with MATLAB® R2022b

```

%-----
%
%      P4-EFM-Transitorios hidraulicos
%
%-----

format long
disp('P4-EFM-Transitorios hidraulicos')
% Constantes
g = 9.81; % m/s2 gravedad

% Fluido-agua

rho = 1000; % kg/m3
mhu = 0.001; % Pa*s

% Caracteristicas equipo

Dt = 0.0525; % m diametre canonada
St = 0.00216; % m2 seccion canonada
Dc = 0.1155; % m diametro chimenea
Sc = 0.01047; % m2 seccion chimenea

```

```

H = 2.25; % m nivel deposito
epsilon = 0.0046/100; % cm a m rugosidad absoluta

% Caracteristicas circuito corto

Lc = 5.13; %m
Ll = 11.47; %m
Kc = 0.30; % constante de perdidas de canto de 45°
Kv = 6.90; % constante de perdidas de una valvula esferica
Kc1 = 0.95; % constante de perdidas de un canto de 90°
Kt = 0.9; % constante de perdidas de una T
Ke = 0.5; % constante de perdidas de la salida del deposito
Km = 0.6871; % constante de perdidas del medido de cabal Anubar

% Solución EDO - Circuito corto y largo

h0 = 0.75; % m
z0 = H-h0; % m

delta_h = 175; % mm.c.a

%medidor de caudal Anubar
F_NA = 0.0065966; % factor de corrección de unidades
K = 0.6871; % coeficiente de perdidas del medidor
D = 52.5; % mm diametro interior tuberia
F_RA = 0.9910; % factor de correccion del Reynolds
F_M = 1; % factor de correcion del manometro
F_AA = 1; % factor de expansion termica de la tuberia y el Anubar
F_L = 1; % factor de correccion segun la localizaciion del medidor
rho_r = 1; % densidad relativa

P = F_NA*K*D^2*F_RA*F_M*F_AA*F_L*sqrt(delta_h/rho_r)*1/(1000*60); % l/min a m3/s
c = P/St; % m/s velocidad en tuberia
dzdt0 = -(St/Sc)*c; %m/s variacion de altura en condicion inicial

% factor de rozamiento
Re = rho*c*Dt/mhu; % n de Renyolds
eD = epsilon/Dt; % rugosidad / diametro

f = (-1.8*log10((eD/3.7)^(1.11)+6.9/Re))^(-2); %factor de Rozamiento de Halland

beta = f*Ll/Dt+2*Kc+2*Kv+2*Kt+3*Kc1+Ke+Km;

% constantes EDO

A = beta*Sc/(2*Ll*St);
B = St*g/(Sc*Ll);

% solver EDO

% Reescribir la EDO 2n orden a un sistema de EDO's 1r orden
syms y(t)
[P] = odeToVectorField(diff(y,2) == -(A*diff(y)*abs(diff(y))+B*y));

% Generemos la funcion de matlab
M = matlabFunction(P, 'vars', {'t', 'Y'});

% Solve el sistema de EDO's de 1r orden
tspan = 0:0.1:30; % vector de tiempo de simulacion lms
sol = ode78(M,tspan,[z0 dzdt0]); %

figure
fplot(@(x)deval(sol,x,1), [0, 30])
title('EDO - Circuit llarg', 'Interpreter', 'latex')
xlabel('time (s)', 'Interpreter', 'latex')
ylabel('z(t) (m)', 'Interpreter', 'latex')

hold on

```

```
plot(times6,(PresinmbargP_difmbar6))  
hold off  
  
legend('númeroic','experimental')
```

P4-EFM-Transitorios hidraulicos

Published with MATLAB® R2022b