

**DISEÑO DE UN CONTROL DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DE PARA UN SECADOR
DE CAFÉ
ANEXOS**



**EDWIN PABLO MONCAYO SOLARTE
SANDER ARVEY SÁNCHEZ REYES**

**Director
PHD. CARLOS ALBERTO GAVIRIA LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
POPAYÁN
2001**

TABLA DE CONTENIDO

ANEXO A. CODIGOS MATLAB.....	1
ANEXO B. CIRCUITOS DE POTENCIA.....	15
ANEXO C. TABLAS DE DATOS.....	17
ANEXO D. CONSTRUCCION DE SILOS TIPO CENICAFE.....	22
ANEXO E. DESCRIPCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Amplificador de voltaje.....	15
Figura 2. Detector de nivel.....	15
Figura 3. Variación de voltaje desde Simulink.....	16
Figura 4. Compartimiento silo de café.....	27
Figura 5. Camara plenum.....	28
Figura 6. Compuertas para el control de entrada y de salida del aire.....	29
Figura 7. Resistencia Para La fuente de Calor.....	29
Figura 8. Fuente de Calor.....	30
Figura 9. Ventilador.....	30
Figura 10. Ductos o túneles.....	31
Figura 11. Maqueta del silo tipo Cenicafe.....	32
Figura 12. Esquema general para la identificación.....	33
Figura 13. Sensor y Trasmisor de temperatura +GF+SIGNET.....	33
Figura 14. Esquema general para toma de datos de temperatura.....	34
Figura 15. Anemómetro.....	34
Figura 16. Esquema general para la toma de datos de voltaje.....	35
Figura 17. Instalación Anemómetros en el silo.....	35
Figura 18. Termómetro digital TES 1320.....	36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Toma de datos 1.....	17
Tabla 2.	Toma de datos 2.....	19

ANEXO A. CODIGOS MATLAB

A continuación se presenta los códigos utilizados en el desarrollo de este trabajo de grado. Estos códigos también se encuentran en el cd entregado con la presente monografía.

A.1 SILOSFUNC.M

Este código resuelve el modelo matemático propuesto por la universidad nacional para silos de secado de café, donde la `s_function` soluciona las ecuaciones diferenciales ordinarias y las ecuaciones diferenciales parciales son resueltas por la expresión $xH = AH \setminus BH$ para la Humedad del aire y $xT = AT \setminus BT$ para la temperatura del aire

```
function [sys,x0,str,ts] = silosfunc(t,x,u,flag)
persistent Tai Tam Tas Hi Hm Hs;
Ta0=50;
H0=0.008;
dT = 10; % Paso del tiempo
switchflag,
%%%%%%%%%%%%%%
% Initialization %
%%%%%%%%%%%%%%
case 0,
    [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes;
    %%%%%%%%%%%%%%%
    % Derivatives %
    %%%%%%%%%%%%%%%
case 1,
    sys=mdlDerivatives(t,x,u,Tai,Tam,Tas,Hi,Hm,Hs,dT);
    %%%%%%%%%%%%%%%
    % Update %
    %%%%%%%%%%%%%%%
case 2,
sys=mdlUpdate(t,x,u);
    %%%%%%%%%%%%%%%
    % Outputs %
    %%%%%%%%%%%%%%%
case 3,
sys=mdlOutputs(t,x,u);

    %%%%%%%%%%%%%%%
    % GetTimeOfNextVarHit %
    %%%%%%%%%%%%%%%
case 4,
```

```

sys=mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u);
    %%%%%%%%%%%
    % Terminate %
    %%%%%%%%%%%
case 9,
sys=mdlTerminate(t,x,u);
    %%%%%%%%%%%
    % Unexpected flags %
    %%%%%%%%%%%
otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
% end sfuntmpl
%=====
=====
% mdlInitializeSizes
% Return the sizes, initial conditions, and sample times for the S-function.
%=====
=====
function [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes
clc
clear all;
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 6; % [Ti, Tm, Ts, Mi, Mm, Ms]
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 6;
sizes.NumInputs = 1; % [Ga]
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1; % at least one sample time is needed
sys = simsizes(sizes);
% initialize the initial conditions
T0 = 20;
M0 = 60;
x0 = [T0,T0,T0,M0,M0,M0];
% str is always an empty matrix
str = [];
% initialize the array of sample times
ts = [0 0];
% end mdlInitializeSizes
%%=====
=====
% mdlDerivatives
% Return the derivatives for the continuous states.
%=====
=====
function sys=mdlDerivatives(t,x,u,Tai,Tam,Tas,Hi,Hm,Hs,dT)
% if isempty(Tai)
%   Tai = Ta0;
%   Tam = Ta0;

```

```

% Tas = Ta0;
% end
B=-0.34;
r0=0.002;
A=0.2755;
C=0.06175;
%a = 779.8;
a=779.8;
D=0.000165;
Ca=1.013;%Estan en discusion
Cw=4.187;%Estan en discusion
Cv=1.884;
HR=0.002; %Revisar
be=2.42958;
al=2502.4;
te=1.44408;
q=1.06439;
mm=0.0143;
P1=61.030848;
P2=-108.37141;
P3=74.461059;
Q1=-0.03049;
Q2=0.070114;
Q3=-0.035177;
al2=(P1*HR+P2*HR^2+P3*HR^3);
al3=(Q1*HR+Q2*HR^2+Q3*HR^3);
n=0.87898;
Pvs=0.5;%
Pv=0.3;%
Pa=1.2;
%%%%%%%%%%%%%% Asignación de las variables de estado y entrada %%%%%%%%%%%%%%%
Ga = u(1);
Ts = x(1);
Tm = x(2);
Ti = x(3);
Ms = x(4);
Mm = x(5);
Mi = x(6);
%%%%%%%%%%%%%% Parámetros funcion de T y M %%%%%%%%%%%%%%%
hfgi=(2502.4-2.42958*Ti)*(1+1.44408*exp(-21.5011*Mi/100));
hfgm=(2502.4-2.42958*Tm)*(1+1.44408*exp(-21.5011*Mm/100));
hfgs=(2502.4-2.42958*Ts)*(1+1.44408*exp(-21.5011*Ms/100));
Cpi=1.3556+5.7859*Mi/100;
Ppi=365.884+2.7067*Mi
Cpm=1.3556+5.7859*Mm/100;
Ppm=365.884+2.7067*Mm;
Cps=1.3556+5.7859*Ms/100;
Pps=365.884+2.7067*Ms;
Mei=al2*exp(al3*Ti);

```

```

Mem=al2*exp(al3*Tm);
Mes=al2*exp(al3*Ts);
%%%%%%%%% Cálculo de las derivadas del tiempo de M %%%%%%%%%%
dMi = -mm*q*(Mi-Mei)*(Pvs-Pv)^n*t^(q-1);
dMm = -mm*q*(Mm-Mem)*(Pvs-Pv)^n*t^(q-1);
dMs = -mm*q*(Ms-Mes)*(Pvs-Pv)^n*t^(q-1);
%%%%%%%%% Cálculo de H %%%%%%%%%%
H0=0.008;
ifisempty(Hi)
Hi = H0;
end
ifisempty(Hm)
Hm = H0;
end
ifisempty(Hs)
Hs = H0;
end
dl = 1.5; % tamaño del paso en x
alfa = 1/2/dl;
dJ = dT; % tamaño del paso en tiempo
Ep= 0.01;
delta = -Ep*Pa/Ga/dJ;
gamai = -Ppi*(1-Ep)/Ga;
gamam = -Ppm*(1-Ep)/Ga;
gamas = -Pps*(1-Ep)/Ga;
e = ones(3,1);
AH = spdiags([-alfa*e,-delta*e,alfa*e],-1:1,3,3);
BH = [-delta*Hs+gamas*dMs/100+alfa*H0;-delta*Hm+gamam*dMm/100;-
delta*Hi+gamai*dMi/100];
%xH = triblocksolve(AH,BH,1);
xH = AH\BH;
Hs = xH(1);
Hm = xH(2);
Hi = xH(3);
%%%%%%%%% Cálculo de Ta %%%%%%%%%%
Ta0 = 50;
ifisempty(Tai)
Tai = Ta0;
end
ifisempty(Tam)
Tam = Ta0;
end
ifisempty(Tas)
Tas = Ta0;
end
hi = A*Ca*Ga*(2*r0*Ga/(C+D*(Tai+273.15)))^B;
hm = A*Ca*Ga*(2*r0*Ga/(C+D*(Tam+273.15)))^B;
hs = A*Ca*Ga*(2*r0*Ga/(C+D*(Tas+273.15)))^B;
betai = hi*a/Ga/(Ca+Cv*Hi);

```



```

betam = hm*a/Ga/(Ca+Cv*Hm);
betas = hs*a/Ga/(Ca+Cv*Hs);
ATa = spdiags([-alfa*e,[betas;betam;betai],alfa*e],[-1:1,3,3]);
BTa = [Ts*betas+alfa*Ta0;Tm*betam;Ti*betai];
%xTa = triblocksolve(ATa,BTa,1);
xTa = ATa\BTa;
Tas = xTa(1);
Tam = xTa(2);
Tai = xTa(3);
%%%%%%%%%% Calculo de las derivadas del tiempo de M %%%%%%%%%%%
dT_i = hi*a*(Tai-Ti)/(1-Ep)/Ppi/(Cpi+Cw*M_i/100)-(hfgi+Cv*(Tai-Ti))/(1-
Ep)/(Cpi+Cw*M_i/100)*dM_i/100
dT_m = hm*a*(Tam-Tm)/(1-Ep)/Ppm/(Cpm+Cw*M_m/100)-(hfgm+Cv*(Tam-Tm))/(1-
Ep)/(Cpm+Cw*M_m/100)*dM_m/100
dT_s = hs*a*(Tas-Ts)/(1-Ep)/Pps/(Cps+Cw*M_s/100)-(hfgs+Cv*(Tas-Ts))/(1-
Ep)/(Cps+Cw*M_s/100)*dM_s/100
sys = [dT_s,dT_m,dT_i,dM_s,dM_m,dM_i];
% end mdlDerivatives
%%=====
=====
% mdlUpdate
% Handle discrete state updates, sample time hits, and major time step
% requirements.
%=====
=====
functionsys=mdlUpdate(t,x,u)
sys = [];
% end mdlUpdate
%%=====
=====
% mdlOutputs
% Return the block outputs.
%=====
=====
functionsys=mdlOutputs(t,x,u)
sys = [x];
% end mdlOutputs%
function sys=mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u)
sampleTime = 1; % Example, set the next hit to be one second later.
sys = t + sampleTime;
% end mdlGetTimeOfNextVarHit
%%=====
=====
% mdlTerminate
% Perform any end of simulation tasks.
%=====
=====
functionsys=mdlTerminate(t,x,u)
sys = [];

```

```
% end mdlTerminate
```

A.2 FUNCION IDENTIF.M

Este código entrega un modelo en espacio de estados en tiempo discreto de la planta teniendo como entrada voltaje (V) y como salida la temperatura (T) del grano y la humedad del grano (Ma) utilizando el comando pem.

```
clear all;
loadcafeid
echo on,
echo off
echo on
Ts=10;
% Primero se define el conjunto de datos como un objeto IDDATA:
silo = iddata(datos(2:3,:),datos(4,:),Ts);
% Para mejor seguimiento, de nombres a entradas y salidas:
silo.InputName = 'Voltaje';
silo.OutputName = {'T','Ma'};
ze = silo(1:50);
m1 = pem(ze,4,'Focus','Simulation' , 'InitialState','Estimate')
```

A.3 FUNCION IDECAFEB.M

Este código entrega un modelo en espacio de estados en tiempo discreto de la planta teniendo como entrada voltaje (V) y como salida la temperatura (T) del grano, la humedad del grano (Ma) y la temperatura del aire (Ta) utilizando el comando pem.

```
clear all;
loadcafeid
echo on,
echo off
echo on
Ts=10;
% Primero se define el conjunto de datos como un objeto IDDATA:
silo = iddata(datos(1:3,:),datos(4,:),Ts);
% Para mejor seguimiento, de nombres a entradas y salidas:
silo.InputName = 'Voltaje';
silo.OutputName = {'Ta','T','Ma'};
ze = silo(1:50);
m1 = pem(ze,4,'Focus','Simulation' , 'InitialState','Estimate')
echo off
```

A.4 FUNCION OBSCAFE.M

Con este script se calcula la ganancia L para el observador basándose en el criterio de asignación de polos, se fija un tiempo de establecimiento de 10 minutos para los polos dominantes, se cambia la base del sistema a la base canónica del controlador por medio de la matriz Ctb, se calcula la ganancia deseada por último se aplica la transformada inversa y se obtiene la ganancia del observador.

```
clear all;
loadcafeid
echo on,
echo off
echo on
Ts=10;
%
% se define el conjunto de datos como un objeto IDDATA:
silo = iddata(datos(2:3,:),datos(4,:),Ts);
% Para mejor seguimiento, de nombres a entradas y salidas:
silo.InputName = 'Voltaje';
silo.OutputName = {'T','Ma'};
% Seleccione las primeras 30 muestras para construir un modelo:
ze = silo(1:50);
m1 = pem(ze,4,'Focus','Simulation','InitialState','Estimate')
echo off
%%set(gcf,'NextPlot','replace');
% Diseño del observador
% Como el tiempo de establecimiento es del orden de 1000 minutos
% se fija un tiempo de establecimiento para el observador en 10 minutos
ts = 10;
sita = 0.7; % Para un sobreimpulso inferior al 5%
% Polos dominantes deseados
sigma = 4.6/ts;
wn = sigma/sita;
%autovalores dominantes deseados de tiempo continuo
p1 = -sigma+j*wn*sqrt(1-sita^2);
p2 = -sigma-j*wn*sqrt(1-sita^2);
%autovalores adicionales
p3 = -6*sigma;
p4 = -7*sigma;
%Paso de autovalores deseados a tiempo discreto
% polos discretos
p1d = exp(p1*Ts);
p2d = exp(p2*Ts);
p3d = exp(p3*Ts);
p4d = exp(p4*Ts);
%Polinomio desdeado tiempo discreto:
pd = conv([1 -p1d],[1 -p2d]);
pd = conv(pd,[1 -p3d]);
```

```

pd = conv(pd,[1 -p4d]);
% Algoritmo de Bass-Gura
% A partir del dual, lo que se puede medir es T (primera fila de m1.c)
A = m1.a;
C = m1.c(1,:);
% Matriz de controlabilidad
Ct = ctrb(A',C');
% El polinomio del sistema en lazo abierto es:
p = poly(A);
% Matriz de controlabilidad en el sistema barra
Ctb = inv([1 p(2) p(3) p(4) ;
          0 1 p(2) p(3) ;
          0 0 1 p(2) ;
          0 0 0 1 ]);
Kb = [pd(2)-p(2),pd(3)-p(3),pd(4)-p(4),pd(5)-p(5)];
Ko = Kb*Ctb*inv(Ct);
L = Ko';

```

A.5 FUNCION IDCAFE.M

Con este script se calcula la ganancia K para el controlador basándose en el criterio de asignación de polos, se fija un tiempo de establecimiento de 450 minutos para los polos dominantes, se cambia la base del sistema a la base canónica del controlador por medio de la matriz Ctb, se calcula la ganancia deseada por último se aplica la transformada inversa y se obtiene la ganancia del controlador.

```

clear all;
loadcafeid
echo on,
echo off

echoon
%Se fija un tiempo de muestreo de 10 min tiempo en el cual se tomaron
%las muestras
Ts=10;
% se define un conjunto de datos como un objeto IDDATA:
silo = iddata(datos(2:3,:),datos(4,:),Ts);
% Para mejor seguimiento, de nombres a entradas y salidas:
silo.InputName = 'Voltaje';
silo.OutputName = {'T','Ma'};
% Seleccione las primeras 50 muestras para construir un modelo:
ze = silo(1:50);
%ze = dtrend(ze);
%se fija un modelo de orden 4 ya que tenemos un modelo base
%Los datos no se arreglan con dtrend ya que necesitamos condiciones iniciales
m1 = pem(ze,4,'Focus','Simulation','InitialState','Estimate')
% Diseño del observador
% Como el tiempo de establecimiento es del orden de 1000 minutos

```

```

% se fija un tiempo de establecimiento para el observador en 10 minutos
ts = 10;
sita = 0.7; % Para un sobreimpulso inferior al 5%
% Polos dominantes deseados
sigma = 4.6/ts;
wn = sigma/sita;
%autovalores dominantes deseados de tiempo continuo
p1 = -sigma+j*wn*sqrt(1-sita^2);
p2 = -sigma-j*wn*sqrt(1-sita^2);
%autovalores adicionales
p3 = -6*sigma;
p4 = -6*sigma;
%Paso de autovalores deseados a tiempo discreto
% polos discretos
p1d = exp(p1*Ts);
p2d = exp(p2*Ts);
p3d = exp(p3*Ts);
p4d = exp(p4*Ts);
%Polinomio desdeado tiempo discreto:
pd = conv([1 -p1d],[1 -p2d]);
pd = conv(pd,[1 -p3d]);
pd = conv(pd,[1 -p4d]);
% Algoritmo de Bass-Gura
% A partir del dual, lo que se puede medir es T (primera fila de m1.c)
A = m1.a;
C = m1.c(1,:);
% Matriz de controlabilidad
Ct = ctrb(A',C');
% El polinomio del sistema en lazo abierto es:
p = poly(A);
% Matriz de controlabilidad en el sistema barra
Ctb = inv([1 p(2) p(3) p(4) ;
          0 1 p(2) p(3) ;
          0 0 1 p(2) ;
          0 0 0 1 ]);
Kb = [pd(2)-p(2),pd(3)-p(3),pd(4)-p(4),pd(5)-p(5)];
Ko = Kb*Ctb*inv(Ct);
L = Ko';
% Diseño de controlador
% Aumento de la planta con integradores
Aa = [m1.a zeros(4,1);-m1.c(2,:) eye(1,1)];
Ba = [m1.b;zeros(1,1)];
Ca = [m1.c(2,:) zeros(1,1)];
Da = 0;
% Como el tiempo de establecimiento es del orden de 1000 minutos
% se fija un tiempo de establecimiento para el observador en 600 minutos
ts = 450;
sita = 2; % Para un sobreimpulso inferior al 5%
% Polos dominantes deseados

```

```

sigma = 4.6/ts;
wn = sigma/sita;
%autovalores dominantes deseados de tiempo continuo
p1a = -sigma+j*wn*sqrt(1-sita^2);
p2a = -sigma-j*wn*sqrt(1-sita^2);
%autovalores adicionales
p3a = -8*sigma;
p4a = -10*sigma;
p5a = -12*sigma;
%p6a = -12*sigma;
%Paso de autovalores deseados a tiempo discreto
% polos discretos
p1da = exp(p1a*Ts);
p2da = exp(p2a*Ts);
p3da = exp(p3a*Ts);
p4da = exp(p4a*Ts);
p5da = exp(p5a*Ts);
p3da = 0.7210;
%p4da = 1;
p5da = 0.9840;
%p6da = exp(p6a*Ts);
%Polinomio desdeado tiempo discreto:
pda = conv([1 -p1da],[1 -p2da]);
pda = conv(pda,[1 -p3da]);
pda = conv(pda,[1 -p4da]);
pda = conv(pda,[1 -p5da]);
%pda = conv(pda,[1 -p6da]);
% Algoritmo de Bass-Gura
% Matriz de controlabilidad
Cta = ctrb(Aa,Ba);
% El polinomio del sistema en lazo abierto es:
pa = poly(Aa);
% Matriz de controlabilidad en el sistema barra
Ctb = inv([1 pa(2) pa(3) pa(4) pa(5);
          0 1 pa(2) pa(3) pa(4);
          0 0 1 pa(2) pa(3);
          0 0 0 1 pa(2);
          0 0 0 0 1 ]);
Kb = [pda(2)-pa(2),pda(3)-pa(3),pda(4)-pa(4),pda(5)-pa(5),pda(6)-pa(6)];
K = Kb*Ctb*inv(Cta);
%K = place(Aa,Ba,[p1da,p2da,p3da,p4da,p5da]);
Kx = K(1,1:4);
Kz = K(1,5);

```

A.6 FUNCION IDCAFED.M

Con el siguiente código se calcula la ganancia L para el observador basándose en el criterio de regulador óptimo cuadrático, se arman las matrices Q_0, R_0 y se fija λ_{dao} en 0.1, con estas matrices y con el comando `dlqr` se obtiene L , luego se calcula la ganancia para el controlador creando las matrices Q, R y fijando λ_{da} en 1000, este es un valor más alto que el del observador con el objetivo que primero se observe y luego se controle con estos criterios y el comando `dlqr` se obtiene la ganancia del controlador.

```
clear all;
loadcafeid
echo on,
echo off
echo on
Ts=10;
loadcafeid
silo = iddata(datos(2:3,:), datos(4,:), Ts);
% Para mejor seguimiento, de nombres a entradas y salidas:
silo.InputName = 'Voltaje';
silo.OutputName = {'T', 'Ma'};
% Seleccione las primeras 30 muestras para construir un modelo:
ze = silo(1:50);
%ze = dtrend(ze);
m1 = pem(ze, 4, 'Focus', 'Simulation', 'InitialState', 'Estimate')
echo off
%set(gcf, 'NextPlot', 'replace');
% Diseño del observador
Qo = eye(4,4); %matriz real simetricahermetica
lambdao = 1e-1;
Ro = lambdao; %matriz real simetrica
A = m1.a;
B = m1.b;
C = m1.c(2,:);
D = 0;
Ao = A';
Bo = C';
Ko = dlqr(Ao, Bo, Qo, Ro);
L = Ko';
% Diseño de controlador
% Aumento de la planta con integradores
Aa = [m1.a zeros(4,1); -m1.c(2,:) eye(1,1)];
Ba = [m1.b; zeros(1,1)];
Ca = [m1.c(2,:) zeros(1,1)];
Da = 0;
Q = [0 0 0 0 0;
     0 0 0 0 0;
     0 0 0 0 0;
     0 0 0 0 0;
```

```

    0 0 0 0 1];
lambda = 1e4;
R = lambda;
K = dlqr(Aa,Ba,Q,R);
Kx = K(1,1:4);
Kz = K(1,5);

```

A.7 FUNCION IDCAFEE.M

El siguiente código sigue un perfil de humedad basándose en el criterio de control por modelo interno, se diseña un observador como el de la sección A6, se le adiciona al sistema la dinámica de la referencia que consiste en la transformada de Laplace de una exponencial inversa y la dinámica de un disturbio que consiste en la transformada de Laplace de un escalón, por último el sistema se representa en su función de transferencia y se calculan las ganancias correspondientes.

```

clear all;
loadcafeid
echo on,
echo off
echo on
Ts=10;
silo = iddata(datos(2:3,:),datos(4,:),Ts);
% Para mejor seguimiento, de nombres a entradas y salidas:
silo.InputName = 'Voltaje';
silo.OutputName = {'T','Ma'};
ze = silo(1:50);
%ze = dtrend(ze);
m1 = pem(ze,4,'Focus','Simulation','InitialState','Estimate')
zv = silo(1:50);
zv = dtrend(zv);
compare(zv,m1);
echo off
set(gcf,'NextPlot','replace');
% Diseño del observador
Qo = eye(4,4);
lambdao = 1e-1;
Ro = lambdao;
A = m1.a;
B = m1.b;
C = m1.c(1,:);
D = 0;
Ao = A';
Bo = C';
Ko = dlqr(Ao,Bo,Qo,Ro);
L = Ko';
% Diseño de controlador

```



```

[ab,bb,cb,db] = bilin(A,B,C,D,-1,'Tustin',Ts);
sysg = ss(ab,bb,cb,db);
[num,den]=ss2tf(ab,bb,cb,db);
[Pg,Zg] = pzmap(tf(num,den));
tau = 500;
% La referencia queremos que tenga tau = 40;
% Phi(s) = s^2+s/tau
% Agregamos al denominador, Phi(s)
phi = [1 1/tau 0];
deng = conv(den,phi);
d6 = deng(1); d5 = deng(2); d4 = deng(3); d3 = deng(4); d2 = deng(5); d1 = deng(6); d0 =
deng(7);
n6 = 0; n5 = 0; n4 = num(1); n3 = num(2); n2 = num(3); n1 = num(4); n0 = num(5);
% Ubicación de polos
ts = 600;
sita = 1; % Para un sobreimpulso inferior al 5%
% Polos dominantes deseados
sigma = 4.6/ts;
wn = sigma/sita;
% D(s) es de orden 4.
% La referencia/disturbio es de orden 2 (Phi(s))
% El compensador debe ser de orden (4+2-1)=5
% El polinomio característico de lazo cerrado debe ser de orden (4+2+5)=11
%autovalores dominantes deseados de tiempo continuo
p1 = -sigma+j*wn*sqrt(1-sita^2);
p2 = -sigma-j*wn*sqrt(1-sita^2);
%autovaloresadicionales
if Zg(1)<0
    p3 = Zg(1);
else
    p3 = -6*sigma;
end;
if Zg(2)<0
    p4 = Zg(2);
else
    p4 = -8*sigma;
end;
if Zg(3)<0
    p5 = Zg(3);
else
    p5 = -10*sigma;
end;
if Zg(4)<0
    p6 = Zg(4);
else
    p6 = -12*sigma;
end;
p7 = -14*sigma;
p8 = -15*sigma;

```

```

p9 = -16*sigma;
p10 = -17*sigma;
p11 = -18*sigma;
pd = conv([1 -p1],[1 -p2]);
pd = conv(pd,[1 -p3]);
pd = conv(pd,[1 -p4]);
pd = conv(pd,[1 -p5]);
pd = conv(pd,[1 -p6]);
pd = conv(pd,[1 -p7]);
pd = conv(pd,[1 -p8]);
pd = conv(pd,[1 -p9]);
pd = conv(pd,[1 -p10]);
pd = conv(pd,[1 -p11]);
%el polinomio caracteristico de lazo cerrado
f0 = pd(12); f1 = pd(11);f2 = pd(10); f3= pd(9); f4 = pd(8);f5 = pd(7); f6 = pd(6); f7 = pd(5);
f8= pd(4); f9 = pd(3); f10 = pd(2); f11 = pd(1);
f=[f0 f1 f2 f3 f4 f5 f6 f7 f8 f9 f10 f11];
% Matriz S
S = [d0 d1 d2 d3 d4 d5 d6 0 0 0 0 0;
n0 n1 n2 n3 n4 n5 n6 0 0 0 0 0;
0 d0 d1 d2 d3 d4 d5 d6 0 0 0 0;
    0 n0 n1 n2 n3 n4 n5 n6 0 0 0 0;
    0 0 d0 d1 d2 d3 d4 d5 d6 0 0 0;
    0 0 n0 n1 n2 n3 n4 n5 n6 0 0 0;
    0 0 0 d0 d1 d2 d3 d4 d5 d6 0 0;
    0 0 0 n0 n1 n2 n3 n4 n5 n6 0 0;
    0 0 0 0 d0 d1 d2 d3 d4 d5 d6 0;
    0 0 0 0 n0 n1 n2 n3 n4 n5 n6 0;
0 0 0 0 0 d0 d1 d2 d3 d4 d5 d6;
    0 0 0 0 0 n0 n1 n2 n3 n4 n5 n6];
% Solución del compensador
sol=f/S;
a0 =sol(1);
b0 =sol(2);
a1 =sol(3);
b1 =sol(4);
a2 =sol(5);
b2 =sol(6);
a3 =sol(7);
b3 =sol(8);
a4 =sol(9);
b4 =sol(10);
a5 =sol(11);
b5 =sol(12);
% Obtención de la FT del compensador en tiempo continuo
dencc=[a5 a4 a3 a2 a1 a0];
dencc=conv(dencc,phi);
numcc=[b5 b4 b3 b2 b1 b0];
[acc,bcc,ccc,dcc]=tf2ss(numcc,dencc);

```

```

syscomp = ss(acc,bcc,ccc,dcc);
[numcomp,dencomp]= ss2tf(syscomp.a,syscomp.b,syscomp.c,syscomp.d);
% Paso a tiempo dsicreto
[acd,bcd,ccd,dcd] = bilin(acc,bcc,ccc,dcc,1,'Tustin',Ts);

% Generación de la referencia
ri = 40; %Valor inicial de la exponencial = M(0)
rf = 10; %Valor final de la exponencial = 10
% referencia de tiempo continuo
Ar = [0 1;0 -1/tau];
Br = zeros(2,1);
Cr = [rf/tau ri];
Dr = 0;
z0 = [0;1]; %Condicion inicial para el estado
% Discretización de la referencia
sys = ss(Ar,Br,Cr,Dr);
sysdr = c2d(sys,Ts);
%
systot=feedback(series(syscomp,sysg),1);
[P,Z]=pzmap(systot)
roots(pd)

```

ANEXO B. CIRCUITOS DE POTENCIA

B.1 AMPLIFICADOR PARA EL ANEMÓMETRO.

Puesto que la señal de salida del anemómetro es muy débil se implementa un amplificador de voltaje para que la señal de salida este en un rango de 0 y 5 voltios esto se logra con el integrado LM 324 el cual me proporciona una ganancia de 10 con el arreglo de resistencias dado en la ilustración n. para mayor información ver data sheet lm324n ver Figura 1.

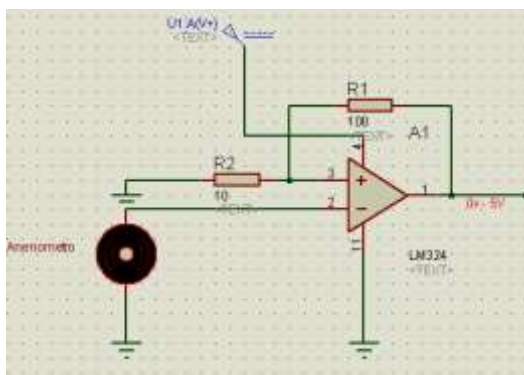


Figura 1. Amplificador de voltaje

B.2 Detector de nivel

Para lograr la potencia para el ventilador se necesita construir un detector de nivel el cual amplifica la señal PWM que entrega el puerto paralelo por el pin 2 a una señal que entre 0 y 10 voltios para el funcionamiento del FET conectado al motor del ventilador ver Figura 2.

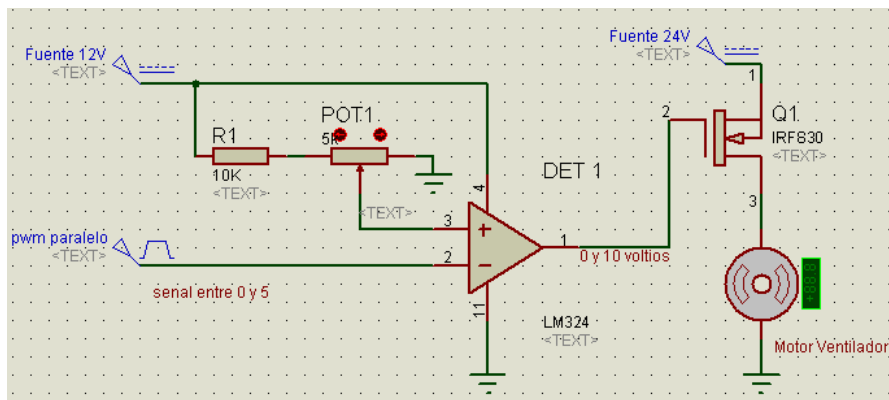


Figura 2. Detector de nivel

B.3 VARIACIÓN DE VOLTAJE DESDE SIMULINK.

Para variar las señales de entrada en cierto periodo de tiempo, se utilizo la señal PWM generada por Simulink para luego convertirla a una señal PWM lógica y pasarla al bloque paralelo.

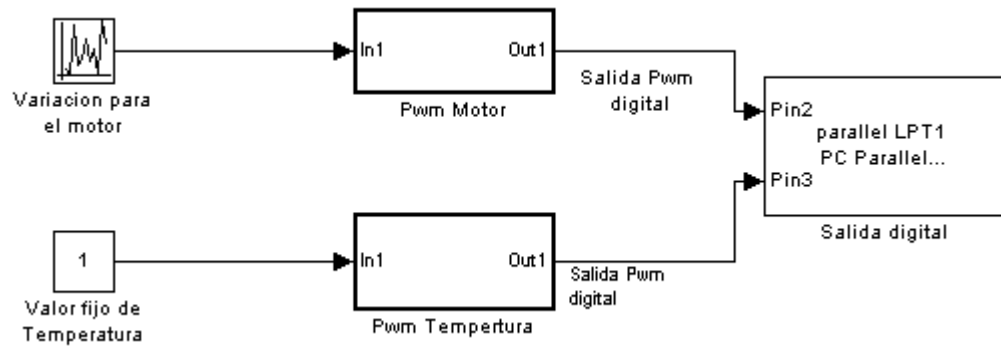


Figura 3. Variación de voltaje desde Simulink.

ANEXO C. TABLAS DE DATOS

A continuación se presentan dos tablas de datos, el tiempo de muestreo es de 10 minutos, y el cambio de compuertas es de 1 hora. El tiempo se encuentra en minutos, la humedad en %b.h (base húmeda), el voltaje en Voltios la temperatura del grano y temperatura del flujo se encuentran en °C.

Tabla 1. Toma de datos 1

Tiempo	Humedad	T° grano	Voltaje	Temperatura flujo
-	53,00	21.1	3.8	50
10	52.74	22.4	3.8	47
20	52.56	24.5	3.6	47
30	52.11	27.5	4.6	52
40	49.24	28.2	4.8	49
50	47.13	29.6	4.4	50
60	46.79	32,00	4.46	58
70	46,00	30.6	4.65	48
80	45.77	31.2	4.63	61
90	45.65	38.2	45,00	55
100	45.42	35.5	4.75	56
110	45.18	29.6	3.92	47
120	44.82	30.8	3.64	63
130	44.22	30.5	4.8	61
140	43.85	36.7	5.03	67
150	43.6	35,00	5,00	65
160	43.47	33,00	4.9	66
170	43.22	35,00	5.11	65
180	42.97	34.9	4.7	64
190	42.32	33.5	4.55	64
200	39.57	36.3	4.59	65
210	38.84	38.5	4.55	66
220	38.1	37.4	4.53	65
230	37.64	37.5	5,00	65
240	37.02	34,00	4.77	65
250	36.55	32.5	4.86	54
260	36.39	35,00	4.9	65
270	35.75	39.7	4.88	67

280	34.92	40.8	4.95	65
290	34.59	38,00	4.87	68
300	33.9	39.6	4.93	67
310	33.21	39.9	4.84	65
320	32.86	37.1	4.3	60
330	31.96	40.5	4.63	64
340	31.22	38.2	4.56	65
350	30.47	39,00	4.55	65
360	29.5	42.1	5.58	65
370	28.91	35.5	4.54	56
380	28.51	39.4	4.57	63
390	27.28	57,00	4.75	53
400	26.22	44.6	4.8	57
410	26.01	40.7	4.86	63
420	25.13	40.1	4.83	67
430	24.01	38.1	4.91	61
440	23.78	40.2	4.44	59
450	23.55	36.7	4.75	57
460	23.32	35.8	4.68	58
470	22.86	39.6	4.61	62
480	22.62	37.3	4.5	59
490	22.62	37.6	4.54	62
500	22.39	38.8	4.71	61
510	21.91	37.6	4.83	64
520	20.69	39.8	4.87	62
530	20.19	41.6	4.89	65
540	19.68	37.6	4.92	63
550	19.43	40.4	4.95	65
560	18.65	40.4	4.93	64
570	17.6	37.2	4.7	60
580	17.06	40.1	4.63	64
590	16.79	40.4	4.59	63
600	15.96	40.4	4.57	62
610	15.4	38.9	4.58	64
620	15.12	40.2	4.4	61
630	14.55	54.6	4.75	65
640	13.38	42.2	4.8	61
650	12.48	41.5	4.83	68

Tabla 2. Toma de datos 2

Tiempo	Humedad	T° grano	Voltaje	Temperatura flujo
-	53,00	20,20	3,83	50
10	52,70	20,97	3,57	47
20	52,78	23,30	4,52	47
30	52,00	25,74	4,52	52
40	51,30	27,66	4,90	49
50	50,20	29,50	4,08	50
60	49,50	30,33	4,28	58
70	48,60	30,61	4,75	48
80	47,80	31,52	3,55	61
90	47,50	31,49	3,58	55
100	46,60	30,55	4,29	56
110	45,70	30,49	4,51	47
120	45,30	31,56	3,51	63
130	45,00	31,58	4,08	61
140	44,00	31,17	3,60	67
150	43,40	30,61	4,13	65
160	42,80	30,67	4,53	66
170	42,30	31,64	4,38	65
180	41,70	32,60	4,90	64
190	40,12	33,68	4,77	64
200	40,30	34,65	4,29	65
210	39,70	34,82	3,64	66
220	38,90	33,76	4,48	65
230	38,10	33,39	4,12	65
240	37,70	33,57	4,55	65
250	37,20	34,13	4,87	54
260	36,60	35,08	4,64	65
270	36,00	35,78	3,89	67
280	35,43	35,23	3,57	65
290	34,70	33,74	4,60	68
300	33,90	33,56	3,99	67
310	33,80	33,86	4,45	65
320	33,20	34,25	4,63	60
330	32,55	34,82	4,99	64
340	31,90	35,82	4,05	65
350	31,40	35,83	3,87	65
360	30,85	34,81	4,97	65
370	30,00	35,04	4,58	56

380	29,50	35,95	4,63	63
390	29,20	36,56	4,48	53
400	28,40	36,58	3,61	57
410	28,00	35,43	4,45	63
420	27,00	34,84	4,83	67
430	26,80	35,64	3,91	61
440	26,50	35,78	4,15	59
450	26,00	35,20	4,65	57
460	25,50	35,28	4,22	58
470	25,10	35,50	3,86	62
480	24,47	35,00	3,91	59
490	23,82	34,20	4,04	62
500	23,40	33,80	3,75	61
510	23,10	33,43	4,23	64
520	22,80	33,47	4,85	62
530	22,12	34,52	4,86	65
540	21,70	35,92	3,59	63
550	21,40	35,48	4,86	65
560	20,30	35,32	4,26	64
570	20,10	35,56	4,27	60
580	19,52	35,68	3,98	64
590	19,10	35,28	4,98	63
600	18,30	35,81	4,24	62
610	18,27	36,28	3,90	64
620	17,77	35,76	3,64	61
630	17,10	34,52	4,92	65
640	16,50	34,89	3,61	61
650	16,62	34,97	4,25	68
650	16,00	34,78	4,08	67
670	15,67	34,58	3,92	67
680	15,20	34,28	4,87	68
690	14,60	35,02	4,29	68
700	14,30	35,75	4,20	68
710	13,80	35,75	4,91	68
720	13,10	36,25	3,58	67
730	13,00	35,80	4,64	68
740	12,60	35,68	4,66	68
750	11,90	36,35	4,74	68
760	11,56	37,24	3,69	68

ANEXO D. CONSTRUCCION DE SILOS TIPO CENICAFE

Un silo tradicional tipo Cenicafe, está integrado por los siguientes componentes [3]:

- A. Cuartos o compartimientos
- B. Fuente de calor
- C. Intercambiador de calor y chimenea
- D. Ventilador
- E. Ductos o túneles, para la distribución del aire
- F. Puertas de cargue y descargue
- G. Compuertas para el control de entrada y salida del aire
- H. Puerta del túnel
- I. Cámara plenum
- J. Piso o fondo perforado
- K. Espesor del lecho de café

Cuartos o compartimientos: El material más adecuado para su construcción es el ladrillo de barro cocido, revestido (revocado) con mezcla de arena y cemento. Además del ladrillo se pueden utilizar madera, lamina metálica o placas de asbesto-cemento.

Las paredes de los cuartos, deben ser lisas e impermeables.

Fuente de calor: La temperatura se puede determinar con un termómetro y controlar con un termostato en los quemadores de chispa, y en los demás quemadores regulando el combustible.

Intercambiadores de calor: Se requieren para el calentamiento del aire y la eliminación de los gases de combustión. Se encuentran dos tipos de intercambiadores: horizontales y verticales.

Nota: En el caso de la maqueta construida no se requiere intercambiador de calor ya que la fuente de calor es una fuente limpia de gases.

Ventiladores: El ventilador es uno de los elementos que mas influye en el diseño y funcionamiento del silo.

La función del ventilador es hacer pasar, a través de todo el sistema, un caudal de aire determinado, venciendo la resistencia opuesta por los componentes (ductos, lecho de café y compuertas).

El termómetro y/o el termostato deben instalarse en la salida del aire del ventilador, pero sin hacer contacto con la lámina, o en la entrada del aire al túnel o al plenum del silo.

Ductos o túneles: Son los que distribuyen el aire desde el ventilador hasta el plenum del silo.

El criterio para su construcción debe ser el de distribuir en forma pareja el caudal de aire, sin crear restricciones bruscas.

Los ductos deben ser lo mas lisos posibles, herméticos e impermeables.

Ancho del túnel: 0.80 a 1m.

Largo: Según el cuarto.

Alto: la altura del cuarto.

Puertas de cargue y descargue: Las puertas de cargue y descargue pueden ser de 0.30 x 30m. las de descargue deben ser mínimo de 1.0 x 1.0m. Con el fin de que se faciliten las labores del manejo del café.

Compuertas para la entrada y salida del aire: Estas compuertas deben tener un ancho de 0.30m. El largo depende del tamaño del cuarto. Mientras sea posible cada una de las compuertas de salida debe tener un área igual o mayor que la salida del ventilador.

Todas las compuertas del silo deberán ser del mismo tamaño y sus empaquetaduras hay que mantenerlas en buen estado. Deben colocarse en la parte superior e inferior y quedar distribuidas uniformemente. Los tapones de PVC no son recomendables.

Cámara o plenum: La cámara superior debe tener una altura de 0.5 a 1m. Comprendida ente el cieloraso y el nivel superior de la masa de café (1.0 a 1.5m

de la malla al cieloraso). La altura debe permitir la circulación del aire y el manejo del café dentro del cuarto.

La cámara inferior debe tener una altura mínima, entre el piso y la malla, de 50 centímetros, y debe tener una puerta de acceso o el piso removible, para efectuar limpiezas periódicas.

Fondo perforado: Se puede fabricar de malla de alambre galvanizado o lamina perforada, el fondo debe tener por lo menos el 50% de área libre y con refuerzos para soportar el peso del café y los operarios.

Espesor del lecho: El espesor de la capa de café debe tener mínimo 10 centímetros y máximo 40 centímetros. Algunos equipos operan con capas mayores, según la capacidad del ventilador. En todos los casos se debe acatar las recomendaciones del silo.

CALCULOS EN EL DISEÑO DE UN SILO TIPO CENICAFE

- A. Volumen de la masa de café expresada en m^3

$$\frac{@ cps \times 12.5 \frac{kg}{@}}{380 Kg \frac{cps}{m^3}} = \text{---} m^3 \text{ o bien } @ cps \times 0.03289 m^3 == \text{---} m^3$$

- B. Área de los cuartos secadores expresada en m^2

$$AREA = \frac{VOLUMEN}{ESPESOR DE LA MASA DE CAFE}$$

- C. Velocidad del aire dentro del silo, expresada en m/minuto o pies/minuto, la velocidad del aire para atravesar la masa de café se ha fijado entre 28 y 30m/min.

- D. Flujo o caudal del ventilador (Q) expresado en pie^3/min

$$Q = velocidad \times Area \text{ del cuarto}$$

- E. Area de las compuertas

$$area \text{ de la compuerta} = area \text{ del cuarto} \times 0.075$$

$$area = largo \times ancho$$

- F. Mallas para el piso del silo

De la lamina galvanizada calibre 18 a 22, tamaño 1x2m. de roto expandido 10-25 x 3mm. O roto redondo 3mm. De diámetro.

De malla galvanizada calibre 18 a 20 roto de 6mm.

G. Dimensiones del túnel.

Ejemplo: Ancho = 0.80m, Largo = Longitud del cuarto, Alto = Alto del cuarto.

H. Dimensiones de la puerta del túnel.

Ejemplo: Ancho = 0.60m, Altura = Altura del cuarto.

I. Dimensiones de la puerta de cargue y descargue.

Ejemplo: Alto = 1m. Ancho = siquiera 1m.

J. Altura de la malla del cielo

Ejemplo: 1,20 a 1,50m

ANEXO E. DESCRIPCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA

Para la construcción del silo se siguieron las recomendaciones de Cenicafe para la construcción de silos de secado de café tipo Cenicafe [3].

Cuarto o compartimiento: como para la construcción de este se puede usar madera, se decidió utilizar madera, madeflex. Las paredes debían ser lisas e impermeables aparte de que tenían que facilitar la conductividad térmica, se uso icopor (aparte que es el material mas usado para la construcción de los silos de cafe) que es un material que ayuda a que las anteriores condiciones se cumplan.

Para la construcción se parte de la masa de café a procesar en este caso se cuenta con 12 libras de producto se convierten a arrobas (0.48 @) y se expresan en unidades de volumen (m^3) con la siguiente relación [3]:

$$Volumen = 0.48 @ * 0.03289m^2 = 0.01580m^3 . \quad (1)$$

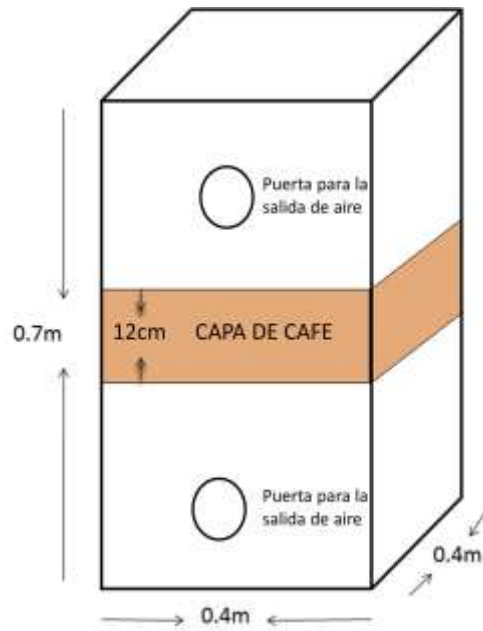
Con el volumen obtenido y el espesor de la capa de grano que se propone de 12 cm (espesor definido por el constructor y tiene que tener un mínimo de 10cm y máximo 40) se obtiene el área del cuarto secador con la siguiente relación:

$$Area = \frac{Volumen}{Espesor\ de\ la\ capa\ de\ grano} = 0.1316m^2 \quad (2)$$

$$Lado\ del\ silo = \sqrt{0.1316m^2} = 0.36m$$

Cada lado tiene una longitud de 0.36 metros en este caso se aproximo a 0.4 metros teniendo como área final $0.16m^2$ que corresponde a 40cm *40cm. La altura del compartimiento (no tiene restricciones para su construcción) se fija de tal forma que se puedan empotrar los ductos de entrada y salida de aire, en este caso

se fija en 0.7 m. Con estas dimensiones se implementa el cuarto quedando como se muestra en la figura 4.



a. Vista 3d



b. Vista frontal



c. Vista lateral

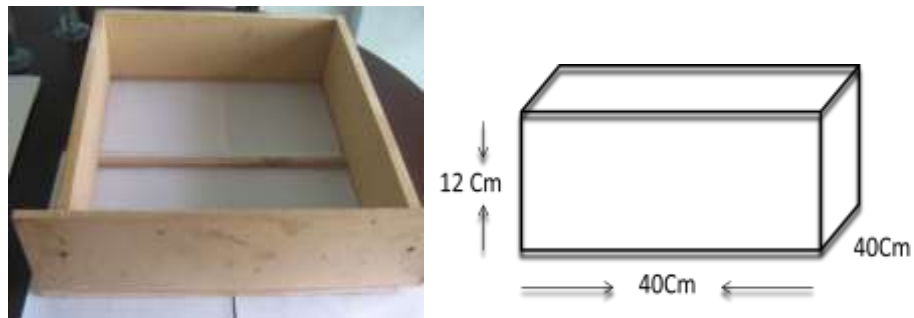


d. Vista trasera

Figura 4. Compartimiento silo de café

En la anterior Figura se puede notar la instalación que se hizo de las compuertas de entrada y salida del aire, la cámara plenum y la adecuación de los anemómetros los cuales se explicaran a continuación.

Cámara Plenum: En este caso se diseño un cajón para facilitar la carga y descarga del silo que tiene como base malla galvanizada tipo estándar para silos de secado de café, con área de $37\text{cm} \times 37\text{cm}$ que corresponde al área de sección transversal del compartimiento y altura 12 cm que corresponden al grosor de la capa ver figura 5. Este cajón facilita la limpieza, toma de muestras con facilidad, permite la circulación y el manejo del café dentro del cuarto.



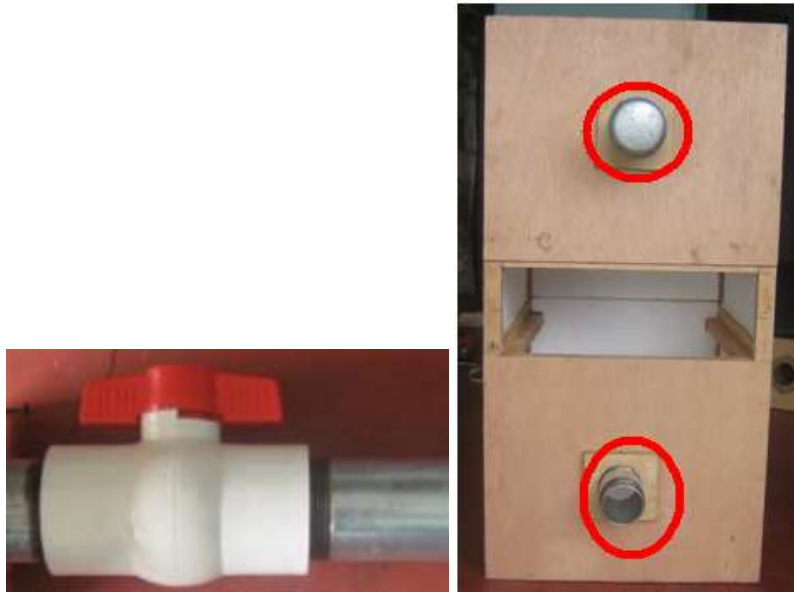
a. Cajón o cámara plenum



b. Camara plenum con café en el silo

Figura 5. Camara Plenum.

Compuertas para el control manual de entrada y de salida del aire: Las compuertas de entrada se implementaron por medio de llaves de tubería PVC de 2" y las compuertas de salida con tapones galvanizados de 2" ver figura 6.



a. compuerta para la entrada del aire b. compuertas para la salida del aire

Figura 6. Compuertas para el control de entrada y de salida del aire

Resistencia para la fuente de calor: Se utilizo una resistencia la cual convierte energía eléctrica en energía calórica se hizo uso de una resistencia de un secador de cabello la cual proporciona un máximo de 55°C al aire utilizando una potencia de 110 Vac a 12 Ac ver Figura 7. (La única condición que debe tener esta es que brinde la temperatura deseada para el secado del café, osea debe mantener una temperatura deseada entre los 48 y 50°C)



Figura 7. Resistencia Para La fuente de Calor

Fuente de Calor: se utilizó tubo galvanizado de 2" (pulgadas) de diámetro * 15" de largo debido a la resistencia al calor, puesto que la resistencia tiene un diámetro de 1,85" de diámetro y una longitud de 7", en el cual se introdujo la resistencia en un extremo del tubo, por lo tanto por un extremo entra el aire a temperatura ambiente y por el otro sale el aire a la temperatura deseada ver figura 8.

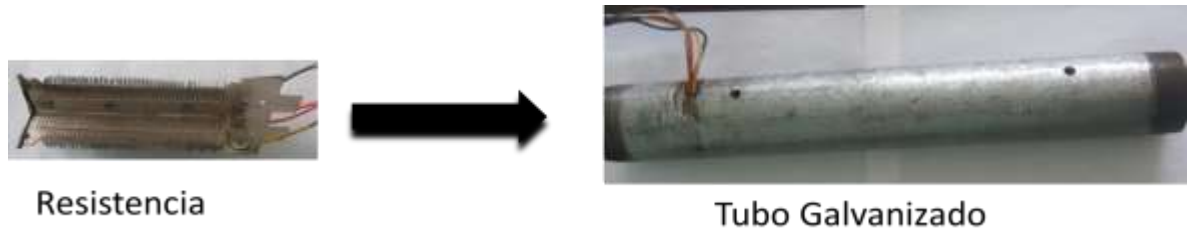


Figura 8. Fuente de Calor

Ventilador: Para la implementación de este sistema se adapta una tuerca de 2" de diámetro a la salida de un sistema de refrigeración de un automóvil que proporciona la cantidad de aire suficiente para atravesar la capa de grano para mayor información ver referencia [3] ver figura 9.



Figura 9. Ventilador

Ductos o Túneles: El único criterio para su construcción es que se debe distribuir en forma pareja el aire, para ello solo basta con adecuar la tubería a la altura del compartimiento, puesto que la fuente de calor se realizó con tubería de 2" y material galvanizado que soporta la temperatura del proceso, para la conducción del aire se debe utilizar tubos del mismo diámetro y del mismo material, ya que resisten el calor al que van a estar sometidos ver figura 10.

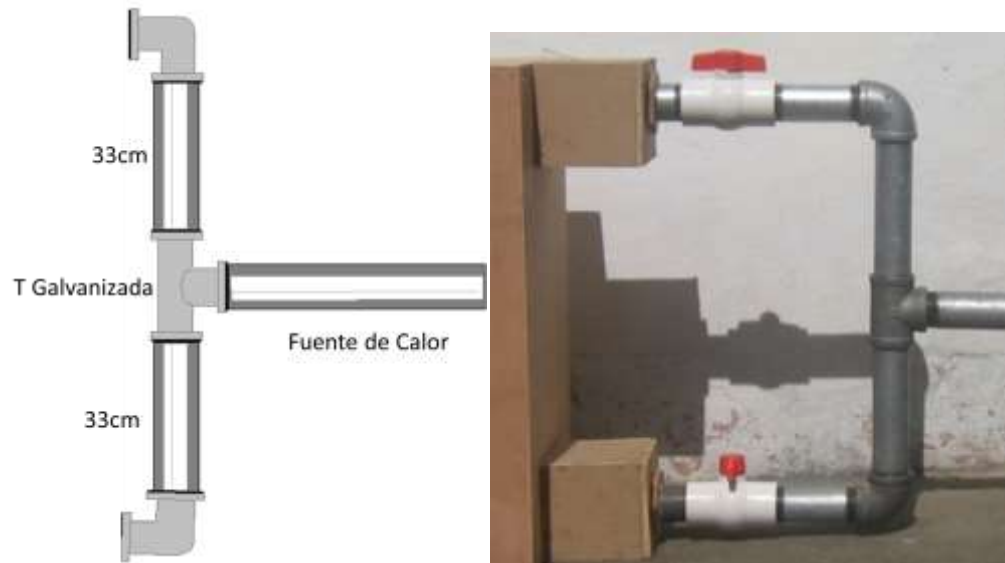
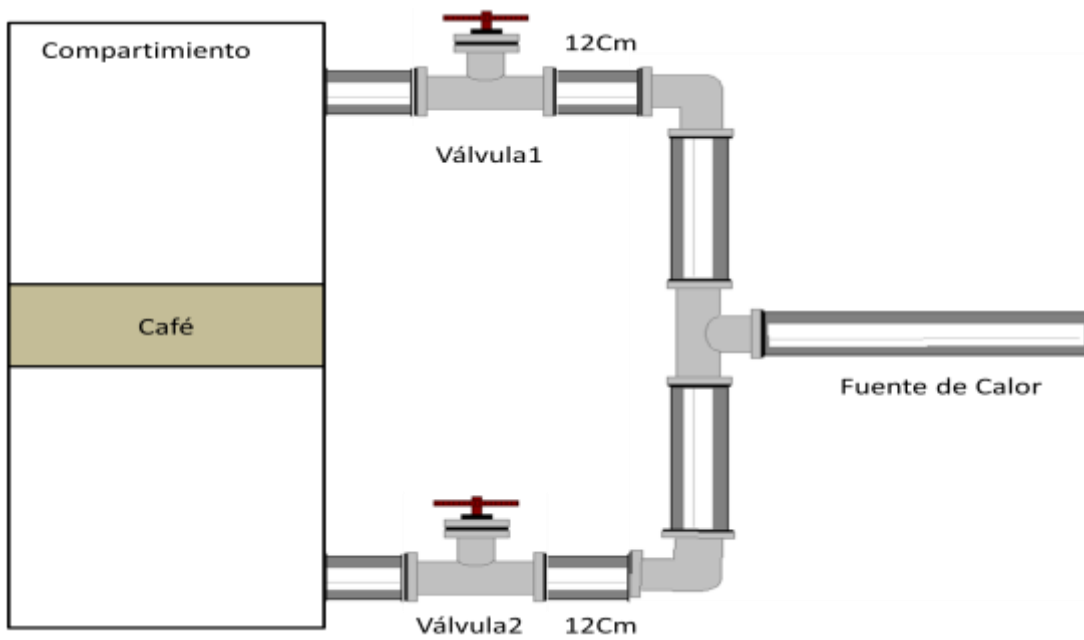


Figura 10. Ductos o túneles

Por último los ductos se conectan con el compartimiento por medio de las válvulas anteriormente descritas conectadas con un tubo de 12 Cm ver figura 11.



En la siguiente figura se puede observar el silo a escala implementado para la identificación del sistema.



Figura 11. Maqueta del silo tipo Cenicafe

A.2 DISPOSITIVOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS

Una vez se construyó la maqueta del silo tipo cenicafe, para hacer la respectiva identificación del sistema se tenían que utilizar elementos de medición para las variables de entrada y de salida de las cuales son:

Señales de entrada:

- Temperatura del aire a la entrada de la cámara (T_a)
- Voltaje que corresponde al Caudal de aire a la entrada de la cámara (V)

Señales de salida:

- Temperatura del grano (T_g)

- Contenido de humedad del grano (M)

Como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Esquema general para la identificación

Para la Temperatura del aire a la entrada de la cámara (T_a)

Para la medición de la temperatura del aire, se utilizó el sensor de temperatura +GF+SIGNET, ver figura 13 cuya lectura se muestra en un transmisor +GF+SIGNET el cual también se conectó a una tarjeta NI USB 6008 la cual permitió guardar en un archivo (.mat) de Matlab ver figura 14.



Figura 13. Sensor y Transmisor de temperatura +GF+SIGNET

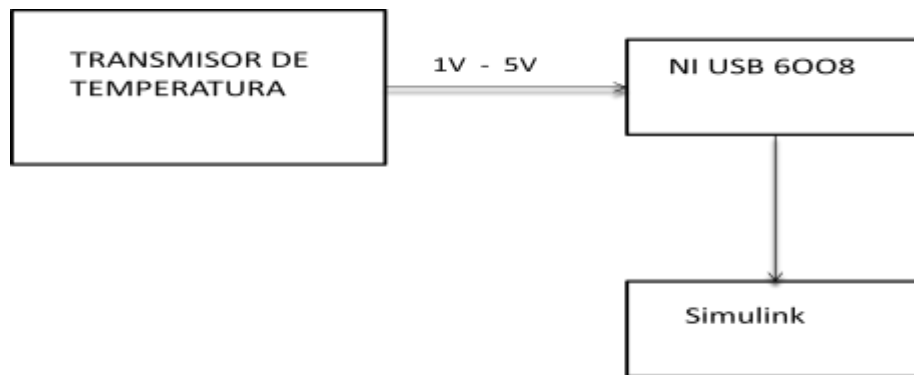


Figura 14. Esquema general para toma de datos de temperatura

Voltaje que corresponde al Caudal de aire a la entrada de la cámara (V)

Para la toma del flujo de aire se fabricó un anemómetro (motor DC que brinda un voltaje proporcional a la velocidad de el aire de entrada) ver figura 16 el cual brinda una señal de voltaje que es conforme al caudal de entrada, este varía entre 0mV y 200 mV, cuya señal es acondicionada para la comunicación con la tarjeta NI USB 6008 y posteriormente con el computador para guardar los datos en un .mat de MATLAB ver figura 15 la circuitería se encuentra en el anexo B.

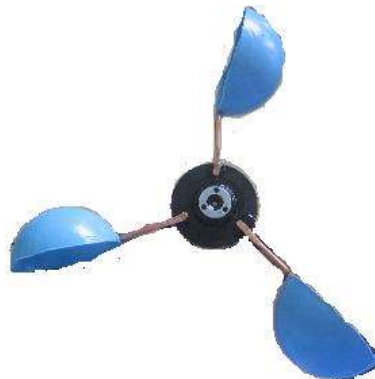


Figura 15. Anemómetro

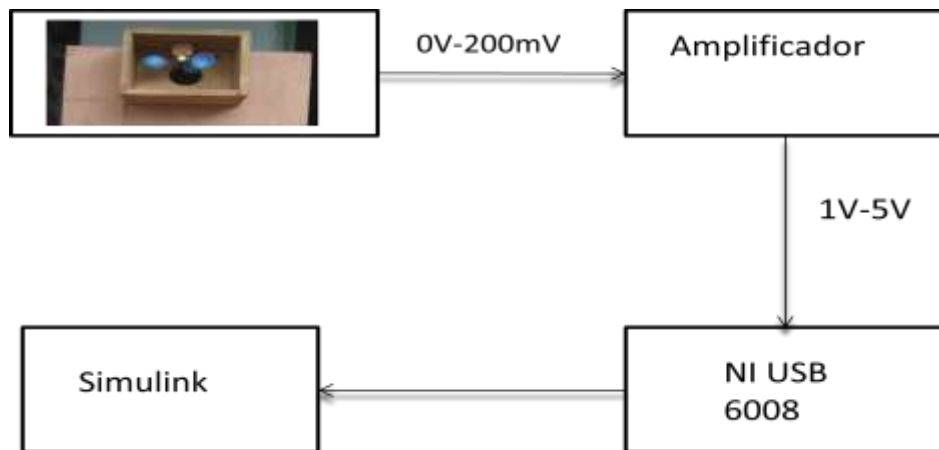


Figura 16. Esquema general para la toma de datos de voltaje

Como se nota en la Figura 17 se instalaron dos anemómetros ya que el aire puede fluir a través de uno u otro túnel dependiendo del tiempo de secado.



Figura 17. Instalación Anemómetros en el silo

Contenido de humedad del grano (M)

La humedad de la capa de café se hace de forma manual tomando una muestra de más o menos 10 gramos de café depositándolos en una bolsa plástica y registrando el tiempo, cuando el café se encuentra a temperatura ambiente se deposita la respectiva muestra en un higrómetro que opere en un rango de 0%bh a 100%bh y este arroja la medida de humedad en %b.h. que es el contenido de humedad del grano en base húmeda.

Temperatura del grano (Tg).

La temperatura del grano se toma de forma manual tomando una muestra depositándola en un termo al cual se le introduce la termocupla del dispositivo de medición en este caso un termómetro digital test que opera entre 0⁰ y 400⁰C ver figura 18.



Figura 18. Termómetro digital TES 1320