

ANEXO 2. SIMULADOR DEL ACTIVADOR

A2.1 ECUACIONES DEL MODELO

A continuación se presentan las ecuaciones obtenidas para modelar el activador, mediante diversos balances y formulaciones empíricas:

BALANCE DE COMPONENTE CARBONO

$$f_{mCH} \cdot (1 - x_{iCH}) - f_{mCO} \cdot (12/28) - f_{mAC} \cdot z_{iAC} = d \cdot m_C/dt \quad (1)$$

BALANCE DE FUERZA SOBRE EL TUBO DE SALIDA DEL CHAR

$$g \cdot h_{sra}/t_{tuboa} - (k_{frica} \cdot g_c / (a_{tuboa} \cdot \rho_{napa})) \cdot v_{ch}^2 = d \cdot v_{ch}/dt \quad (2)$$

ECUACIONES ASOCIADAS

$$\rho_{mixa} = \rho_{nac} \cdot (1 - z_{iAC}) + \rho_{nch} \cdot z_{iAC} \quad (3)$$

$$\rho_{napa} = (1 - \epsilon) \cdot \rho_{mixa} \quad (4)$$

$$\rho_{napch} = (1 - \epsilon) \cdot \rho_{nch} \quad (5)$$

$$f_{mAC} = v_{ac} \cdot \rho_{napa} \cdot a_{tuboa} \quad (6)$$

$$h_{sra} = (v_{lacta} - v_{utila})/a_{acti} \quad (7)$$

$$v_{lacta} = m_a/\rho_{napa} \quad (8)$$

$$z_{iAC} = m_C/m_a \quad (9)$$

$$f_{mCO} = (28/12) \cdot m_{CO} \cdot k_a \cdot (1 - z_{iAC}) \quad (10)$$

$$f_{mH_2} = (2/12) \cdot m_{CO} \cdot k_a \cdot (1 - z_{iAC}) \quad (11)$$

$$f_{mvho} = f_{mvhi} - (18/12) * mco * ka * (1 - zac) \quad (12)$$

BALANCE DE ENERGIA

$$\begin{aligned} & (1/cpac) * (qea + f_{mvhi} * c_{pvhi} * t_{vhi} - f_{mch} * c_{pch} * (t_a - t_p) - f_{mvho} * c_{pvho} * t_a - \\ & f_{mgfa} * c_{pgfa} * (t_a - t_{gfi}) - f_{mmva} * c_{pmva} * t_a - f_{mac} * c_{pac} * t_a - f_{mco} * c_{pco} * t_a \\ & - f_{mh2} * c_{ph2} * t_a - q_{pa} - q_{ra}) = d (m_a * t_a) / dt \end{aligned} \quad (13)$$

ECUACIONES ASOCIADAS

$$q_{ea} = q_{eao} + q_{e\Delta} * (1 - \exp(-\alpha_{fa} * t_{iempocalen})) \quad (14)$$

$$q_{pa} = q_{conva} + q_{rada} + q_{konda} \quad (15)$$

$$q_{conva} = h_{exta} * a_{extexa} * (t_{supa} - t_{ext}) \quad (16)$$

$$q_{rada} = u_{exta} * a_{extra} * (t_a^4 - t_{ext}^4) \quad (17)$$

$$q_{konda} = k_{konda} * a_{expka} * (t_a - t_{ext}) \quad (18)$$

$$q_{rv} = f_{mmva} * c_{ppira} * (t_a - t_{ext}) \quad (19)$$

$$q_{ra} = (q_{rv} + (31.4 * 10^4 * f_{mco} * 41833) / 28) * 0.55 \quad (20)$$

$$c_{ppira} = 3.44e-5 * (t_a - 273) + (0.33 + 5.49 * 10^{-4} * (t_a - 273)) * (x_{va} / (1 - x_{va})) \quad (21)$$

$$f_{mmv} = D_{mv,ac} * ((x_{ir=0} - x_{ir=r}) / r_{para}) * a_{supa} * n_{umpara} * d_{ench} \quad (22)$$

$$D_{mv,ac} = D_o * \exp(-E_d / (R * t_p)) \quad (23)$$

$$m_{oa} = v_{actual} * \rho_{apch} \quad (24)$$

$$c_{pvhi} = F_1 (t_a) \quad (25)$$

$$c_{pvho} = F_2 (t_a) \quad (26)$$

$$c_{pco} = F_3 (t_a) \quad (27)$$

$$c_{ph2} = F_4 (t_a) \quad (28)$$

$$ka = ((0.122 - 5.61 * 10^{-4} * t_a + 4.14 * 10^{-7} * t_a^2) / 60) * 0.072 \quad (29)$$

VALORES CONOCIDOS COMO DATOS DE ENTRADA

xich = Fracción de materia volatilizable en el Char, 0.26.
g = Constante de la aceleración estándar de la gravedad 9.8 m/s².
gc = Constante de proporcionalidad 1.0 kg·m/N·s².
ltubo = Longitud del tubo de descarga del Carbón activado, 0.42 m.
kfric = Constante de fricción entre el Carbón activado y el tubo de descarga
atubo = Área transversal del tubo de descarga del Carbón activado, 0.00114 m².
epsilona = Porosidad del lecho en estado de operación, 0.5.
dench = Densidad del carbón mineral, 760 kg/m³.
volutila = Volumen útil del Activador, 0.0272 m³.
aacti = Área transversal del Activador, 0.0254 m².
fmnga = Flujo másico de gases de fluidización, 0.00257 kg./s.
cpnga = Cp de gases de fluidización, 1196 J/kg^{°K}.
tgfa = Temperatura de entrada de los gases de fluidización, 523 °K.
fmch = Flujo másico de Char, 5.976 kg./hr.
cpch = Cp del Char, 1464 J/kg^{°K}.
cpmva = Cp del material volátil, 1610 J/kg^{°K}.
cpac = Cp del Carbón activado, 1440 J/kg^{°K}.
tvi = Temperatura del vapor de agua a la entrada, 770 °K.
qeao = Calor suministrado en el último estado estable wats.
qeadelta = Incremento de calor indicado por el controlador wats.
alfaa = Constante ecuación de calentamiento de resistencias eléctricas, 0.01.
xva = Fracción de volátiles, 0.064
xwa = Fracción de agua, 0.00011
xifa = Fracción de volátiles retirados en tiempo infinito, 0.067.
rpara = Radio de la partícula de carbón, 0.00045 m.
asupa = Área superficial de una partícula de carbón, 2.54*10⁻⁶ m².
numpara = Numero de partículas en el lecho.
ko = Factor de frecuencia de la ec. cinética para la Volatilización.
R = Constante universal de los gases, 8.31.
Do = Difusividad referencia de compuestos gaseoso en sólidos, 1*10⁻⁷ m²/s.
Ed = Energía de activación de la difusión, 86400 J/kg.

INCOGNITAS

fmac = Flujo másico de Carbón activado kg./s.
fmco = Flujo másico de CO en kg./s.
fmh2 = Flujo másico de Hidrogeno en kg./s.
fmvhi = Flujo másico de vapor de agua a la entrada kg./s.
fmvho = Flujo másico de vapor de agua a la salida kg./s.
cpco = Cp del CO en J/kg^{°K}.
cph2 = Cp del Hidrógeno en J/kg^{°K}.
cpvhi = Cp del vapor de agua en la entrada en J/kg^{°K}.
cpvho = Cp del vapor de agua en la salida en J/kg^{°K}.
ziac = Fracción inmediata de carbono en el lecho.
fmmva = Flujo másico de materia volátil kg./s.

ma = Masa actual de sólidos en el Activador kg.
hsra = Altura sobre el reboce de salida de Carbón activado m.
vac = Velocidad del Carbón activado en el tubo de salida m/s.
volact = Volumen actual que ocupa el sólido.
gea = Potencia eléctrica de calentamiento wats.
qpa = Potencia eléctrica total perdida al ambiente wats.
qconva= Potencia elect. perdida al ambiente por convección wats.
qrv = Potencia elect. necesaria para la volatilización remanente wats.
grada= Potencia elect. perdida al ambiente por radiación wats.
qkonda= Potencia elect. perdida al ambiente por conducción wats.
cppira= Cp Volatilización (calores reacción y sensibles) J/kg*°K.
moa= Masa que tendría el volumen actual si fuera Char kg.
Dmv,ac = Difusividad del material volátil en el Carbón activado m²/s.
k = Coeficiente cinético de la reacción de Volatilización.
zac = Fracción carbono con base en masa hipotética inicial mo.
denmixa = Densidad de la mezcla de sólidos kg./m³.
denapa = Densidad aparente de los sólidos contenidos en el lecho kg./m³.
denapch = Densidad aparente del Char en el lecho kg./m³.

VALORES PROPIOS DEL SIMULADOR

tiempocalen = Tiempo transcurrido desde última variación de potencia.
incremento = Incremento en el valor del tiempo en cada paso.

A1.2 COMPORTAMIENTO DEL SIMULADOR

Las Figuras A3 y A4 muestran el comportamiento del activador sin control, lazo abierto, cuando se inicia la simulación desde dos condiciones diferentes: valores de las variables inferiores a los correspondientes al estado estable considerado, Figura A3, y valores de las variables superiores a los correspondientes al estado estable considerado, Figura A4. El comportamiento de las diversas variables y estado estable que se alcanza, corresponde muy bien con los datos reportados por el grupo de investigación en carbón activado en su informe (Aguirre y col., 1991).

A1.3 CODIGO FUENTE DEL SIMULADOR

El código que se presenta a continuación, está escrito en C++ y se compiló en la versión 7.0 de Microsoft para este lenguaje. Los archivos de inclusión particulares, se presentan en el Anexo 5 de este trabajo, mientras que el archivo de inclusión que define el objeto activador se muestra a continuación del código del simulador.

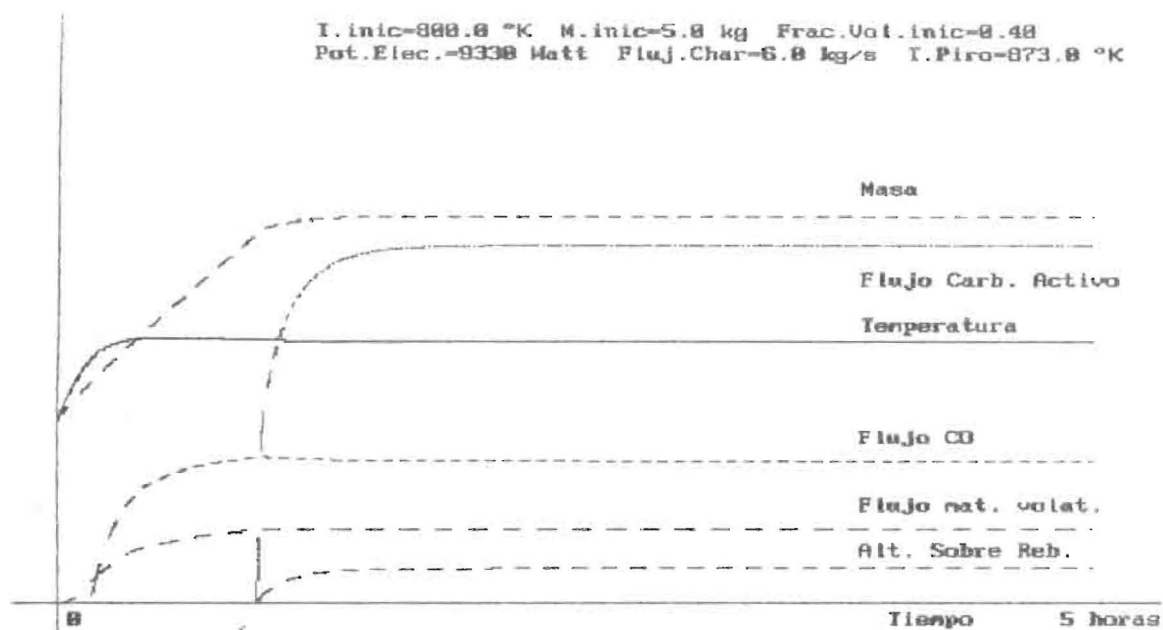


FIGURA A3 . Activador en lazo abierto (Valores iniciales inferiores al estado estable).

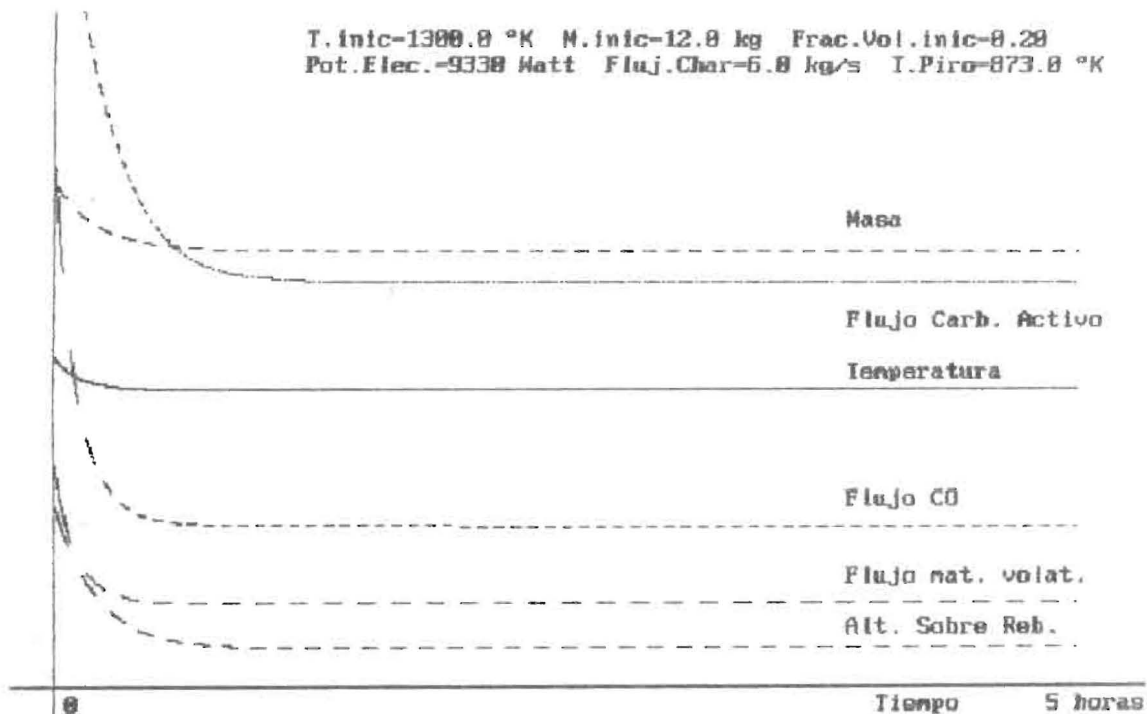


FIGURA A4 . Activador en lazo abierto (valores iniciales superiores al estado estable).

A1.3.1 Código Fuente del Simulador para el Activador.

```
//SIMULADOR DEL ACTIVADOR
#include<graph.h>
#include<conio.h>
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<math.h>
#include<float.h>
#include<iostream.h>
#include<ejesgraf.h> //Archivo particular
#include<simactl.h>

void main()
{
    int locx, locy, tiempo, incremento=1, tmuestreo=1;
    int sw1=0, sw2=0, sw3=0, sw4=0, sw5=0, sw6=0, sw7=0, sw8=0, sw9=0, sw10=0;
    float tempactl, ma, fmac, fmco, hsra, fmmva;
    float *semillas;

    semillas=new float[6];

    cout<<"\n\nEscriba la temperatura del ACTIVADOR en K = ";
    cin>>semillas[0];

    cout<<"\n\nEscriba la masa actual en el ACTIVADOR en kg = ";
    cin>>semillas[1];

    cout<<"\n\nEscriba la fraccion actual de volatiles del char = ";
    cin>>semillas[2];

    cout<<"\n\nEscriba la potencia electrica de estado estable en J/s = ";
    cin>>semillas[3];

    cout<<"\n\nEscriba el flujo masico de char en kg/s = ";
    cin>>semillas[4];

    cout<<"\n\nEscriba la temperatura del pirolizador en K = ";
    cin>>semillas[5];

    activador activadoruno(semillas);

    graphics_mode();
    draw_lines();

    for(tiempo=0;tiempo<18000;tiempo+=incremento)
    {
        tempactl=activadoruno.predice_ta(tmuestreo, 0);
        ma=activadoruno.muestrama();
        fmac=activadoruno.muestrafmac();
        fmco=activadoruno.muestrafmco();
        hsra=activadoruno.muestrahsra();
        fmmva=activadoruno.muestrafmmva();

        sw1++;
        sw3++;
        sw5++;
    }
}
```

```

sw7++;
sw9++;

locx=newx(0.05*tiempo);
locy=newy(-tempact/3);
_setpixel(locx,locy);
if(sw1<50)
{
locx=newx(0.05*tiempo);
locy=newy(-fmac*4e5);
_setpixel(locx,locy);
}
else
{
sw2++;
if(sw2>49)
{
sw1=0;
sw2=0;
}
}
if(sw3<150)
{
locx=newx(0.05*tiempo);
locy=newy(-fmco*4e5);
_setpixel(locx,locy);
}
else
{
sw4++;
if(sw4>149)
{
sw3=0;
sw4=0;
}
}
if(sw5<200)
{
locx=newx(0.05*tiempo);
locy=newy(-ma*55);
_setpixel(locx,locy);
}
else
{
sw6++;
if(sw6>199)
{
sw5=0;
sw6=0;
}
}
if(sw7<250)
{
locx=newx(0.05*tiempo);
locy=newy(-hsra*1100);
_setpixel(locx,locy);
}
else

```

```

{
sw8++;
if(sw8>249)
{
sw7=0;
sw8=0;
}
}
if(sw9<300)
{
locx=newx(0.05*tiempo);
locy=newy(-fmmva*1e6);
_setpixel(locx,locy);
}
else
{
sw10++;
if(sw10>299)
{
sw9=0;
sw10=0;
}
}
}

_settextposition(2,22);
printf("COMPORTAMIENTO DE VARIABLES EN EL ACTIVADOR");
_settextposition(4,22);
printf("T.Inic=%2.1f eK M.Inic=%2.1f kg Frac.Vol.Inic=%2.2f", semillas[0], semillas[1], semillas[2]);
_settextposition(5,22);
printf("Pot.Elec.=%1.0f Watt Flujo.Char=%2.1f kg/s T.Piro=%2.1f eK", semillas[3], semillas[4], semillas[5]);
_settextposition(30,5);
printf("0");
_settextposition(30,62);
printf("Tiempo 5 horas");

cout<<"\n\n\n\nCONDICIONES FINALES EN EL ACTIVADOR";
cout<<"\n\nLa Temperatura es = "<<tempact<<" eK";
cout<<"\n\nLa Mase es = "<<ma<<" kg";
cout<<"\n\nEl Flujo de CO es= "<<fmco<<" kg/s";
cout<<"\n\nEl Flujo de Carbon Activado es= "<<fmac<<" kg/s";
cout<<"\n\nLa Altura Sobre el Rebosadero de salida es= "<<hsra<<" metros";
cout<<"\n\nEl Flujo de Material Volatil es= "<<fmmva<<" kg/s";

end_program();

delete [] semillas; }

```

A.1.3.2 Código Fuente de Inclusión del Objeto Activador (simacti.h).

```

//OBJETO ACTIVADOR
#include<stdlib.h>
#include<math.h>
#include<float.h>

class activador
{

```

```

public:
    activador(float *semilla_acti);
    float predice_ta(int deltat tiempo, float deltacalor);
    void cambiofmch(float nuevoflujo);
    void cambiotp(float nuevatp);
    float muestraqea(){return(qea);};
    float muestrama(){return(ma);};
    float muestrafmac(){return(fmac);};
    float muestrafmco(){return(fmco);};
    float muestrahsra(){return(hsra);};
    float muestrafmmva(){return(fmmva);};
    ~activador();

private:
    float fmvhi, alfaa, g, gc, ltubo, kftrica;
    float atuboa, volutila, aacti, xinfa;
    float xiroa, xirra, rpara, asupa, dmvcho;
    float edifa, runiv, cpch, tvhi, cpgfa;
    float fmgfa, cpmva, cpac, epsilon, aextexca;
    float aextra, aexpka, xva, xwa;
    float dench, denac, kconda, hexta, uexta;
    float text, tsupa, tgfa, volpara, zich;
    float fmac, mco, mc, qea, hsra, cppira, qrv, ta, ma, xich, denapch;
    float mmva, mata, ziac, denmixa, denapa, volacta, ka, zac, mmvadelta;
    float fmco, fmh2, dmvch, numpara, fmmva, qpa, qkonda, qconva, qrada, qra;
    float cpco, cph2, matadelta, vacdelta, madelta, mcdelta, fmvho, mao;
    float cpvhi, cpvho, vac, tp, fmch, qeao;
};

```

```

activador::activador(float *semilla_acti)

```

```

{
    fmvhi=5.9e-4;
    alfaa=0.01;
    g=9.8;
    gc=1;
    ltubo=0.42;
    kftrica=29.1;
    atuboa=0.00114;
    volutila=0.0272;
    aacti=0.0254;
    xinfa=0.067;
    xiroa=0.041;
    xirra=0;
    rpara=0.45e-3;
    asupa=2.54e-6;
    dmvcho=1e-7;
    edifa=8.46e4;
    runiv=8.31;
    cpch=1464;
    tvhi=770;
    cpgfa=1196;
    fmgfa=2.57e-3;
    cpmva=1610;
    cpac=1440;
    epsilon=0.5;
    aextexca=2.4;
    aextra=0.35;
    aexpka=0.77;
}

```