MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

CURSO: SIMULACIÓN DE SISTEMAS AMBIENTALES

PROFESOR: M.I. Jorge Antonio Polanía P.

CONTENIDO

MÓDULO 4:
APLICACIONES EN ING AMBIENTAL

1. BIODIGESTOR
2. BIOREACTOR
3. CONTAMINACIÓN DE UN RÍO
4. CASO1: CONTAMINACIÓN DE UN LAGO
5. CASO2: CONTAMINACIÓN DE UN LAGO
6. NIVEL DE RUIDO AUTOMOTOR
7. PANEL FOTOVOLTAICO (PV)
8. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

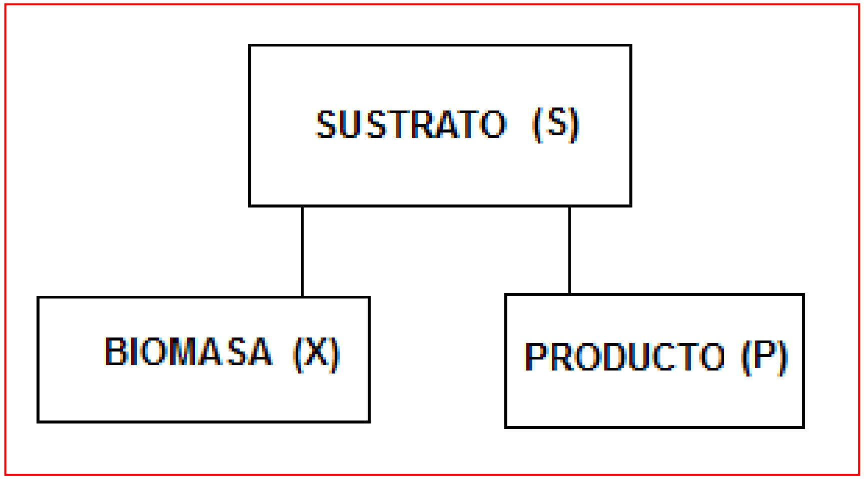
1. EL BIOREACTOR

El uso de células vivas para la producción de productos químicos crece anualmente con ritmos asombrosos. Tanto microorganismos (bacterias, hongos, algas) como células humanas, vegetales o animales se utilizan para la producción varios productos químicos, como por ejemplo insulina, antibióticos, biosurfactantes. Son responsables también de la producción de alcohol vía fermentación, producción de quesos, vinos, champagne, etc. También los procesos biológicos son muy usados en el tratamiento de residuos y efluentes.

Cuando una pequeña cantidad de células vivas es adicionada en una solución líquida que contiene los nutrientes esenciales, y que se encuentra a una temperatura y un PH adecuado, las células crecerán.

El agua es el componente principal de las células, por lo tanto un suministro de agua adecuado es indispensable para lograr el mantenimiento y crecimiento microbiano y es medio de transporte de los sustratos (o contaminantes) hacia el interior de las células, y también el transporte de los compuestos que se producen dentro de la célula y que son devueltos al medio de cultivo.

La figura muestra la utilización de los sustratos para la obtención de los productos de la reacción biológica.



$$\alpha S \rightarrow \gamma X + \beta P$$

Monod en 1942 desarrolló una ecuación muy simple para representar los procesos biológicos que funciona en general muy bien.

$$\mu = \mu_{max} \frac{s}{s + K_s}$$

Donde,
μmax=velocidad específica de crecimiento máxima, h-1
Ks=constante de saturación, g/l
S=concentración de sustrato limitante, g/l

Ecuaciones dinámicas.

$$dX/dt = \mu X$$
$$dP/dt = Y_{PX}\mu X$$
$$dS/dt = -\mu X/Yx\mathrm{s}$$

Ejemplo:

Condiciones iniciales: X(0)=0.05 g/l, P(0)=0 g/l, S(0)=14.5 g/l

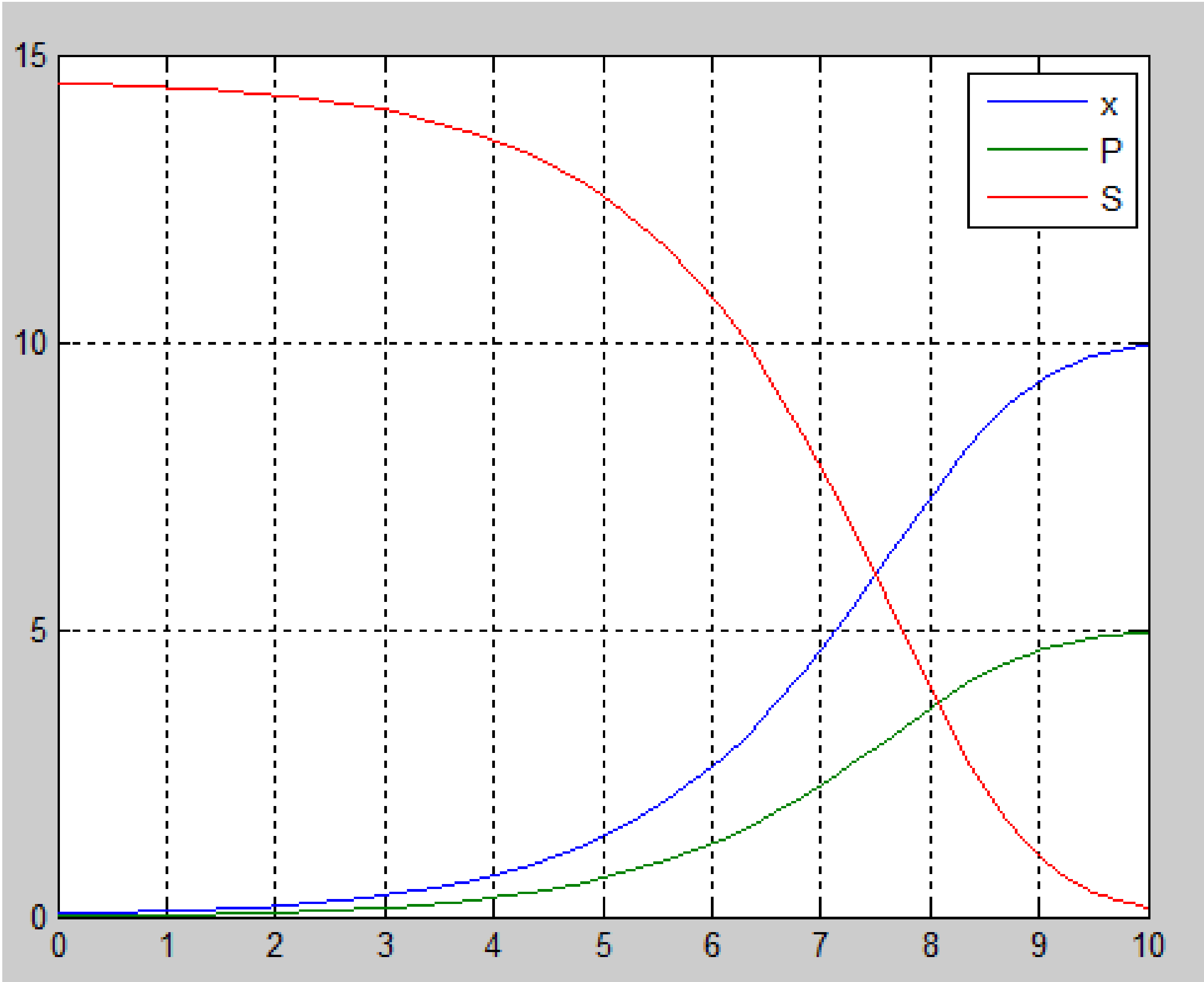
μmax=1 /h, Ks=7, Ypx=0.5, Yxs=0.45

MATLAB (biodig.m)

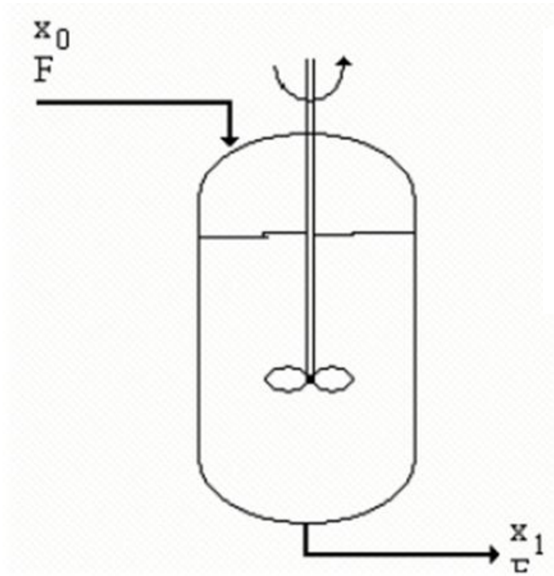
```
function dx = biodig(t,x)
global mumax Ks Ypx Yxs
dx=zeros(3,1);
mu=mumax*x(3)/(Ks+x(3));
%mu=mumax*S/(Ks+S);
dx(1)=mu*x(1);
%dx=mu*x;
dx(2)=Ypx*mu*x(1);
%dP=Ypx*mu*x;
%dx(3)=(1/Yxs)*mu*x(1)-mu*x(1);
dx(3)=-mu*x(1)/Yxs;
%dS=(1/Yxs)*mu*x-mu*x;
end
```

MATLAB (Reactor2.m)

```
%Resolución de un bioreactor
%X: Biomasa
%S: sustrato
%P: producto
clear; clc; clf;
global mumax Ks Ypx Yxs
mumax=1; %velocidad máxima de crecimiento celular
Ks=7;    %velocidad específica de consumo de sustrato
%coeficiente de rendimiento de producto basado en el
%crecimiento celular
Ypx=0.5;
%coeficiente de rendimiento de biomasa basado en el
%consumo total de sustrato
Yxs=0.45;
yo=[0.05 0 14.5];    %condiciones iniciales xo,Po,So
intervalo=[0 10];    %intervalo de tiempo
[T,X]=ode45(@biodig,intervalo,yo);
plot(T,X)
legend('x','P','S')
```


x
P
S
15
10
5
0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

2. BIOREACTOR



Bioreactor continuo de mezclado perfecto.

$$\left\{\begin{array}{l} \text{Variación de la} \\ \text{masa dentro} \\ \text{del Sistema} \\ \dfrac{dm}{dt} \end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{l} \text{Flujo de} \\ \text{masa} \\ \text{que entra} \\ \text{al Sistema} \\ x_0\ F \end{array}\right\} - \left\{\begin{array}{l} \text{Flujo de} \\ \text{masa} \\ \text{que sale} \\ \text{del Sistema} \\ x_1\ F \end{array}\right\} + \left\{\begin{array}{l} \text{aparece} \\ \text{dentro del} \\ \text{Sistema por} \\ \text{crecimiento} \\ \left(\dfrac{dm}{dt}\right)_G \end{array}\right\} - \left\{\begin{array}{l} \text{desaparece} \\ \text{dentro del} \\ \text{Sistema} \\ \text{por muerte} \\ \left(\dfrac{dm}{dt}\right)_D \end{array}\right\}$$

Modelamiento:

$$x_0 F - x_1 F + \left(\frac{dm}{dt}\right)_G - \left(\frac{dm}{dt}\right)_D$$

Donde,

F: Flujo volumétrico del alimentado y del fluido de salida en lt/hr.
xo: Concentración másica de (m.o.) del alimentado en gr/lt.
x1: Concentración másica de (m.o.) en el fluido de salida en gr/lt.
m: Masa de (m.o.) dentro del tanque en gr.

Ahora la masa del (m.o.) dentro del tanque es:

m=x1*V,   donde V es el volumen efectivo dentro del tanque

Ecuación dinámica:

$$\boxed{\frac{dx_1}{dt} = x_0 D + (\mu_G - \mu_D - D)x_1}$$

D= F/V es velocidad de dilución en lt/hr
μG= Velocidad específica de crecimiento en lt/hr.
μD= Velocidad específica de muerte [L/h].
Si μG>>μD, entonces se simplifica a:

$$\frac{dx_1}{dt} = x_0 D + (\mu_G - D)x_1$$

En régimen estacionario,

$$0 = x_0 D + (\mu_G - D)x_1 \qquad x_1 = \frac{D}{D - \mu_G} x_0$$

Aplicando Transformada de Laplace:

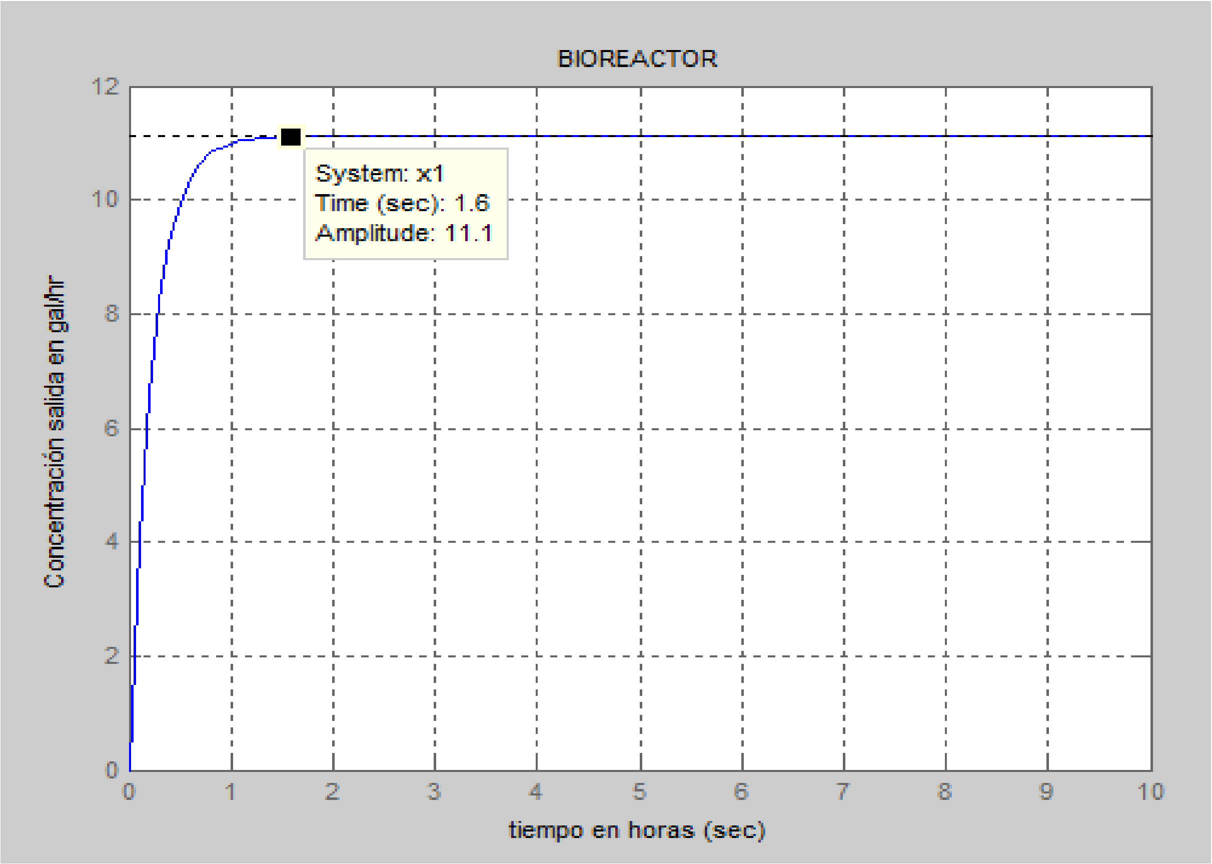
Transformada de Laplace:

$$X_1(s) = \frac{D}{s+(D-\mu_G)} X_0(s)$$

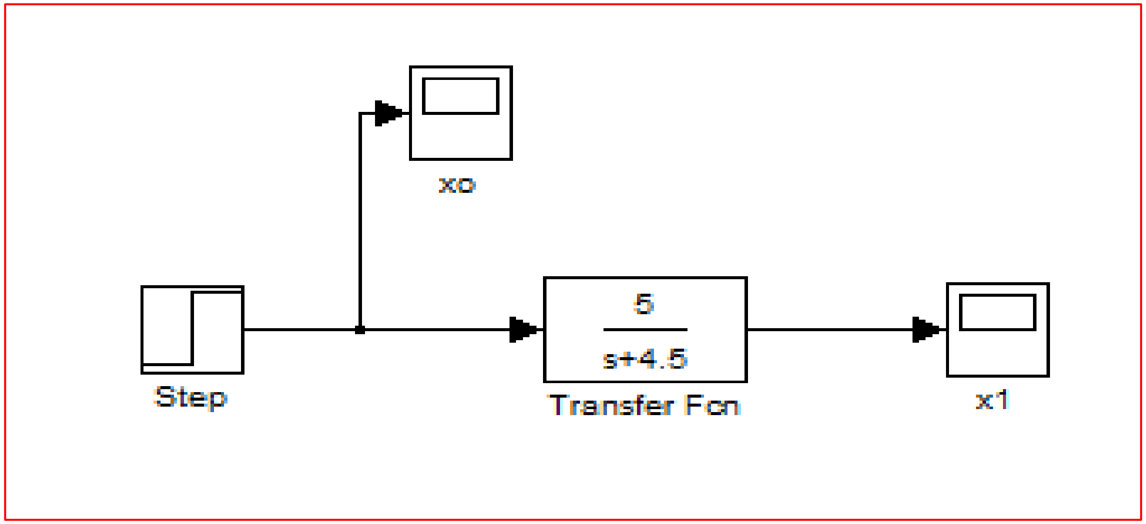
Matlab

```
% SISTEMA DINÁMICO DE UN BIODIGESTOR
xo=10;       % concentración másica de entrada en gal/lt
D=5;       % velocidad de dilución cuya unidad es lt/hr
muG=0.5;     % Velocidad específica de crecimiento en lt/hr
%x1=D/(s+(D-uG))*xo
num=D*xo;
den=[1 D-muG];
%concentración másica de entrada en gal/lt
x1=tf(num,den);
t=0:0.1:10;
step(t,x1)
title('BIOREACTOR');
xlabel('tiempo en horas');
ylabel('Concentración salida en gal/hr')
grid
```

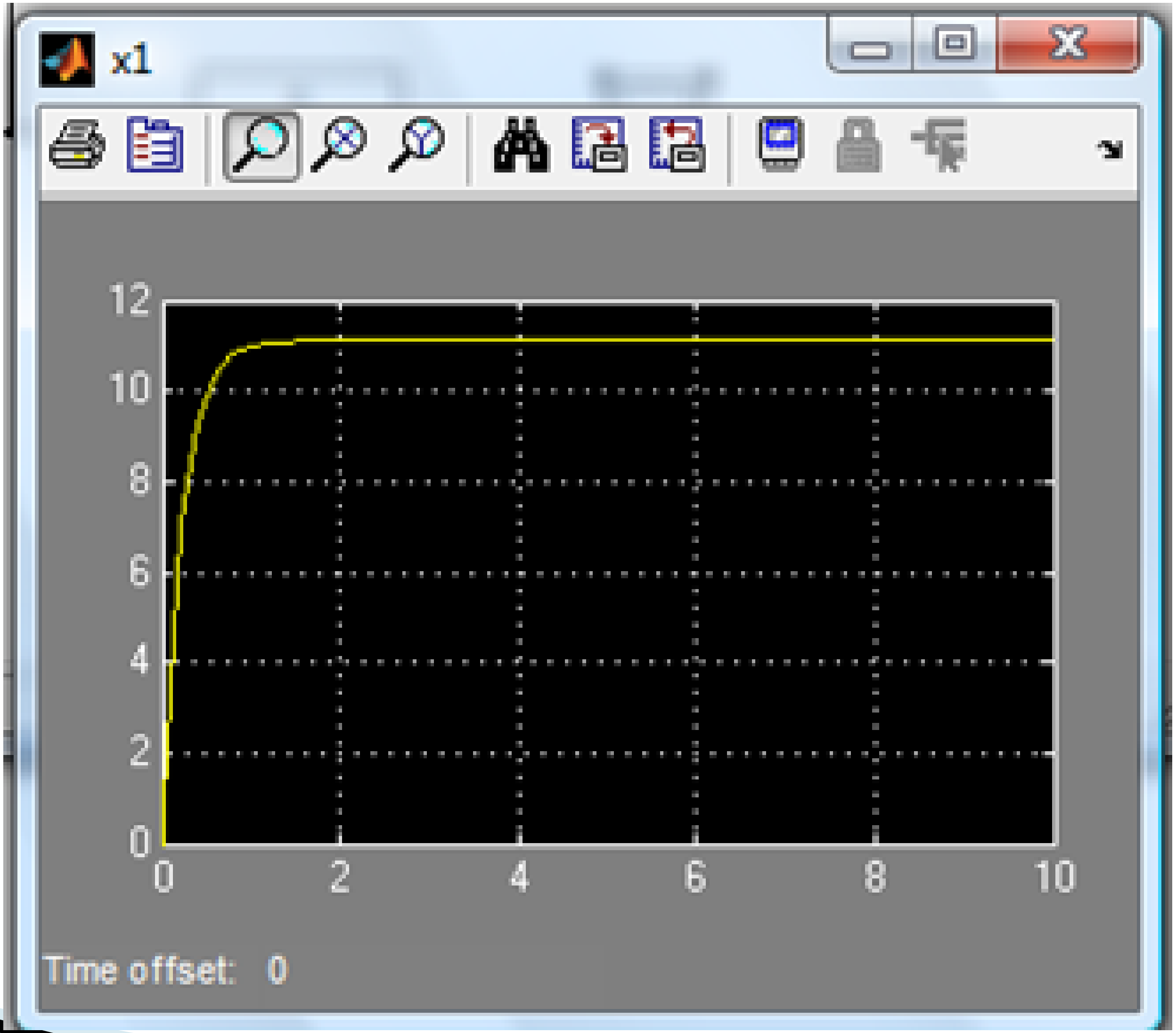
Simulación


BIOREACTOR
System: x1
Time (sec): 1.6
Amplitude: 11.1
Concentración salida en gal/hr
tiempo en horas (sec)
0
2
4
6
8
10
12
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Simulink:



Para un bioreactor de fermentación continua µG = 0,5 h^{-1} y D = 5 h^{-1}, si xo= 10 gr/lt, determinar, la respuesta dinámica (variación de la concentración de los m.o.).


x1
12
10
8
6
4
2
0
0
2
4
6
8
10
Time offset: 0

3. CONTAMINACIÓN DE UN RÍO

Un río ha sido contaminado aguas arriba. La concentración (cantidad de contaminante / volumen) decaerá y se dispersará corriente abajo. El problema es predecir la concentración del contaminante en cualquier punto teniendo en cuenta el tiempo y el espacio.

El modelo más simple para un contaminante químico se basa en descomposición química. Si d es la velocidad de descomposición química:

MODELO DINÁMICO

El modelo en función del tiempo es,

$u^{k+1} = u^k - \Delta t\, d\, u^k$, $\Delta t = T/Kmax$,

y para la estabilidad se requiere $1 - \Delta t\, d > 0$.

El modelo debe tener en cuenta además la posición del contaminante porque está en una corriente. Se asume entonces que la concentración dependerá tanto del espacio como del tiempo.

Discretizando tanto el espacio y el tiempo e igualando la concentración a:

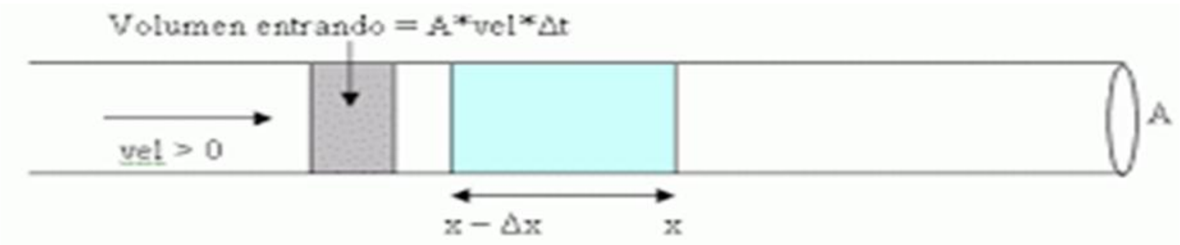
$u(i\Delta x, k\Delta t)$

donde $\Delta t = T/kmax$, $\Delta x=L/n$, L es la longitud de la corriente, n es el número de puntos

El modelo tendrá la forma general:

cambio en cantidad ≈ (cantidad entrando río arriba) - (cantidad saliendo rió abajo) - (cantidad descomponiéndose en un intervalo de tiempo).

Esto es bosquejado en la figura debajo dónde el paso de tiempo no ha sido indicado



Haciendo A como el área de sección transversal de la corriente. La cantidad entrando en el lado izquierdo del volumen A Δx es,

$A \Delta t \text{ vel } u_{i-1}^{k}$

La cantidad saliendo en el lado derecho del volumen A Δx es,

$- A \Delta t \text{ vel } u_{i}^{k}$

Luego, el cambio en la cantidad a partir de la velocidad de la corriente es,

$A \Delta t \text{ vel } u_{i-1}^{k} - A \Delta t \text{ vel } u_{i}^{k}$

La cantidad de contaminante en el volumen AΔx en el tiempo kΔt es
$A \Delta x\, u_{i}^{k}$

La cantidad de contaminante que se está descomponiendo, es

$A\,\Delta x\,\Delta t\ \text{dec}\ u_i^{k,}$ (dec es la velocidad de descomposición)

El cambio durante el intervalo de tiempo en la cantidad de contaminante en el pequeño volumen $A\,\Delta x$ es:

$$A\,\Delta x\ u_i^{k+1} - A\,\Delta x\ u_i^{k} = A\,\Delta t\ \text{vel}\ u_{i-1}^{k} - A\,\Delta t\ \text{vel}\ u_i^{k} - A\,\Delta x\,\Delta t\ \text{dec}\ u_i^{k}$$

Ahora, dividiendo por $A\,\Delta x$ y resolviendo explícitamente para u_i^{k+1}

$$\mathbf{u_i^{k+1} = \text{vel}\ (\Delta t/\Delta x)u_{i-1}^{k} + (1- \text{vel}\ (\Delta t/\Delta x) - \Delta t\ \text{dec})\ u_i^{k}} \qquad (1)$$

donde:
$i = 1, \ldots, n-1$
$k = 0, \ldots, kmax -1$

u_i^0 = dado para i = 1, …, n-1 (2)

u_i^k = dado para k= 1, …, kmax (3)

La ecuación (2) es la concentración inicial, y (3) es la concentración lejos río arriba.

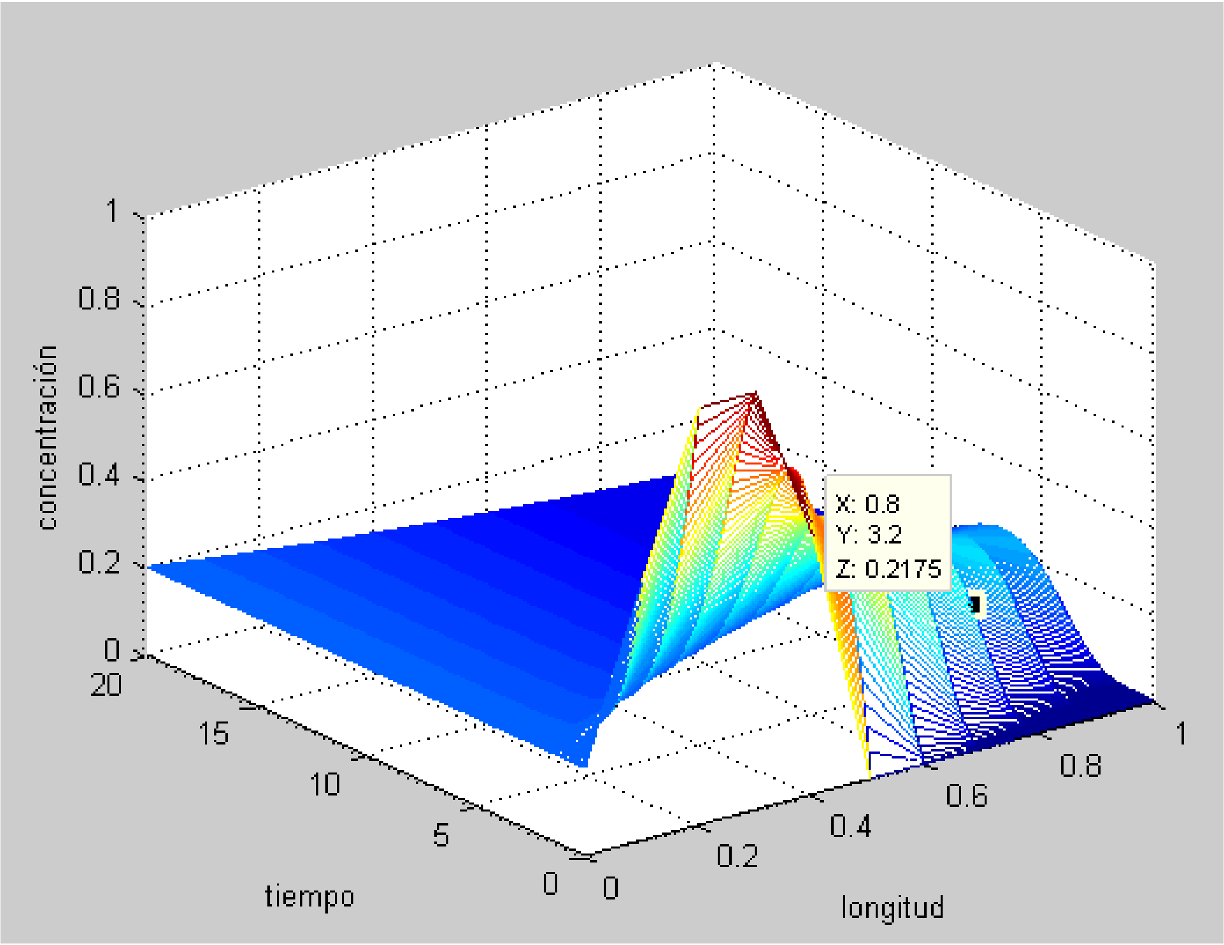
Para calcular todos los u_i^{k+1},lo cual de ahora en adelante se denotara por u(i,k+1), se debe usar un lazo anidado donde el lazo i (espacio) está adentro y el lazo k (tiempo) es el lazo exterior. En este modelo de flujo u(i,k+1) depende directamente de dos valores previamente calculados u(i-1,k) y u(i,k).

PROGRAMA EN MATLAB

```
%CONTAMINACIÓN DE UN RÍO
% Flujo en una corriente
clear;
% Longitud de la corriente
L = 1.0;
% Duración de Tiempo
T = 20;
K = 200;
dt = T/K;
n = 10;
dx = L/n;
vel = 0.1;     %velocidad del rio
decay = 0.1;   %velocidad de descomposic
```

```
% Concentración Inicial
for i = 1:n+1
x(i) =(i-1)*dx;
u(i,1) =(i<=(n/2+1))*sin(pi*x(i)*2)+(i>(n/2+1))*0;
end
% Concentración Río arriba
for k=1:K+1
time(k) = (k-1)*dt;
u(1,k) = -sin(pi*vel*0)+.2;
end
```

```
% Lazo de Tiempo
for k=1:K
% Lazo de Espacio
for i=2:n+1;
u(i,k+1) =(1 - vel*dt/dx -decay*dt)*u(i,k) + vel*dt/dx*u(i-1,k);
end
end
mesh(x,time,u')
xlabel('longitud')
ylabel('tiempo')
zlabel('concentración')
```



concentración
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
20
15
10
5
0
tiempo
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
longitud
X: 0.8
Y: 3.2
Z: 0.2175

4. CONTAMINACIÓN DE UN LAGO

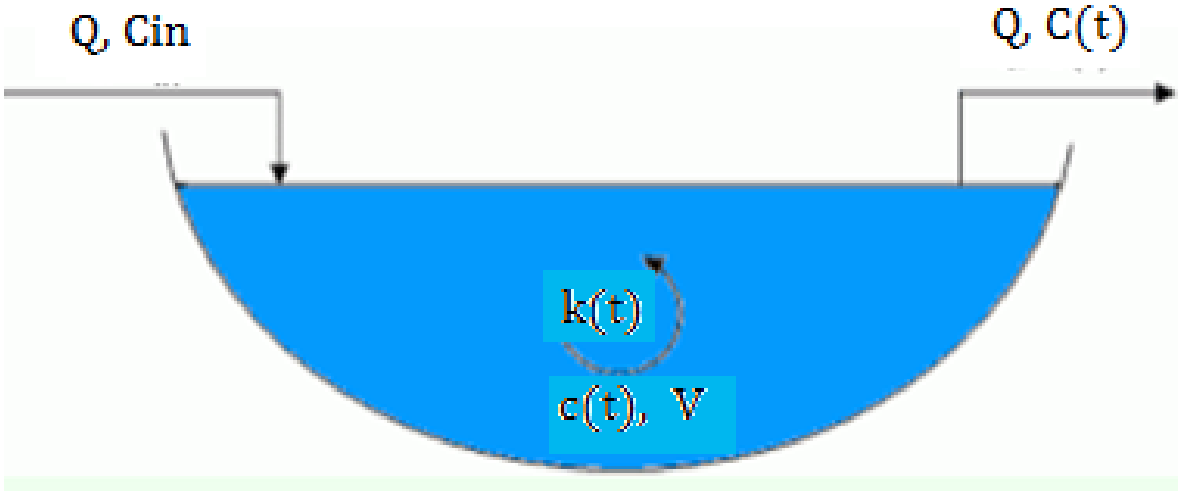
Este ejemplo es acerca del uso de ecuaciones diferenciales para modelar contaminación en un lago debido al vertido de contaminantes.

Modelar contaminación de un lago puede ser complicado, porque hay muchos factores diferentes que pueden ser tomados en consideración. Usaremos un modelo simplificado, y consideraremos sólo a unos cuantos factores básicos, que describimos a continuación.

CASO 1: VERTIDO INSTANTÁNEO DE CONTAMINANTES

CASO2: VERTIDO CONTINUO DE CONTAMINANTES

MODELAMIENTO DEL SISTEMA



Parámetros:

Q: Flujo volumétrico a través del lago

V: Volumen del lago

k (t) : Coeficiente de velocidad de reacción del contaminante

C (t) : Concentración del contaminante tanto dentro como en la salida del lago

C_{in}(t) : Concentración del contaminante entrando al lago

ECUACIÓN DINÁMICA

Aplicando el balance de masa de un contaminante al estado no estacionario, se tiene:

Acumulación = Entrada – Salida – Desaparición por reacción

$$V\frac{dC(t)}{dt} = Q \cdot C_{in}(t) - Q \cdot C(t) - k(t) \cdot C(t) \cdot V$$

El volumen V de agua en el lago - se asume - a ser constante. El contaminante es llevado al lago por un flujo entrante de agua a una tasa Q (volumen por unidad de tiempo) y con una concentración C_{in} (masa por unidad de volumen). Hay un flujo de salida correspondiente a una tasa Q desde el lago, y esta salida tiene la misma concentración C de contaminante que en el lago. C y C_{in} dependerán del tiempo.

CASO 1: VERTIDO INSTANTÁNEO DE CONTAMINANTES

Un pescador participaba de su actividad favorita (la pesca, por supuesto!) en su lugar favorito el lago local, donde la única corriente de salida va a un río.

Desafortunadamente, se quedó sin combustible y cuando llevaba el combustible de repuesto para su motor fuera de borda, tropezó y dejó caer el tanque por la borda. Como consecuencia, 10 galones de gasolina casi instantáneamente fueron distribuidos en el lago que contiene 898,800 galones y del cual salen 89,880 galones /día de agua pura hacia un río.

Cuando el pescador contactó las autoridades apropiadas, y cuando las autoridades desconectan el flujo de salida del lago, han pasado cuatro días. Por lo que las autoridades están preocupadas por la cantidad de gasolina que ha salido del lago y cortaron el flujo de salida del lago mientras se toman las acciones respectivas. Si se escaparon 1 000 000 mg o más de gasolina, entonces la concentración en la corriente saliente será demasiado alta para los estándares aceptables y medidas muy costosas tendrán que ser tomadas para limpiar la corriente. Si escapó menos de eso, entonces sólo tienen que preocuparse por limpiar el lago.

¿Cuánto de gasolina todavía se queda en el lago, y hará que la corriente saliente tenga que ser remediada?

1.1 CÁLCULO DE PARÁMETROS INICIALES

La entrada (derramamiento de la gasolina) se modela como un impulso. Se considera k=0, se supone que la gasolina no reacciona con el agua, sedimento o microorganismos en él.

K=0 (velocidad de reacción)

t_f = 4 días (tiempo final)

Q=caudal. Salida de 89,880 galones /día.

$$89880\,\frac{gal}{dia} * \frac{1pie^3}{7.49\ gal} = 12000\,\frac{pie^3}{día} = 12mil\,\frac{pie^3}{día}$$

Q=12

V= Volumen del lago. Si el lago tiene 898 000 galones, el volumen en miles de pies3 será:

$$898000\,galones \times \frac{1pie^3}{7.49\,galones} = 120000\,pies^3$$

V= 120 mil pies^3 = 120

Concentración inicial. Finalmente necesitamos conocer la concentración inicial de gasolina en el lago.

Si suponemos que la mezcla fue instantánea y completa, podemos encontrar la concentración inicial dividiendo la cantidad de gasolina derramada por el volumen del lago.

Sin embargo, queremos *saber cuánto de masa* ha escapado, no la concentración que permanece. El modelo calcula la concentración final dada la concentración inicial. Si queremos saber cuánto de masa ha escapado, necesitaremos multiplicar la concentración final por el volumen total del lago en razón a calcular cuanto de masa de contaminante permanece.

Datos:

Densidad de la gasolina: 800,000 mg/litro

Litros en un galón: 3.79 litros/galón

Volumen de agua en el lago: 898,800 galones

Volumen de gasolina derramada: 10 galones

Usando esta información, calculamos la concentración inicial de gasolina en el lago en mg/litro, de la manera siguiente:

(800 000 mg/litro)x(3.79 litrs/galón) = 30 320 000 mg de gasolina derramada.

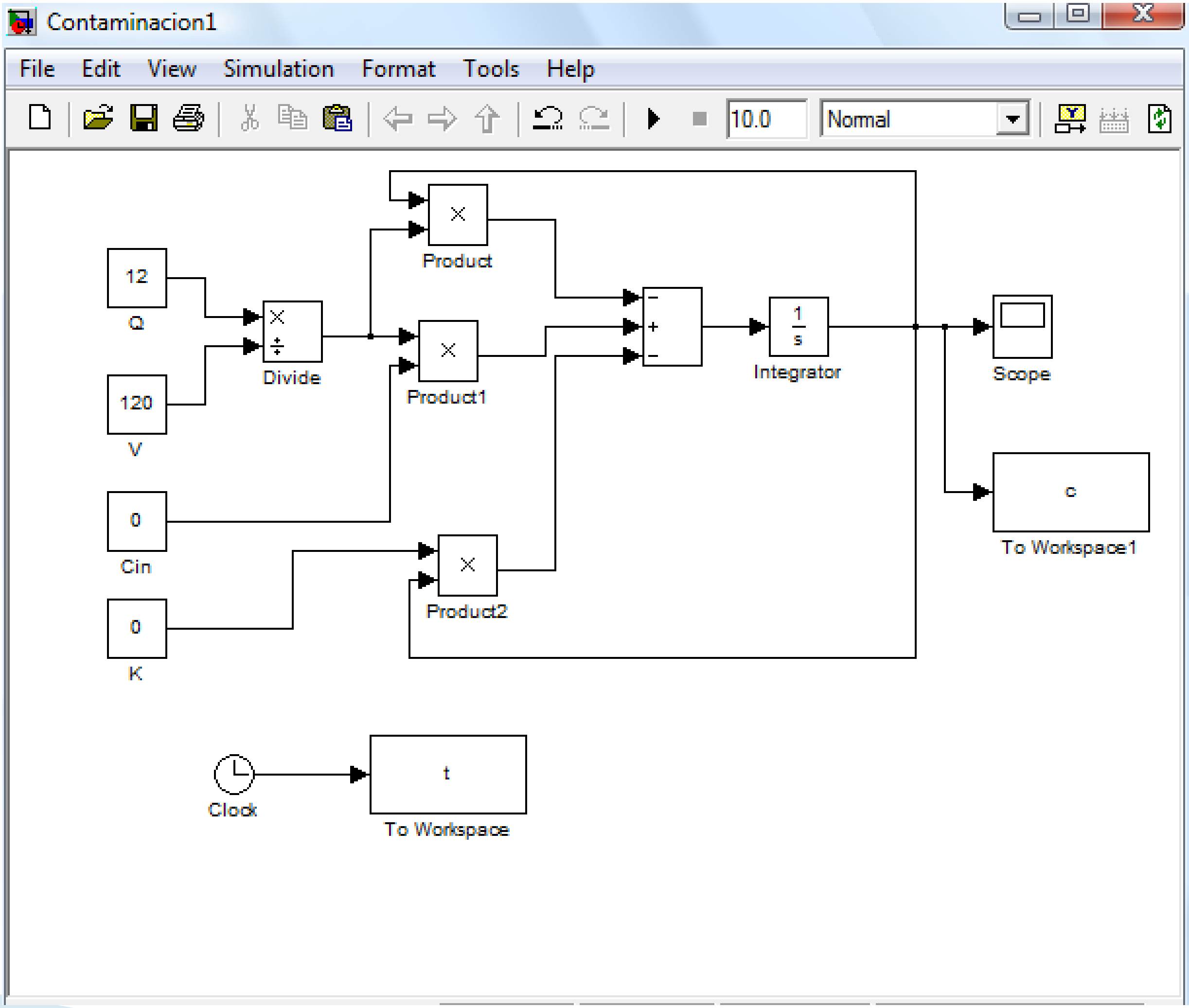
(898 800 galones de agua)x(3.79 litros/galón) = 3 406 572 litros de agua

Luego:

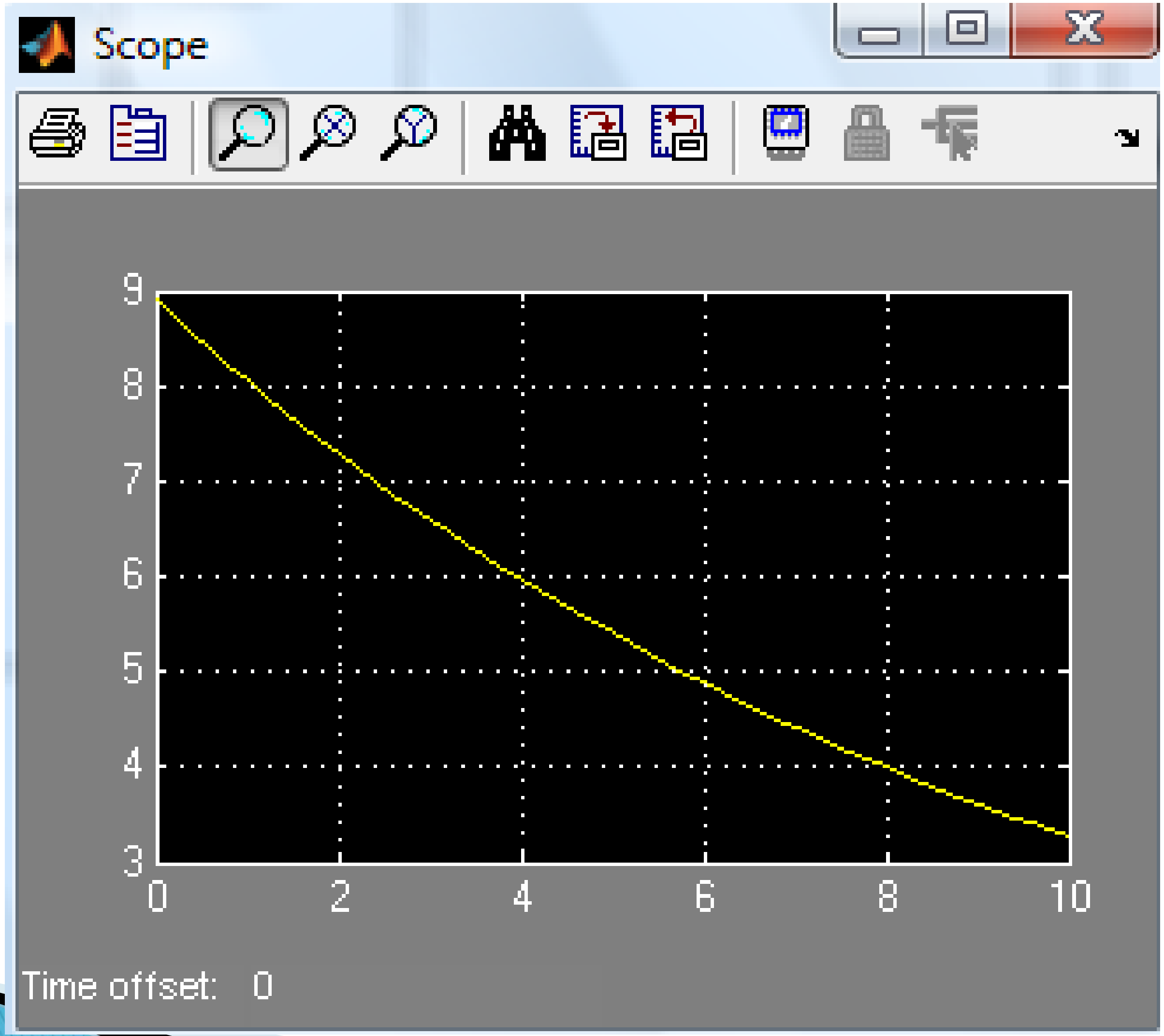
(30 320 000 mg de gasolina)/(3 406 572 litros de agua) = 8.9

C(0) = 8.9 mg/litro

1.2 PROGRAMA SIMULINK

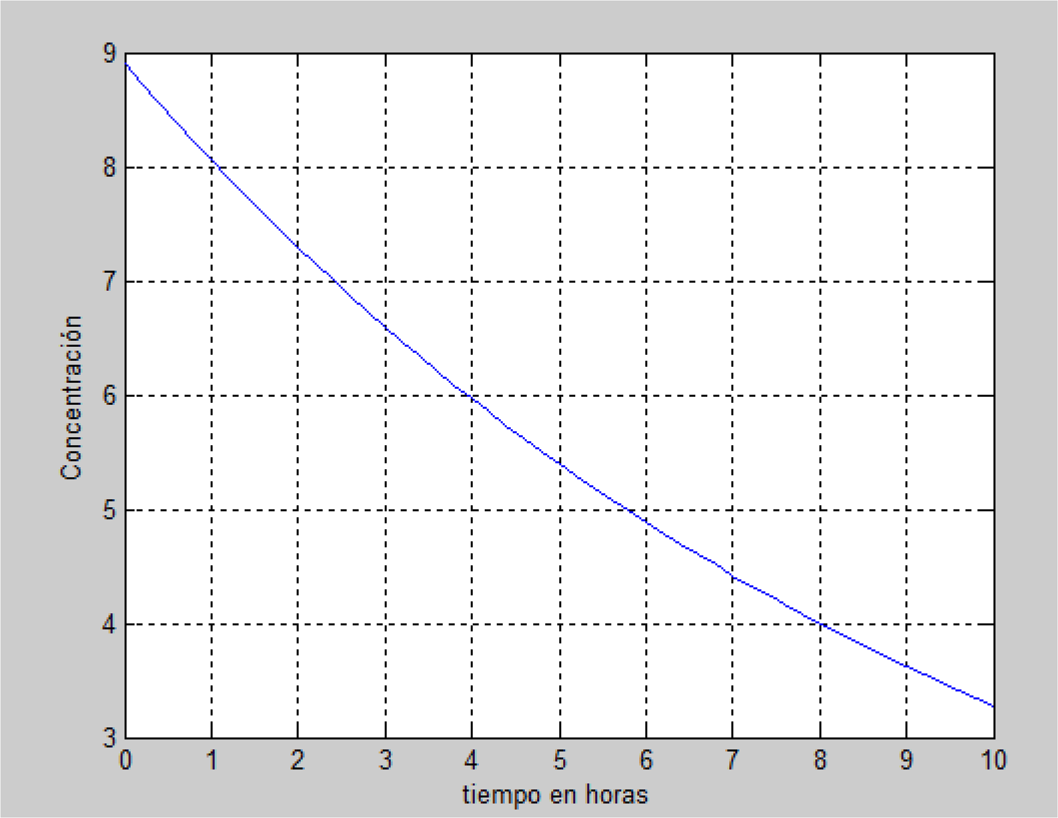


1.3 RESPUESTA DEL SISTEMA



SIMULINK A MATLAB

```
plot(t,c);
grid
ylabel('Concentración mg/lt')
xlabel('tiempo en días')
i=find(t>3.9&t<4.1);
c(i)
% c(21)=5.9658
```



2. CASO2: VERTIDO CONTINUO DE CONTAMINANTES

Considerar un lago que contiene V litros de agua el cual está a % contaminado. Una alcantarilla se vacía en el lago a una tasa de S litros al día. El agua en la alcantarilla esta b% contaminado. Un río también se vacía en el lago en una tasa de R litros al día. El agua en el río está c % contaminado. El lago drena por otro río a razón de S +R litros al día lo cual hace que el volumen del lago permanezca constante, es decir, el volumen del lago está en estado estacionario.

El problema luego es determinar el nivel de contaminación del medio ambiente en el lago después un año (o algún otro período de tiempo, por decir *n días*).

Los datos de muestra son: V = 1 000 000 000, a = 0.1,

S = 30000, b = 10, R = 70 000, c = 0.5, n = 365.

2,1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS INICIALES

Para cualquier día dado:

La contaminación inicial en el lago es (a / 100) *V,* litros

La contaminación que entra en el lago desde de la alcantarilla es (*b* / 100) *S,* litros

La contaminación que entra en el lago desde el primer río es (*c* / 100)*R* litros

Así, la contaminación total que desemboca en el lago es ($bS + cR$) /100.

La contaminación actual así se convierte en ($aV + bS + cR$) /100.

La contaminación que drena del lago en el segundo río equivale a la contaminación actual del lago.

2.2 MODELAMIENTO MATEMÁTICO:

Ahora, tenemos dos corrientes de estrada y una corriente de salida, por lo que la se escribe como:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{S}{V} \cdot C_{alc} + \frac{R}{V} \cdot C_{rio} - \frac{(S+R)}{V} C$$

V: Volumen del lago : 1 000 000 000 litros

S: Caudal de entrada de la alcantarilla: 30 000 litros/día

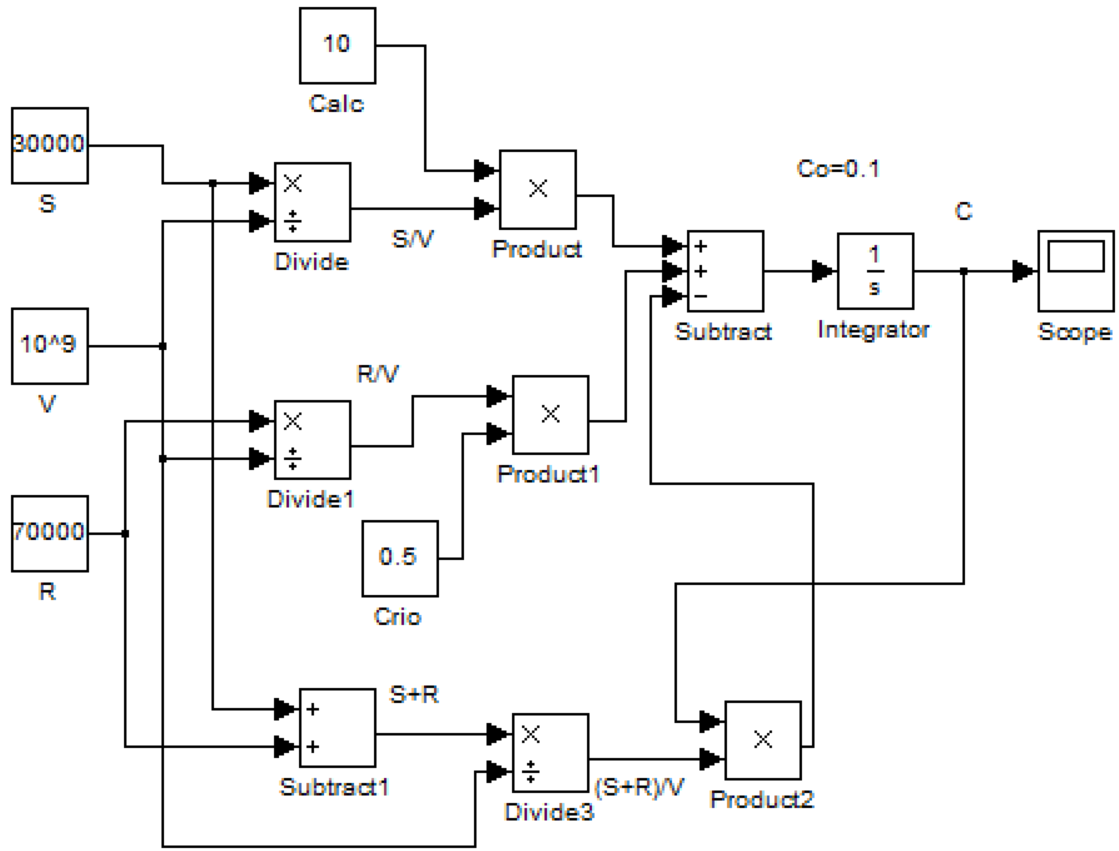
R : Caudal de entrada del primer río: 70 000 litros/día

C(0) : Porcentaje inicial de contaminantes del lago : 0.1

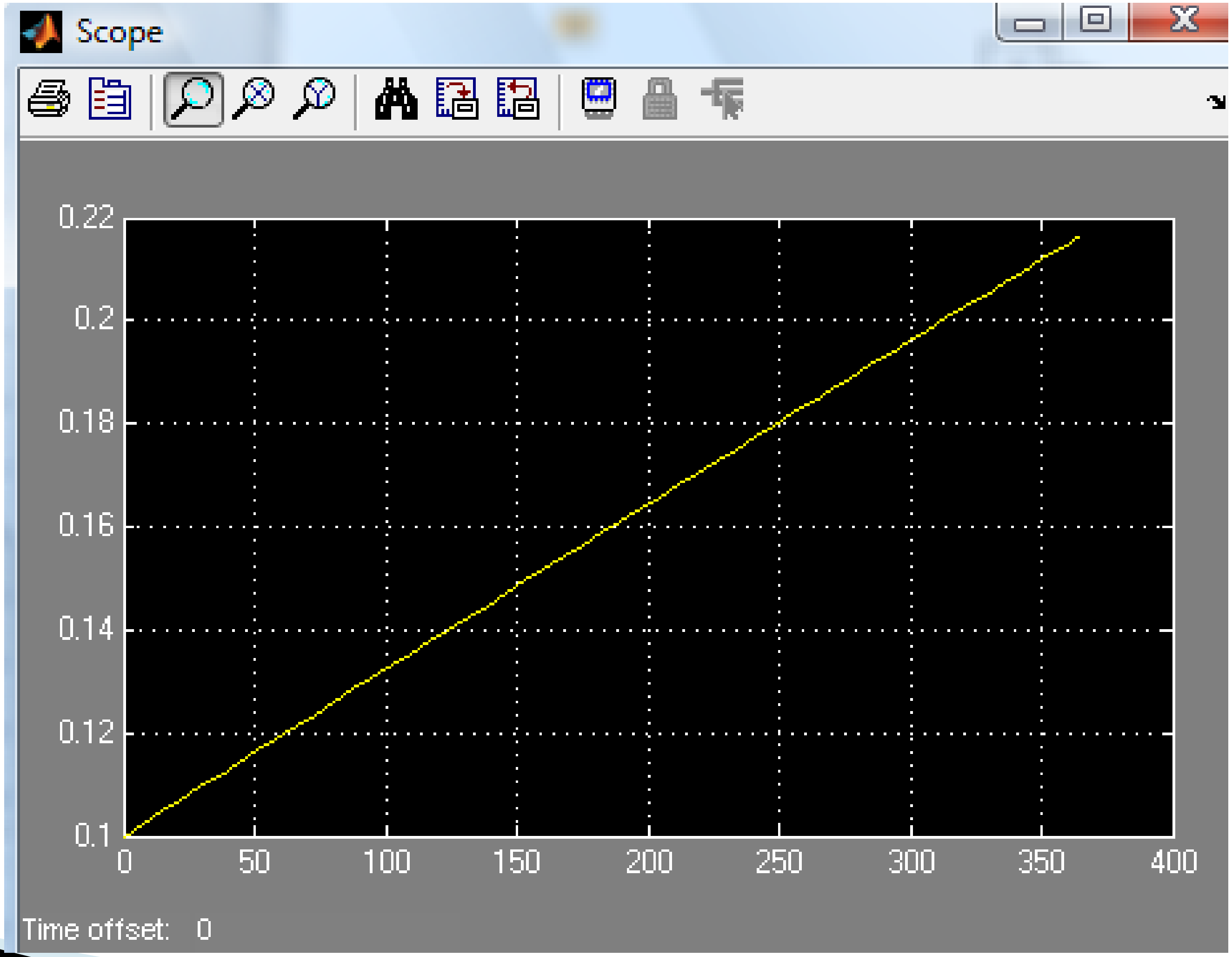
Calc: Porcentaje de contaminantes en la alcantarilla : 10

Crío: Porcentaje de contaminantes en el río : 0.5

2.3 PROGRAMA SIMULINK



2.4 RESPUESTA DEL SISTEMA



6. NIVEL DE RUIDO AUTOMOTOR

Desde hace ya unos años, un tema del que las múltiples administraciones están tomando conciencia es el de la contaminación acústica. Este tipo de contaminación, hasta hace no mucho ignorado, se está convirtiendo en un problema en las grandes urbes, tanto por su magnitud, como por sus consecuencias. Insomnio, stress, problemas psicológicos y fisiológicos… que se multiplican cada vez a un ritmo mayor debido a una gran proliferación de contaminantes acústicos dentro de núcleos urbanos.

El modelo propuesto permite predecir y/o evaluar el impacto acústico de una vía de gran volumen de tráfico. Esta predicción será con base en la distancia que separa el receptor de esta vía, así como estadísticas completas sobre los tipos de tráfico rodado en cada hora del día. De igual forma, empleando los mismos datos estadísticos, es posible visualizar la densidad de tráfico ponderado. Esta medida resulta de utilidad para estudiar como al variar la distribución de la densidad de tráfico, un mismo volumen diario de tráfico rodado puede producir diferentes niveles de contaminación acústica y malestar al ser humano.

6.1 MODELO MATEMÁTICO

Este modelo se basa principalmente en el estudio de la “energía equivalente al nivel de sonido”, también Leq a partir de ahora, y la estimación de la “densidad media de tráfico ponderado”, Avtraffic. Estás constituyen las principales variables de estado y salidas de la simulación:

La energía equivalente al nivel de sonido es una medida de la molestia acumulada debido al ruido durante una hora, en este caso, debido a la contaminación acústica del tráfico rodado. Se expresa en [dBA], una variación de la unidad [dB] usada en acústica, la cual es referenciada a un potencial [dB 0] fijado en el umbral de audición humana medio; y filtrada a través de filtros A para tomar principalmente las frecuencias más dañinas para el oído humano. Así pues, Leq expresa esencialmente un nivel de molestia potencialmente dañino para el oído humano desprotegido.

La densidad media de tráfico ponderado, Avtraffic es una medida de la relación entre el tráfico ponderado a razón de ejes y la velocidad media, permitiendo el estudio de la correlación entre el tráfico (como volumen ponderado de vehículos), la velocidad media, y el impacto sobre Leq.

El modelo estudiado ,se basa en ecuaciones empíricas desarrolladas para predecir como el tráfico puede perturbar la vida humana y constituir un riesgo para los seres humanos que desarrollan parte de su actividad cerca de vías rodadas no protegidas acústicamente. Para predecir la energía equivalente al nivel de sonido, es necesaria la mínima distancia desde la vía hasta el “punto de recepción”, así como una estimación de los volúmenes de tráfico para automóviles -vehículos motorizados hasta dos ejes- y camiones -vehículos motorizados de 3 o más ejes-, así como la velocidad media en cada hora a estudiar.

La introducción de la densidad media de tráfico ponderado en el modelo fue realizada con el fin de poder evaluar mejor los resultados obtenidos del cálculo de Leq. Por ello, con el fin de compatibilizar las magnitudes de densidad de tráfico obtenidas con el resto del modelo Leq y sus ecuaciones, el volumen de automóviles y camiones fue ponderado análogamente a la expresión dada de Leq.

Así, el modelo se describe mediante las siguientes ecuaciones y variables:

$$L_{eq} = 42.3 + 10.2\log(V_c + 6V_t) - 13.9\log D + 0.13S$$

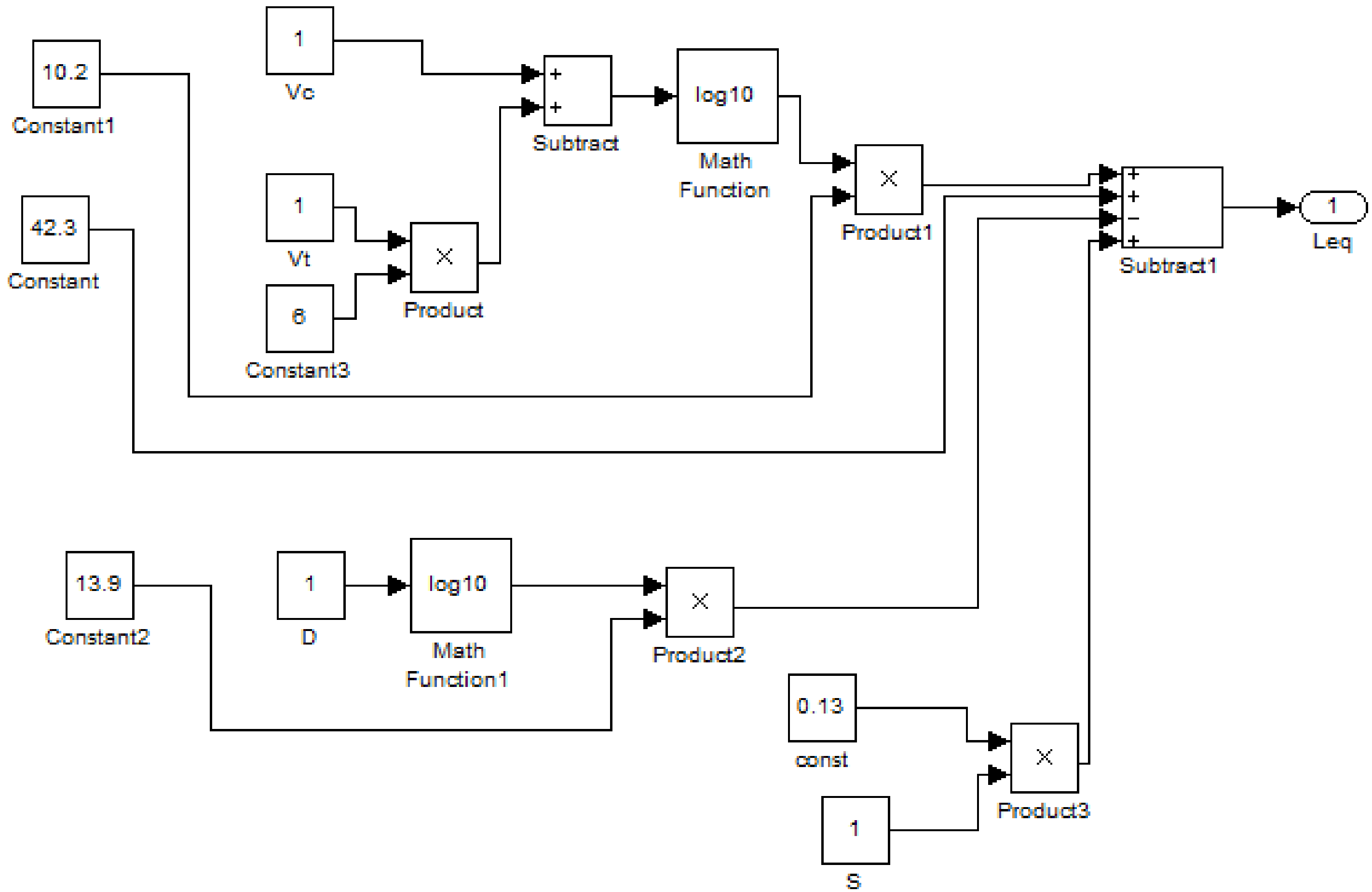
$$Av_{traffic} = \frac{(V_c + 6V_t)}{S}$$

Leq = energía equivalente del nivel de sonido por hora en DB
Av_{trafic} = Densidad media del tráfico ponderado por hora
Vc= Volumen de automóviles en vehículos / hr
Vt = Volumen de camiones en vehículos / hr
D = distancia del borde del pavimento al receptor en mt
S = Velocidad promedia del flujo de tráfico por hora, Km/hr

Según estudios para esta clase de contaminación la energía del ruido varía con el tiempo de acuerdo a esta ecuación:

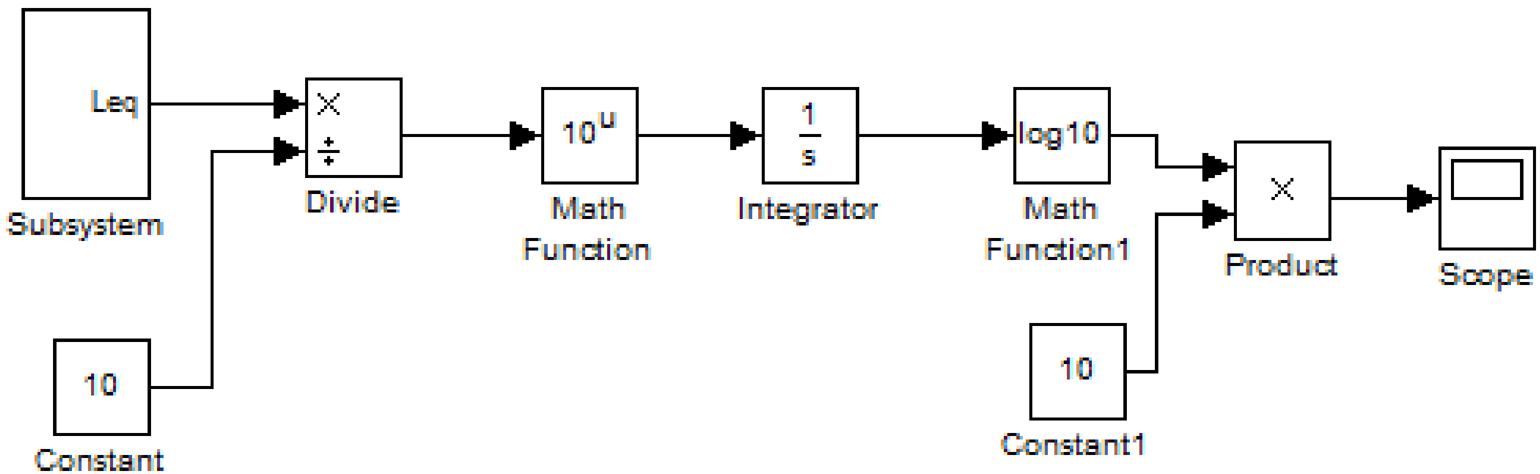
$$Leq(t) = 10\, log \int_0^t 10^{\frac{Leq}{10}}\, dt$$

6.2 MODELO SIMULINK: SUBSISTEMA Leq



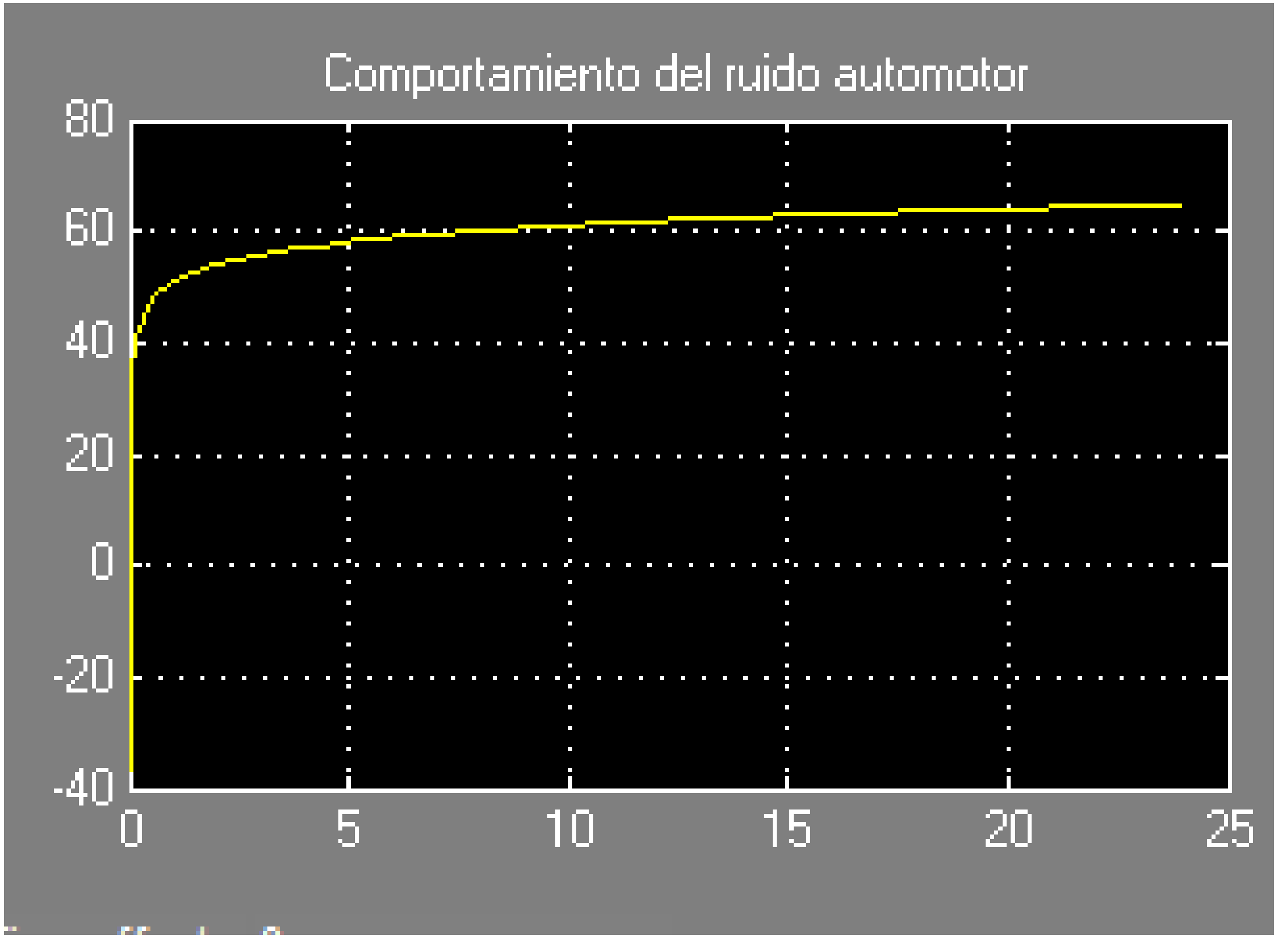
$$L_{eq} = 42.3 + 10.2\log(V_c + 6V_t) - 13.9\log D + 0.13S$$

MODELO SIMULINK: SISTEMA Leq(t)



$$Leq(t) = 10\ log \int_0^t 10^{\frac{Leq}{10}}\, dt$$

RESPUESTA DEL NIVEL DE RUIDO EN DB



7. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PV

7.1 PARÁMETROS DEL PANEL SOLAR

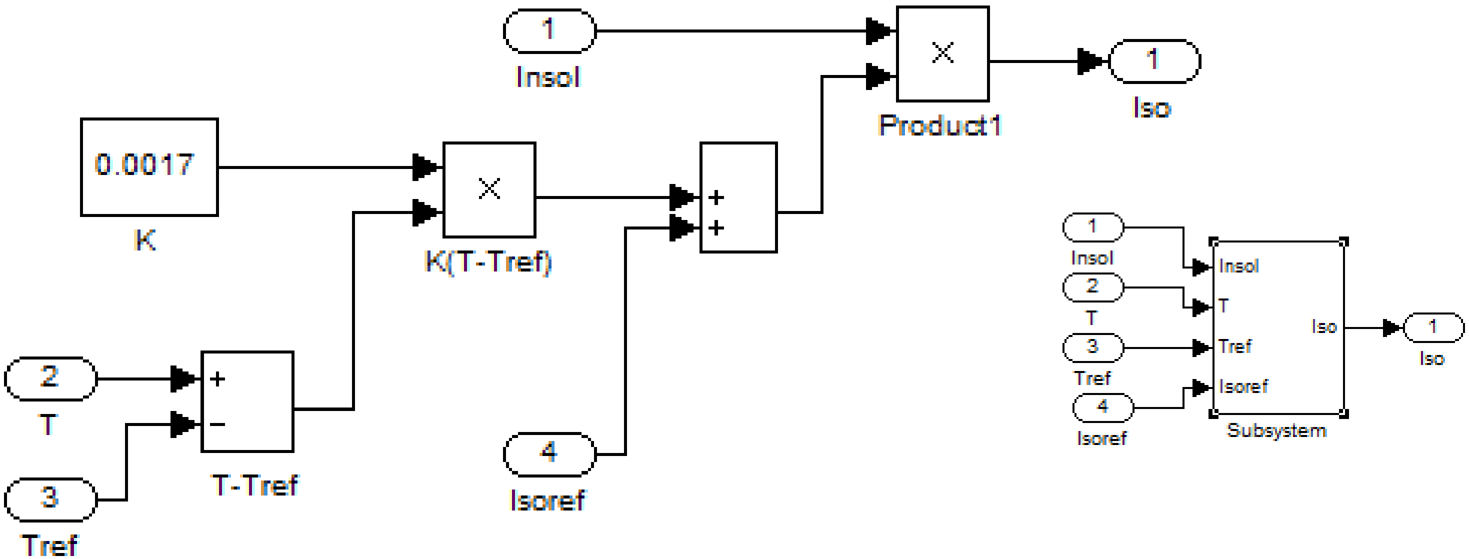
Parameter specification of MXS 60 PV module

Parameter	**Variable**	**Value**
Maximum power	P_m	60W
Maximum voltage	V_m	17. 1V
Current at max power	I_m	3. 5A
Open cct voltage	V_{oc}	21. 06V
Short cct current	I_{sc}	3.74
Total No. of cells in series	N_s	36
Total No. of cells in parallel	N_p	1

7.1 CORRIENTE FOTOVOLTAICA GENERADA

$$I_{so} = [I_{soref} + K(T - T_{ref})] * insol, \qquad donde\ insol = \frac{irradiación}{irradiación\ nominal}$$

K=0.0017 A/m2,   T: temperatura actual, Tref: temperatura de referencia

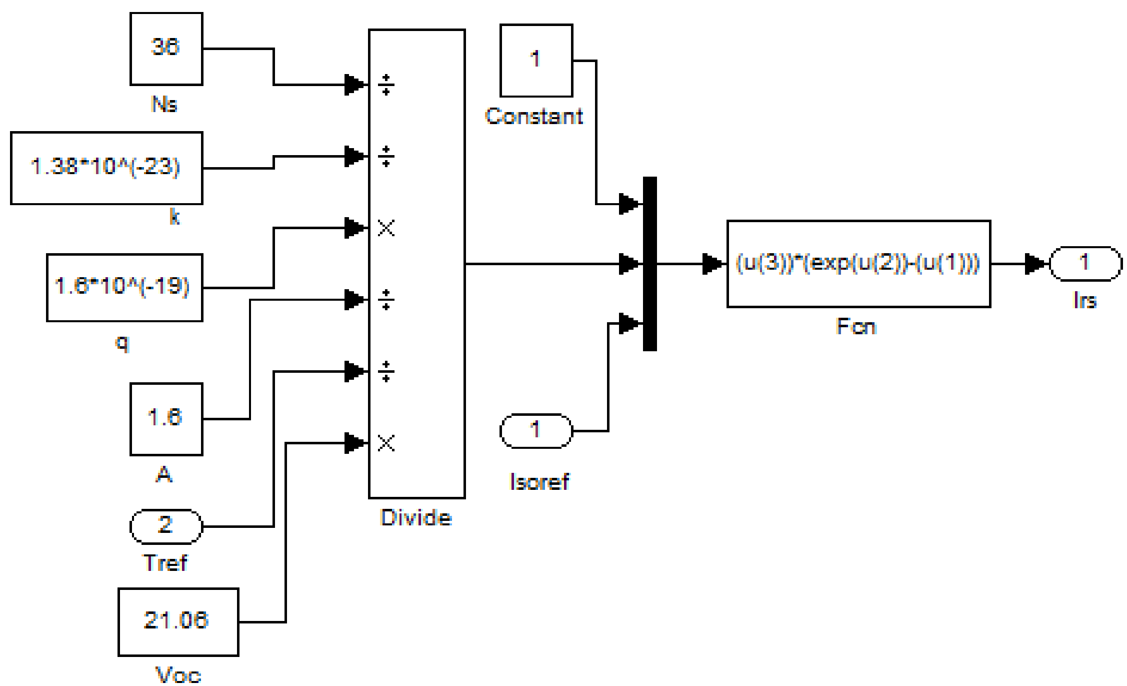


CÁLCULO DE LA CORRIENTE FOTOVOLTAICA GENERADA

7.2 CORRIENTE DE SATURACIÓN INVERSA

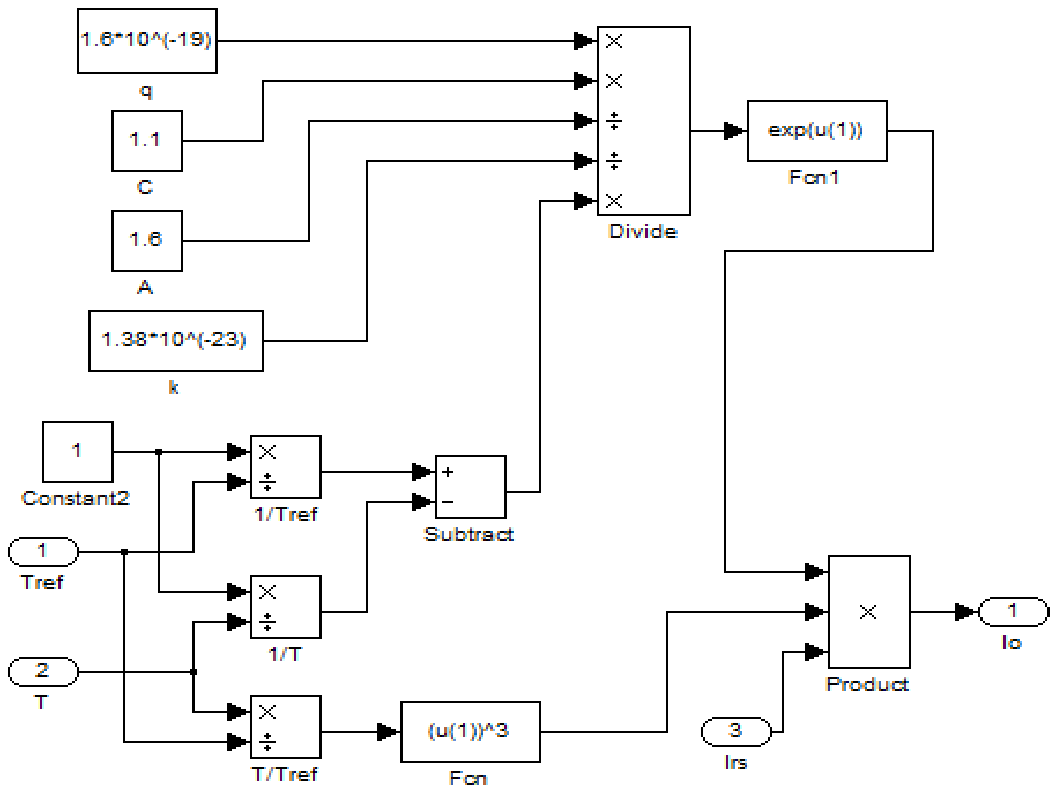
$$I_{rs} = I_{soref}\left[exp\left(\frac{qV_{oc}}{N_s KAT}\right) - 1\right]$$

$$Ns = 36, K = 1.38 * 10^{-23}, \quad q = 1.6 * 10^{-19}, \qquad V_{oc} = 21.06, \qquad A = 1.6$$

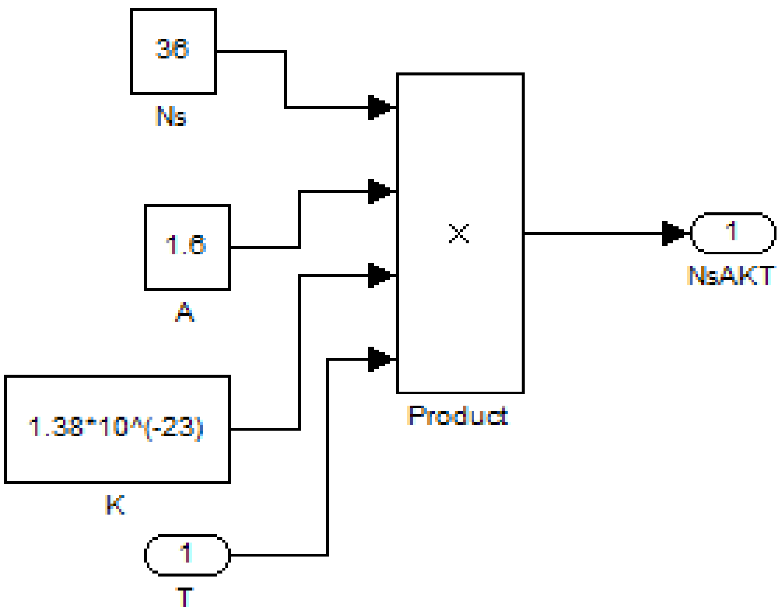


7.3 CORRIENTE DE SATURACIÓN

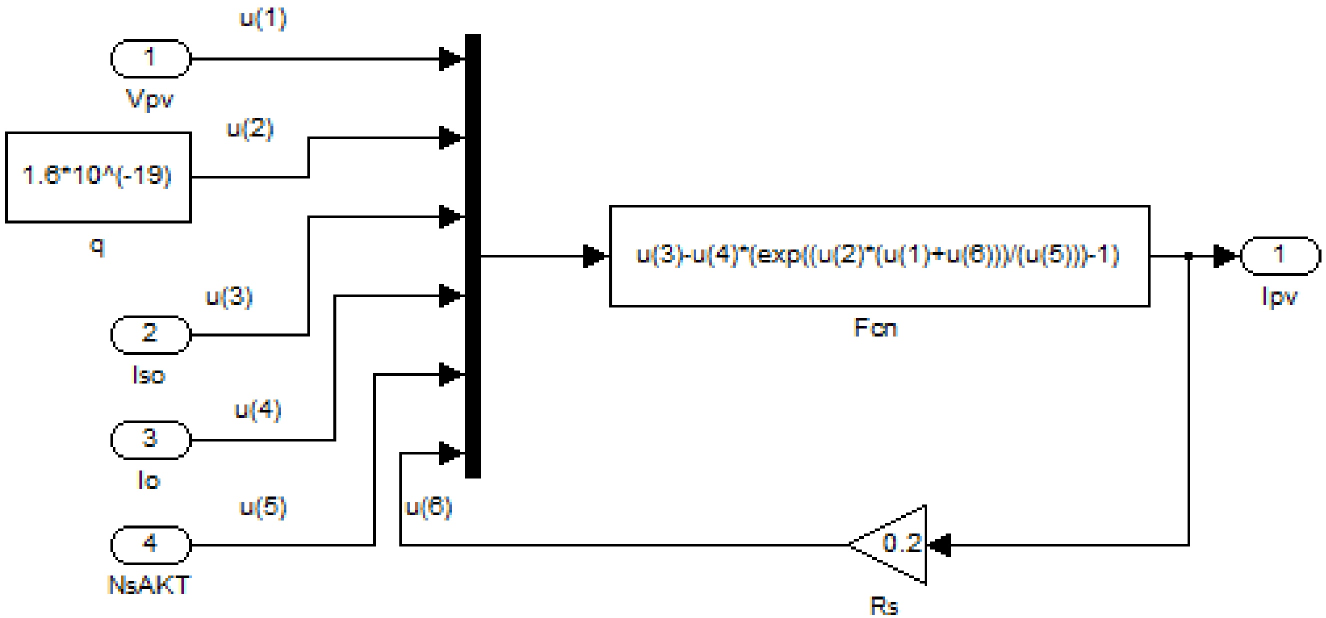
$$I_o = I_{rs}\left[\left(\frac{T}{Tref}\right)^3 exp\left[\left(\frac{qC}{AK}\right)\left(\frac{1}{Tref}-\frac{1}{T}\right)\right]\right]$$, C=1.1, A=1.6



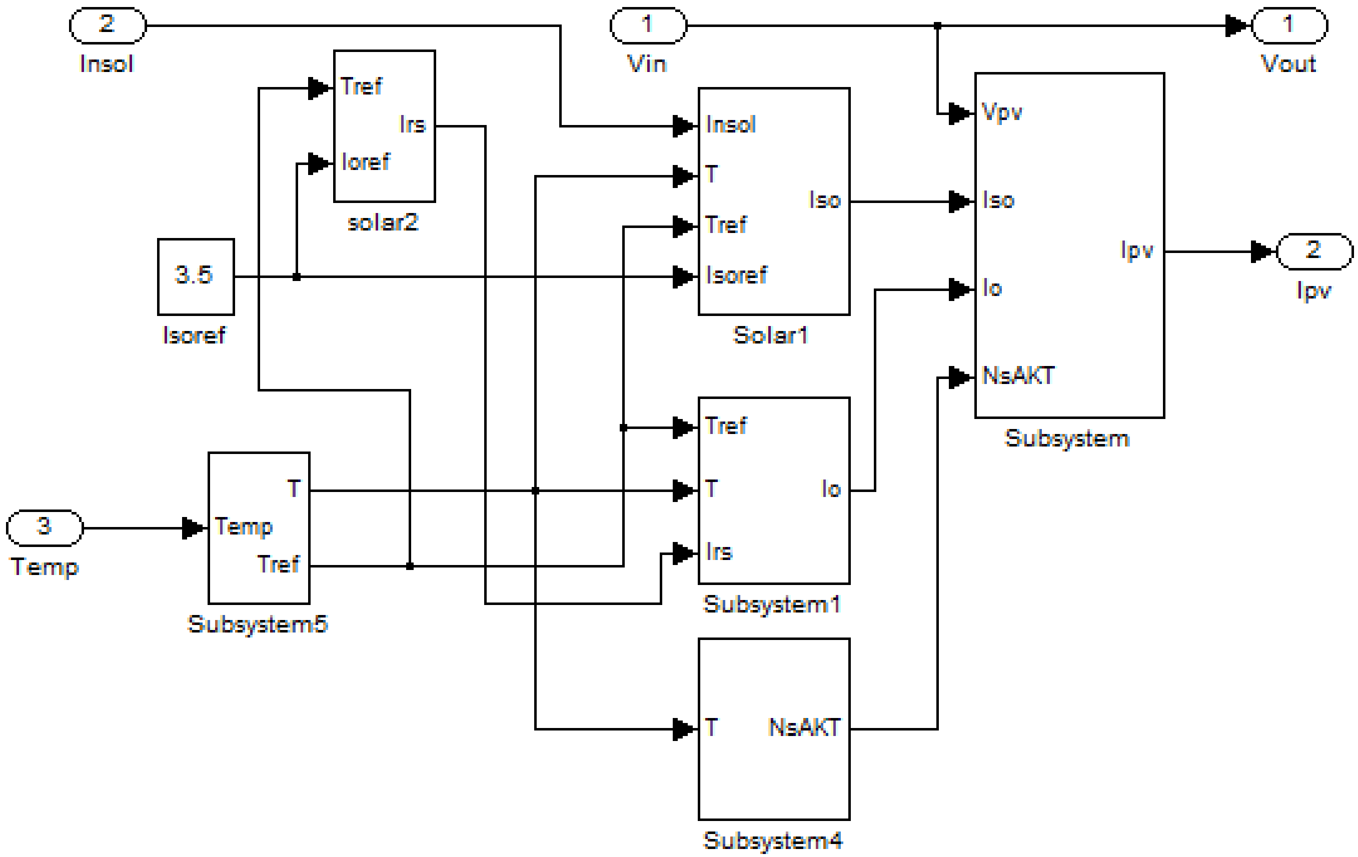
7.4 CÁLCULO DE NsAKT



7.5 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE SALIDA

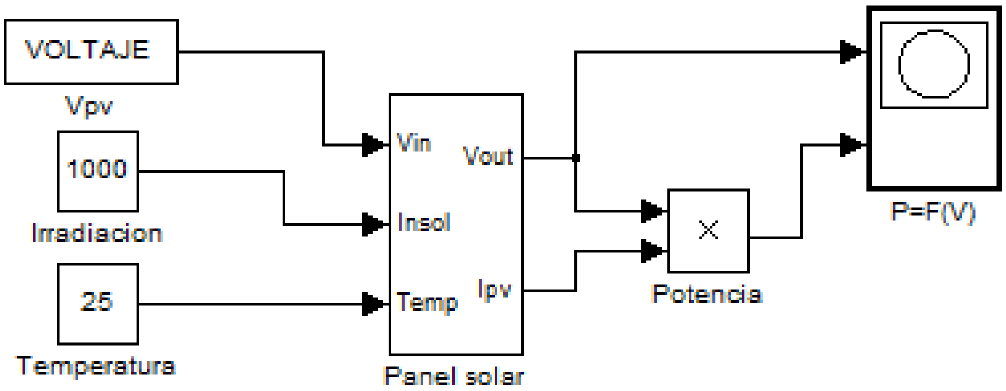


7.6 INTERCONEXIÓN DE SUBSISTEMAS



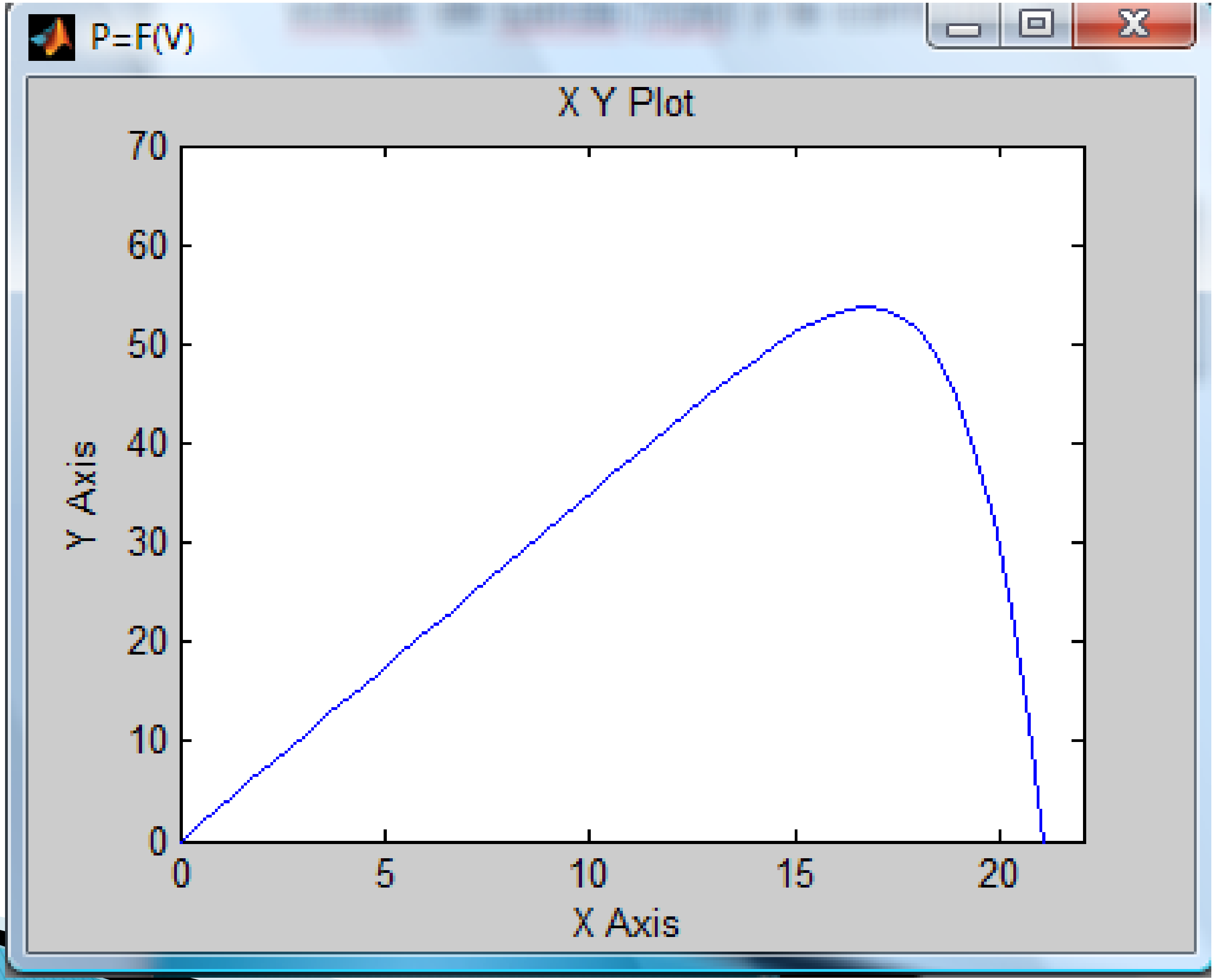
7.6 SIMULACIÓN DEL PANEL SOLAR

Toma la irradiación (inso), la temperatura de operación (Temp) y entrega el voltaje de salida (Vpv) y la corriente de salida (Ipv)

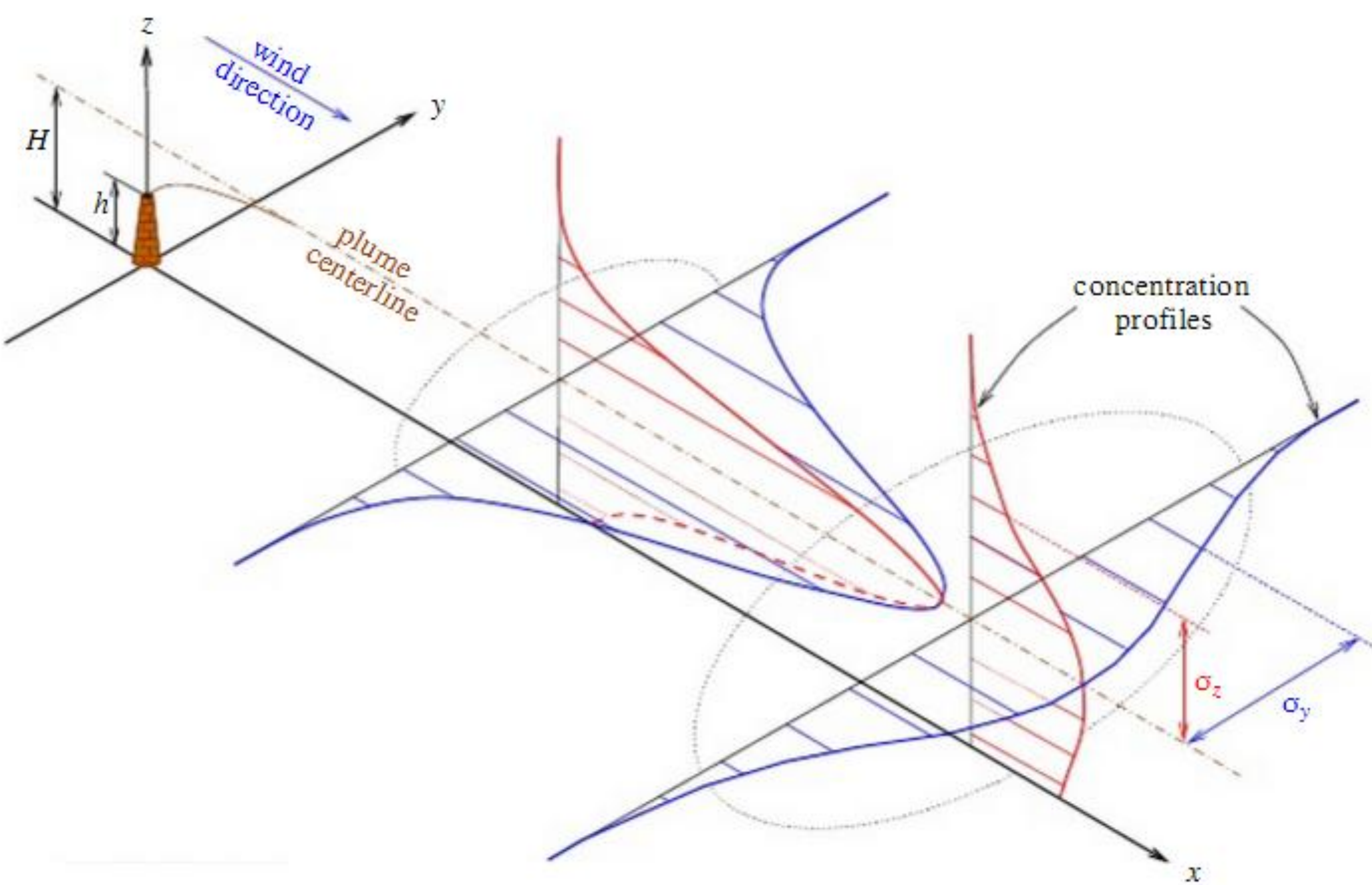



```
%Programa para correr
parámetros de entrada
%para el panel solar
clear
t3=[0:22]';
V=t3;
VOLTAJE=[t3 V];
```

RESPUESTA DEL PANEL SOLAR EN POTENCIA VS VOLTAJE



8. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA



La concentración de contaminantes en la contaminación atmosférica se considera como un indicador ambiental, por lo tanto su monitoreo y determinación resulta una herramienta indispensable para conocer la calidad del aire atmosférico u diseñar estrategias en lucha contra la polución.
Los modelos de la calidad del aire son utilizados para simular los procesos físicos y químicos de la atmósfera. El modelo de Dispersión gaussiano es de gran aplicación y la ecuación dinámica que lo sustenta permite calcular los niveles de emisión de PM10.

El modelo de dispersión considera que el penacho de contaminantes emitido por una chimenea sigue una distribución gaussiana perpendicular al movimiento convectivo principal. La ecuación de difusión gaussiana relaciona los niveles de emisión en un punto con la cantidad de contaminantes vertidos a la atmósfera desde el foco emisor.

La estabilidad de la atmósfera depende de la diferencia de temperatura entre una masa de aire y la que la rodea. Las estabilidades A, B, C ,D ,E, F se denominan clases de estabilidad de Pasquill.

La simulación de concentración de contaminantes permite estimar la calidad del aire ambiental en una zona industrial cuyos habitantes podrían estar expuestos a concentraciones que constituyen peligro para la salud humana.

ECUACIÓN DINÁMICA

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]\left\{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-h}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+h}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\}$$

x, y, z: coordenadas espaciales en metros (m)

$C(x,y,z)$ = concentración de contaminante en un punto (x,y,z) ($g. m^{-3}$)

Q: caudal de emisión ($g.s^{-1}$)

σ_y, σ_z: desviaciones estándar en las direcciones "y" y "z" respectivamente (m)

u: velocidad media de viento ($m.s^{-1}$) en el sentido del eje x

Los gases emitidos por las chimeneas se mezclan con el aire ambiental y a medida que la pluma viaja se dispersa. Lejos de la línea central, la pluma está representada por los coeficientes de dispersión horizontal (σx) y vertical (σy), que se calculan en función de la distancia y la estabilidad atmosférica.

Los valores de los coeficientes de dispersión se calculan de acuerdo a la siguiente ecuación para x>0:

$$\sigma_y = a_y x^{b_y} * x, \qquad \sigma_z = a_z x^{b_z} * x$$

Para un sistema levemente inestable (3-5 m/s), por ejemplo:

$$a_y = 0.34, b_y = 0.82, a_z = 0.275, b_z = 0.82$$

El problema ahora es calcular y graficar el nivel de concentración del Zinc en mg/m^3 conociendo la tasa de emisión del zinc en kg/s.

Setparams.m (colocar parámetros conocidos)

```
% PARÁMETROS FÍSICOS PARA LA DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA

% parámetros del contaminante (zinc):
Wdep  = 6.2e-3;          % Zn deposition velocity (m/s)
Wset  = 2.7e-3;          % settling velocity (m/s)
Mzn   =  65.4e-3;        % molar mass of zinc (kg/mol)

% fuente de emisión de la chimenea
n_fuente = 4;                           % número de fuentes
x_fuente = [288, 308, 900, 1093];       % posición x  (m)
y_fuente = [ 77, 207, 293,  186];       % posición y  (m)
z_fuente = [ 15,  35,  15,   15];       % altura (m)
label_fuente =['S1'; 'S2'; 'S3'; 'S4'];
Q_fuente = [1.1, 2.5, 1.6, 1.6] ;     % tasa de emisión (g/s)
```

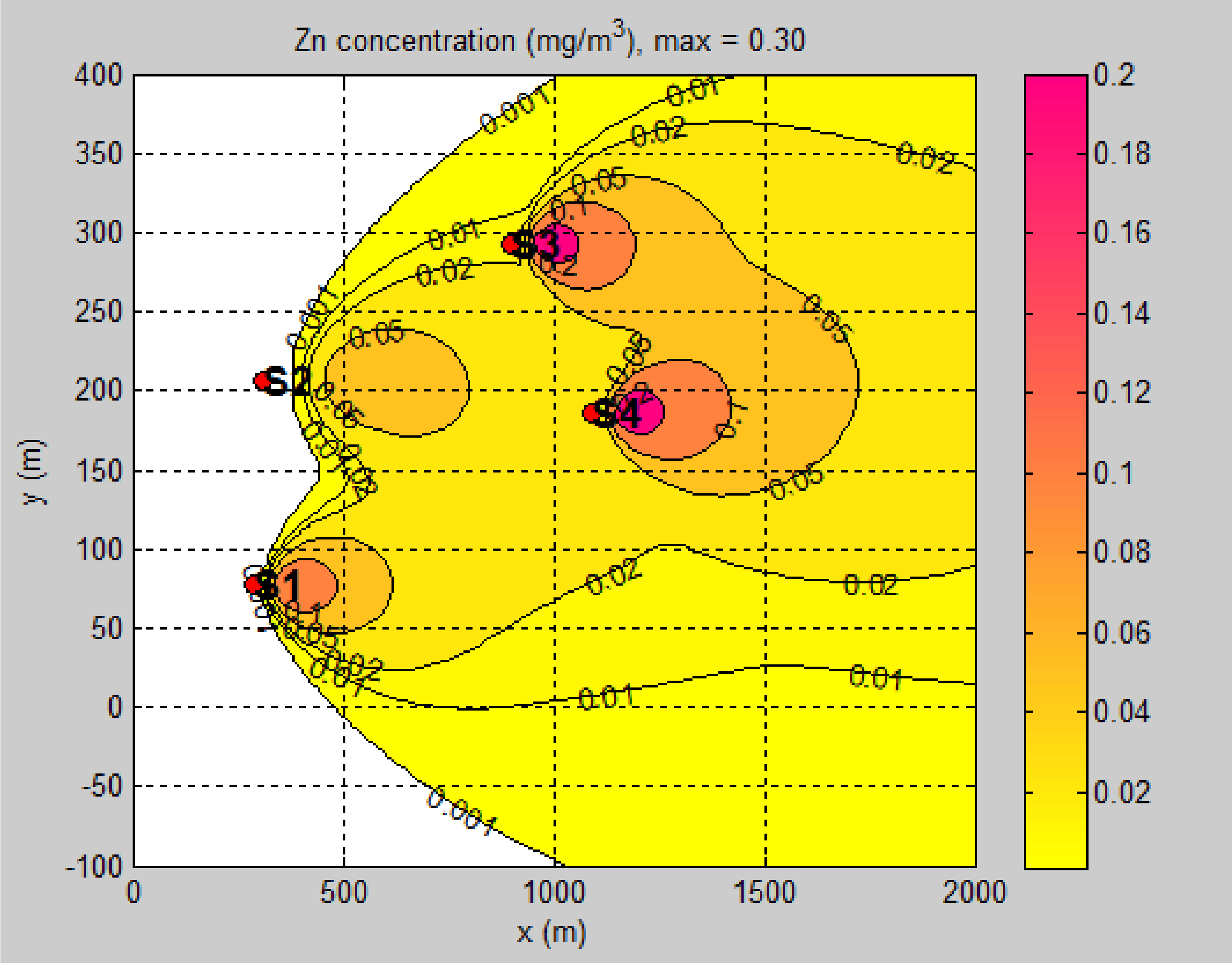
gplume.m (calcular la concentración del contaminante)

```matlab
function C = gplume( x, y, z, H, Q, U )
% CALCULA LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTE (kg/m^3). LA FUENTE ESTÁ
% LOCALIZADA EN EL ORIGEN Y CUATRO RECEPTORES

Umin = 0.0;

% determinar los coeficientes sigma basado en estabilidad clase C
% levemente inestable (3 a 5 m/s)
ay = 0.34;  by = 0.82;  az = 0.275; bz = 0.82;
sigmay = ay*abs(x).^by .* (x > 0);
sigmaz = az*abs(x).^bz .* (x > 0);

% calcular la concentración del contaminante (kg/m^3) usando
%la fórmula de Ermak.
if U < Umin,
  C = 0 * z;
else
  C  = Q ./ (2*pi*U*sigmay.*sigmaz) .* exp( -0.5*y.^2./sigmay.^2 ) .* ...
       ( exp( -0.5*(z-H).^2./sigmaz.^2 ) + exp( -0.5*(z+H).^2./sigmaz.^2 ) );
  ii = find(isnan(C) | isinf(C));
  C(ii) = 0;   % Set all NaN or inf values to zero.
end
```

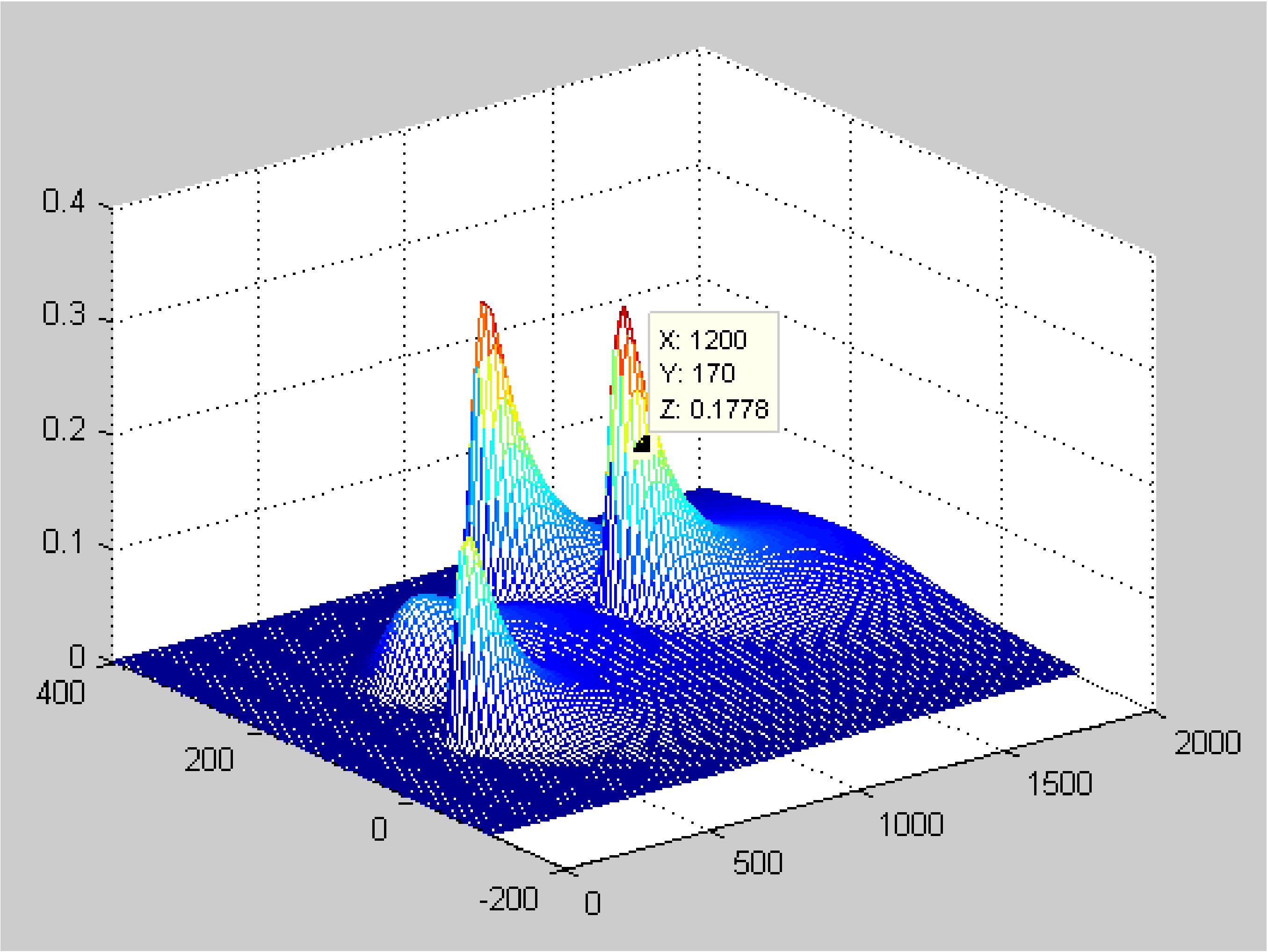
forward.m (graficar la concentración en contornos)

```
% CALCULA Y GRAFICA LA CONCENTRACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL ZINC
% A NIVEL DE LA TIERRA (z=0)EN mg/m^3

clear all
setparams;   % Lee los parámetros
Uv = 5;   % velocidad del viento (m/s)

% colocar malla de 100 cuadrículas para graficar contorno
xlim = [   0, 2000];
ylim = [-100,  400];
x0= xlim(1):20:xlim(2);
y0= ylim(1):5:ylim(2);
[xmesh, ymesh] = meshgrid( x0, y0 );
smallfont = 14;

%calcular la concentración
glc = 0;
for i = 1 : n_fuente,
  % correr las coordenadas x,y al origen
  glc = glc + gplume( xmesh - x_fuente(i), ymesh - y_fuente(i), 0.0, ...
                      z_fuente(i), Q_fuente(i), Uv );
end
```

```
% Graficar el contorno de la contaminación a nivel de la tierra
figure(1)
clist = [ 0.001, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 ];
glc2 = glc*1e3;  % Pasa concentración de gr/m^3 a mg?m^3
[c2, h2] = contourf( xmesh, ymesh, glc2, clist );
clabel(c2,h2)
colormap(1-winter)
colorbar
xlabel('x (m)'), ylabel('y (m)')
title(['Zn concentration (mg/m^3), max = ', sprintf('%3.2f', max(glc2(:)))])
grid on

% Dibujar el label de las fuentes en su posición
hold on
plot( x_fuente, y_fuente, 'ro', 'MarkerEdgeColor', 'k', 'MarkerFaceColor', 'r' )
text( x_fuente, y_fuente, label_fuente, 'FontSize', smallfont, 'FontWeight','bold' );
hold off
figure(2)
mesh(xmesh,ymesh,glc2)
```



Zn concentration (mg/m3), max = 0.30
S1
S2
S3
S4
x (m)
y (m)
0
500
1000
1500
2000
400
350
300
250
200
150
100
50
0
-50
-100
0.001
0.01
0.02
0.05
0.1
0.2
0.02
0.04
0.06
0.08
0.1
0.12
0.14
0.16
0.18
0.2


X: 1200
Y: 170
Z: 0.1778
0.4
0.3
0.2
0.1
0
400
200
0
-200
0
500
1000
1500
2000