

# “MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE LLENADO DE DOS TANQUES EN SERIE”.

Maybe Carolina Escalante Tomalá, Walter Joel Villacreses Mendieta, Phd. Douglas Plaza.

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación.

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

[mescalan@espol.edu.ec](mailto:mescalan@espol.edu.ec), [wajovill@espol.edu.ec](mailto:wajovill@espol.edu.ec), [douplaza@espol.edu.ec](mailto:douplaza@espol.edu.ec).

## Resumen

*El objetivo principal es modelar y simular el comportamiento de un sistema de llenado de dos tanques en serie, ante diferentes tipos de entrada, específicamente, escalón, impulso y rampa; para ello se hace uso de los programas de simulación tales como: Matlab/Simulink, Scilab/Xcos y (Open) Modelica, al mismo tiempo se busca evaluar el desempeño de estos programas.*

*Para simular el sistema en primer lugar se halla el modelo matemático, se ha tomado como modelo base el sistema de un solo tanque, facilitando distinguir las leyes físicas que lo rigen, mediante análisis matemático se obtienen las ecuaciones diferenciales de ambos modelos de uno y dos tanques, para así, observar que el modelo de interés, es no lineal, por ende se ha linealizado, logrando obtener las funciones de transferencias respectivas para la simulación.*

*Una vez simulado en cada uno de los programas, se realiza una comparación entre el simulador posicionado, Matlab y los de licencia gratuita, Scilab y Modelica, mediante la obtención de valores de frontera a diferentes tiempos de simulación, se tiene como resultado que el programa Matlab puede ser sustituido por Modelica, ya que posee el menor margen de diferencia y más aun beneficiando a los usuarios por su accesibilidad.*

**Palabras Claves:** *Matlab, modelo matemático, OpenModelica, programas de simulación, tanques en serie, Scilab, Simulink, Xcos.*

## Abstract

*The main objective of our work is to model and simulate the performance of the filling of two tanks connected in series. For this, different inputs are used, specifically, step, pulse and ramp. We use different simulation programs such as: Matlab/Simulink, Scilab/Xcos and (Open) Modelica. Additionally, the performance of the simulation programs is evaluated.*

*In order to simulate the system, first we find the mathematical model, which has been considered as the base model of a single tank system, facilitating the identification of the physical laws which govern the system. By using mathematical analysis, the differential equations of both models, one and two tanks, are obtained, note that the model is non-linear, and therefore has been linearized, managing to obtain the respective transfer functions for the simulation.*

*Once simulated in each of the programs, a comparison is made between the positioning simulator Matlab and free license programs such as Scilab and Modelica, by obtaining boundary values at different simulation times, results show that Matlab can be replaced by Modelica, since reports the best performance in terms of computation time.*

**Keywords:** *Matlab, mathematical model, OpenModelica, simulation programs, tanks in series, Scilab, Simulink, Xcos.*

## 1. Introducción

Simular y a su vez modelar sistemas reales mediante ecuaciones matemáticas es una de las herramientas más aplicadas en la Ingeniería, hoy en día se abre un abanico de programas de simulación, que cumplen tales exigencias, talvez unos más

estilizados y desarrollados que otros, sin embargo todos son útiles.

Ya que cada vez es más difícil la adquisición de la licencia de ciertos programas, como Matlab, han surgido tanto como para el estudiante u otro tipo de usuarios, softwares libres, por ejemplo: Scilab y

Modelica; sin embargo queda la inquietud de cuál resulta ser el mejor, el ya avanzado y desarrollado Matlab, creado en los años 70, que por su tiempo en el mercado ha logrado evolucionar y posicionarse, adaptándose a las necesidades de los usuarios alrededor del mundo, o los programas libres que están siendo cada vez más utilizados como Scilab y Modelica, cuya acogida en el continente Europeo ha sido mayor que en cualquier otro lugar, sin embargo gracias a su accesibilidad y a su constante desarrollo, están bajo la mira de todo el mundo.

Para despejar esa inquietud, serán comparados mediante la simulación de un sistema de llenado de dos tanques en serie, a partir de esta experiencia se definirá cual resulta ser el más conveniente.

## 2. Modelamiento matemático de un sistema de llenado de dos tanques en serie.

El modelo a analizar es un sistema hidráulico, basado en la dinámica de fluidos, en este caso se estudiará la estabilidad del llenado de tanques en serie, asumiendo que el fluido es ideal incomprensible.

Para facilitar la respectiva deducción de las ecuaciones, primero se detallará el modelo básico, que consta de un solo tanque, a partir de éste esquema se deducirá las ecuaciones del sistema de dos tanques y de tres respectivamente; su estudio está establecido sobre dos pilares importantes de la hidrodinámica, como lo son: la ecuación de Bernoulli y la ley de Torricelli.

Se debe realizar los balances de energía y materia necesarios, mediante el teorema de trabajo y energía.

### 2.1. Modelo matemático del sistema de llenado de dos tanques en serie.

Este sistema consta de dos tanques acoplados en serie, la sección que los une es de igual dimensión que la salida del tanque dos, por donde fluye un líquido que pasa del primer tanque al segundo tanque,  $(q_{12})$ , por medio de este caudal, el tanque dos varía su volumen de llenado, es decir  $\frac{h_2(s)}{q_0(s)}$  (variación de la altura del segundo tanque de acuerdo a la alimentación del primer tanque), para esto se deben determinar las funciones de transferencia que relacionen el nivel del primer tanque con el caudal de entrada, el nivel del segundo tanque con el caudal de salida del primer tanque.

Para el análisis de este sistema, trataremos a los tanques por separado.

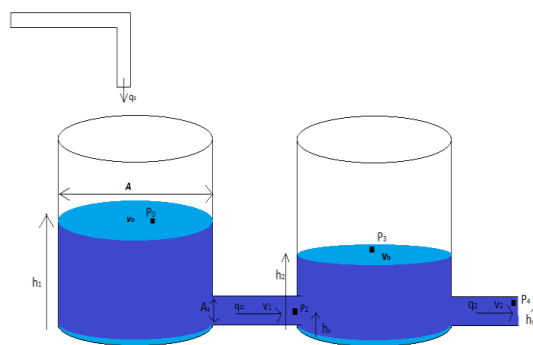


Figura 1. Sistema real de dos tanques en serie

-Teorema de conservación de la energía mecánica.

$$W = E_c + E_p$$

-Balance de trabajo debido a las fuerzas de presión.

$$W = (P_0 - P_2) \Delta V$$

-Energía cinética.

$$\Delta E_c = \Delta K = \frac{1}{2} \Delta m \cdot v_1^2 - \frac{1}{2} \Delta m \cdot v_0^2$$

-Energía potencial.

$$\Delta E_p = \Delta U = \Delta m \cdot g \cdot h_x - \Delta m \cdot g \cdot h_1$$

-Balance de energía mecánica del sistema

$$(P_0 - P_2) \Delta V = \frac{1}{2} \Delta m \cdot v_1^2 - \frac{1}{2} \Delta m \cdot v_0^2 + \Delta m \cdot g \cdot h_x - \Delta m \cdot g \cdot h_1$$

Si dividimos cada término entre  $\Delta V$  y recordamos que  $\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}$ , quedando:

$$(P_0 - P_2) = \frac{1}{2} \rho v_1^2 - \frac{1}{2} \rho v_0^2 + \rho \cdot g \cdot h_x - \rho \cdot g \cdot h_1$$

En referencia a la Ley de Torricelli: Siendo el área  $A \gg A_s$  se considera que el flujo está en reposo en la parte superior, es decir  $v_0 = 0$ .

Esto se puede explicar mediante la ecuación de continuidad para fluidos.

$$A v_0 = A_s v_1$$

La ecuación, nos dice que la velocidad con la que fluye el líquido es alta donde el tubo es estrecho  $A_s$  (pequeña) y baja cuando el tubo es ancho

$A_{(grande)}$ , como  $h_x$  es pequeño en comparación a  $h_1$ ; esta es despreciada o toma el valor de cero ( $h_x = 0$ ), dando como resultado:

$$(P_0 - P_2) = \frac{1}{2}\rho v_1^2 - \rho \cdot g \cdot h_1 \quad (1)$$

Mediante la relación de la presión y la profundidad obtenemos la ecuación 1, que indica que si se conoce la presión  $P_0$  a un nivel superior, entonces la presión  $P_2$  que es mayor a un nivel inferior, se calcula al sumar el incremento  $\rho \cdot g \cdot h_2$ .

$$P_2 = P_0 + \rho \cdot g \cdot h_2 \quad (2)$$

Reemplazando la ecuación 1 con la ecuación 2, se obtiene:

$$\begin{aligned} (P_0 - P_0 - \rho \cdot g \cdot h_2) &= \frac{1}{2}\rho v_1^2 - \rho \cdot g \cdot h_1 \\ -\rho \cdot g \cdot h_2 &= \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 - \rho \cdot g \cdot h_1 \\ \frac{1}{2} \cdot v_1^2 &= g \cdot h_1 - g \cdot h_2 \end{aligned}$$

Despejando así la velocidad  $v_1$ :

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \sqrt{h_1 - h_2}}$$

Como el propósito; es obtener el caudal de salida con respecto a la variación de la altura, se realizara los siguientes artificios matemáticos.

$$\begin{aligned} q_{12} &= A_s v_1 \\ q_{12} &= A_s \sqrt{2 \cdot g \cdot \sqrt{h_1 - h_2}} \end{aligned}$$

Ya que  $A_s \sqrt{2 \cdot g}$  es un valor constante, para simplificar la nomenclatura se lo llamara  $kv$ .

$$\begin{aligned} kv &= A_s \sqrt{2 \cdot g} \\ q_{12} &= kv \sqrt{h_1 - h_2} \end{aligned}$$

Siguiendo el mismo análisis se tratara al tanque derecho del sistema:

$$W = E_c + E_p$$

$$(P_3 - P_4) = \frac{1}{2}\rho v_2^2 - \frac{1}{2}\rho \overline{v_b^2} + \rho g \overline{h_y} - \rho g h_2$$

Tanto  $P_3$  y  $P_4$  son presiones atmosféricas; en consecuencia estas se anularan ( $P_3 - P_4 = 0$ ), dando como resultado:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\rho v_2^2 - \rho g h_2 &= 0 \\ \frac{1}{2}\rho v_2^2 &= \rho g h_2 \\ v_2 &= \sqrt{2 \cdot g \cdot \sqrt{h_2}} \\ q_2 &= A_s \sqrt{2 \cdot g \cdot \sqrt{h_2}} \rightarrow kv = A_s \sqrt{2g} \\ q_2 &= kv \sqrt{h_2} \end{aligned}$$

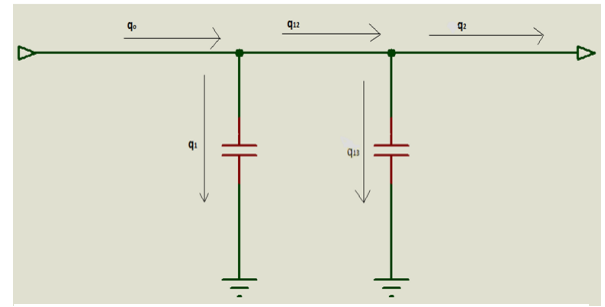


Figura 2. Representación eléctrica de dos tanques en serie

A través de la representación eléctrica del sistema, se percibe la existencia de dos Nodos, aplicando las leyes de Kirchoff a cada uno, obteniendo en el nodo uno la ecuación 3.

$$\begin{aligned} \rightarrow q_0 &= q_1 + q_{12} \\ q_0 &= A \dot{h}_1 + kv \sqrt{h_1 - h_2} \\ \dot{h}_1 &= \frac{q_0}{A} + \frac{kv}{A} \sqrt{h_1 - h_2} \end{aligned} \quad (3)$$

En el nodo dos la ecuación 4.

$$\begin{aligned} \rightarrow q_{12} &= q_{13} + q_2 \\ kv \sqrt{h_1 - h_2} &= A \dot{h}_2 + kv \sqrt{h_2} \\ \dot{h}_2 &= \frac{kv}{A} \sqrt{h_1 - h_2} - \frac{kv}{A} \sqrt{h_2} \end{aligned} \quad (4)$$

Debido a que la ecuación 3 y la ecuación 4, son no lineales por su segundo término del lado derecho de la primera ecuación y en la segunda ecuación ambos lo

son, no será posible resolverla de manera analítica, por eso es necesario linealizar el sistema de ecuaciones; aplicando la técnica de expansión de series de Taylor, se deberá linealizar con respecto a  $h_1$  y  $h_2$ .

Partiendo por definición:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial h_1} & \frac{\partial f_1}{\partial h_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial h_1} & \frac{\partial f_2}{\partial h_2} \end{bmatrix}_{(h=\bar{h}, q_i=Q)} \quad B = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial q} \\ \frac{\partial f_2}{\partial q} \end{bmatrix}_{(h=\bar{h}, q_i=Q)}$$

$$A = \frac{\partial F}{\partial h_{q_i=Q}} = \begin{bmatrix} -\frac{kv}{2A\sqrt{h_1-h_2}} & \frac{kv}{2A\sqrt{h_1-h_2}} \\ \frac{kv}{2A\sqrt{h_1-h_2}} & -\frac{kv}{2A\sqrt{h_1-h_2}} - \frac{kv}{2A\sqrt{h_2}} \end{bmatrix}_{h=\bar{h}, q_i=Q}$$

$$= \begin{bmatrix} -\frac{kv}{2A\sqrt{H_1-H_2}} & \frac{kv}{2A\sqrt{H_1-H_2}} \\ \frac{kv}{2A\sqrt{H_1-H_2}} & -\frac{kv}{2A\sqrt{H_1-H_2}} - \frac{kv}{2A\sqrt{H_2}} \end{bmatrix}$$

$$B = \frac{\partial F}{\partial q_{q_i=Q}} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow \dot{h}_1 = -\frac{kv}{A} \left( \frac{h_1(t)}{2\sqrt{H_1-H_2}} - \frac{h_2(t)}{2\sqrt{H_1-H_2}} \right) + \frac{q_0(t)}{A}$$

$$\dot{h}_1 = -\frac{kv h_1(t)}{2A\sqrt{H_1-H_2}} + \frac{kv h_2(t)}{2A\sqrt{H_1-H_2}} + \frac{q_0(t)}{A}$$

$$K_1 = \frac{kv}{2A\sqrt{H_1-H_2}} \quad K_2 = \frac{1}{A}$$

$$\dot{h}_1 = -K_1 h_1(t) + K_1 h_2(t) + K_2 q_0(t) \quad (5)$$

$$\rightarrow \dot{h}_2 = \frac{kv}{A} \left( \frac{h_1(t)}{2\sqrt{H_1-H_2}} - \frac{h_2(t)}{2\sqrt{H_1-H_2}} \right) - \frac{kv h_2(t)}{2A\sqrt{H_2}}$$

$$K_3 = \frac{kv}{2A\sqrt{H_2}}$$

$$\dot{h}_2 = K_1 h_1(t) - K_1 h_2(t) - K_3 h_2(t) \quad (6)$$

Aplicando la transformada de Laplace, tenemos:

$$\rightarrow \dot{h}_1 = -K_1 h_1(t) + K_1 h_2(t) + K_2 q_0(t)$$

$$S h_1(s) = -K_1 h_1(s) + K_1 h_2(s) + K_2 q_0(s)$$

$$(S + K_1) h_1(s) = K_1 h_2(s) + K_2 q_0(s)$$

$$(S + K_1) = \frac{K_1 h_2(s)}{h_1(s)} + \frac{K_2 q_0(s)}{h_1(s)}$$

La función de transferencia  $\frac{h_2(s)}{h_1(s)}$ , que representa la relación entre la altura del tanque dos con la altura del tanque uno.

$$\rightarrow \dot{h}_2 = K_1 h_1(t) - K_1 h_2(t) - K_3 h_2(t)$$

$$S h_2(s) = K_1 h_1(s) - K_1 h_2(s) - K_3 h_2(s)$$

$$(S + (K_1 + K_3)) h_2(s) = K_1 h_1(s)$$

La función de transferencia  $\frac{h_2(s)}{h_1(s)}$ , que representa la relación entre la altura del tanque dos con la altura del tanque uno

$$\rightarrow \dot{h}_2 = K_1 h_1(t) - K_1 h_2(t) - K_3 h_2(t)$$

$$S h_2(s) = K_1 h_1(s) - K_1 h_2(s) - K_3 h_2(s)$$

$$(S + (K_1 + K_3)) h_2(s) = K_1 h_1(s)$$

$$\frac{h_2(s)}{h_1(s)} = \frac{K_1}{s + (K_1 + K_3)} \quad (7)$$

La función de transferencia  $\frac{q_0(s)}{h_1(s)}$ , que representa la relación entre la el caudal de alimentación y la altura del tanque 1.

$$(S + K_1) = \frac{K_1^2}{s + (K_1 + K_3)} + \frac{K_2 q_0(s)}{h_1(s)}$$

$$\frac{K_2 q_0(s)}{h_1(s)} = \frac{(S + K_1)(s + (K_1 + K_3)) - K_1^2}{s + (K_1 + K_3)}$$

$$\frac{q_0(s)}{h_1(s)} = \frac{(S + K_1)(s + (K_1 + K_3)) - K_1^2}{(s + (K_1 + K_3)) K_2} \quad (8)$$

A partir de la ecuación 7 y ecuación 8, logramos

obtener  $\frac{h_2(s)}{q_0(s)}$ , que representa a la variación de la altura del segundo tanque, de acuerdo a la alimentación del primer tanque.

$$\frac{h_2(s)}{h_1(s)} \cdot \frac{h_1(s)}{q_0(s)} = \frac{h_2(s)}{q_0(s)}$$

$$\frac{h_2(s)}{q_0(s)} = \frac{K_1}{s + (K_1 + K_3)} \cdot \frac{S + (K_1 + K_3) K_2}{(S + K_1)(s + (K_1 + K_3)) - K_1^2}$$

$$0 = S^2 + S(K_1 + K_3) + SK_1 + (K_1^2 + K_1 + K_3) - K_1^2$$

$$\frac{K_1 K_2}{S^2 + S(2K_1 + K_3) + K_1 K_3} \Rightarrow \frac{h_2(s)}{q_0(s)} \quad (9)$$

La ecuación 9, expresa una función de transferencia de segundo orden, a partir de su desarrollo es muy simple ver que se forma con dos funciones de transferencia de primer orden en serie.

## 2.2. Diseño del tanque

Tabla 1. Valor de los parámetros

Parámetros	Valor	Unidades
Caudal	Q	2 $m^3/s$
Área de la base	A	10 m
Área de interconexión	As	1 m
Gravedad	g	9.8 m/s <sup>2</sup>

Este diseño se realizó bajo las siguientes especificaciones.

Para poder lograr realizar las respectivas simulaciones, se debió encontrar las condiciones de equilibrio del sistema, haciendo que sus ecuaciones no linealizadas; las derivadas sean igualadas a cero y el caudal como q.

De esta manera se tiene:

$$h_1 = 2h_2 \quad h_2 = \left(\frac{q}{kv}\right)^2 \quad h_1 = 2\left(\frac{q}{kv}\right)^2$$

## 3. Utilización de simuladores para modelamiento de sistemas

Mediante los simuladores que se usarán, como Matlab, Scilab y Modelica, se ingresaran los datos o parámetros que serán cargados en el modelo, adicionalmente se establecerán los sucesos y requerimientos de simulación y así mismo, mediante esta interface se obtendrán los resultados de los modelos, consiguiendo como ventaja modificarlo si se necesitase mejores resultados.

### 3.1 Matlab.

El nombre Matlab es un acrónimo de: "MATrix LABoratory" (Laboratorio de Matrices), ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio, es un software creado para cálculos numéricos complejos y visualización de datos, su elemento básico de trabajo son las matrices;

ya que éstas son muy eficientes en la descripción y representación de funciones lineales, con gran aporte en aplicaciones en la ingeniería, como la simulación de modelos matemáticos.

### 3.1.1. Programación del sistema con entrada escalón unitario

```

clc,clear
%NUMERADORES DE LA FUNCION DE
TRANSFERENCIA
A=[0.1 0.0981];
C=[0.0491];
%DENOMINADOR DE LA FUNCION DE TRNFERENCIA
B=[1 1.472 0.241];
% TIEMPO DE SIMULACION
t=[0:0.01:50];
%EVALUACION DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA
%A LA ENTRADA ESCALON
y=step(A,B,t);
z=step(C,B,t);
%GRAFICA Y TITULOS
subplot(211),plot(t,y);
xlabel('Tiempo');ylabel('altura');
title('Respuesta a un escalon unitario');
subplot(212),plot(t,z);
xlabel('Tiempo');ylabel('altura');
xtitle('Tiempo');
grid;

```

Figura 3. Código Matlab entrada escalón

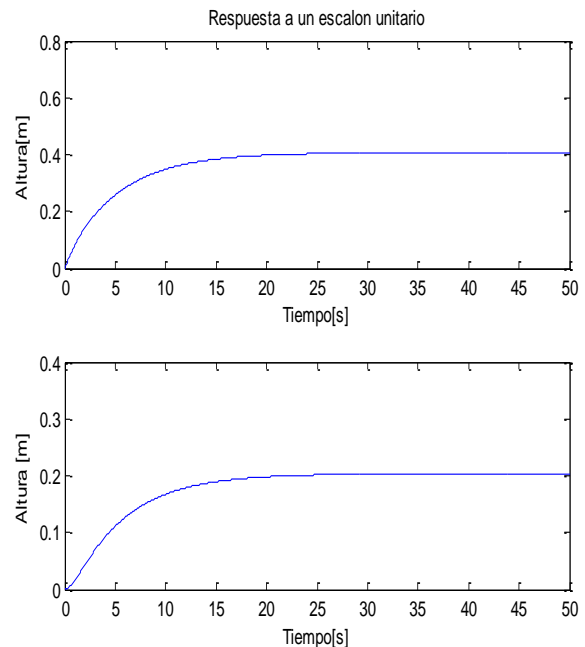


Figura 4. Respuesta del código a) tanque uno b) tanque dos.

### 3.1.2. Simulink del sistema entrada escalón

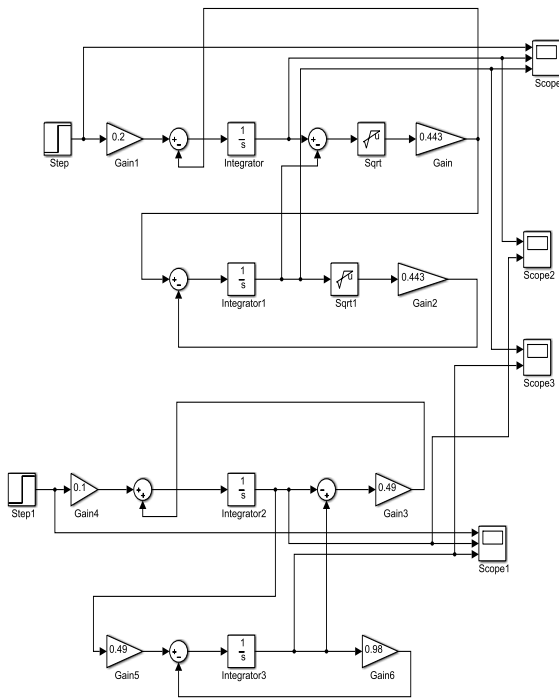


Figura 5. Representación en Simulink, sistema lineal y no lineal

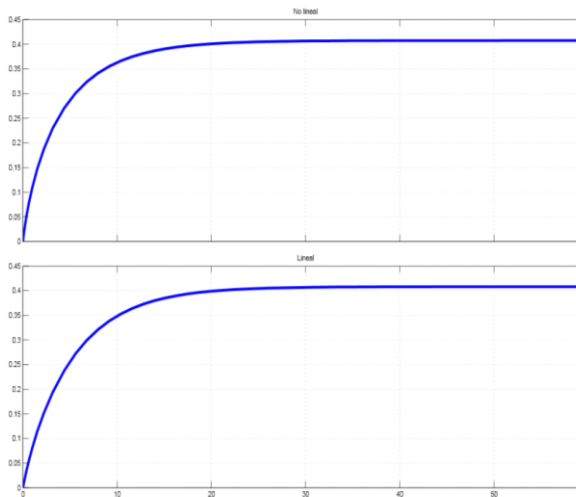


Figura 6. Respuesta de Simulink tanque uno

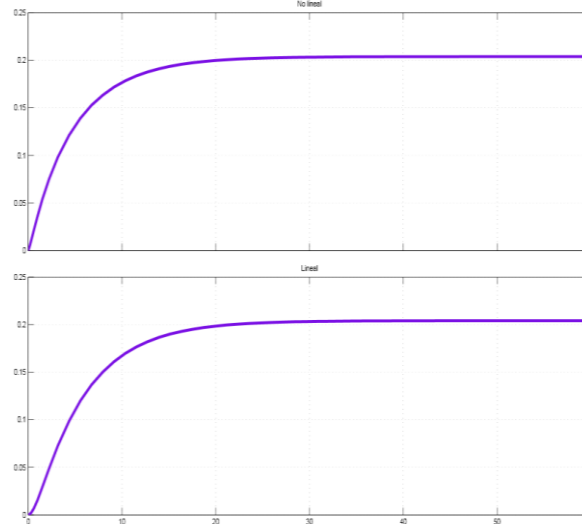


Figura 7. Respuesta de simulink tanque dos

### 3.2 Scilab.

Es un programa desarrollado por INRIA, Institut National de Recherche en Informatique et Automatique, instituto francés de investigación, y ENPC, Ecole Nationale de Ponts et Chaussées, una escuela de ingenieros. Está compuesto en tres partes, un intérprete, librerías de funciones y librerías con rutinas en Fortran y C, es un software de libre uso, por lo que se puede tener acceso a su código fuente y el usuario puede mejorarlo o adaptarlo a sus necesidades

#### 3.2.1. Programación del sistema con entrada escalón unitario

```
s=poly(0,'s'); //definición de polinomios con el símbolo "s".
t=0:0.01:30; //vector de tiempos para la simulación
gp=(0.1*s+0.0981)/(s^2+1.472*s+0.241); //Escritura de la
función de transferencia del Sistema
gp1=0.0491/(s^2+1.472*s+0.241); //Escritura de la
función de transferencia del Sistema
sist=syslin('c',gp); // se define el primer sistema lineal
sist1=syslin('c',gp1); //se establece el segundo sistema
lineal
yp=csim('step',t,sist); //simula el tiempo de respuesta de
sist
yp1=csim('step',t,sist1); //simula el tiempo de respuesta de
sist1
plot(t,yp); //Gráfico de la simulación
plot(t,yp1);
```

Figura 8. Código Scilab entrada escalón

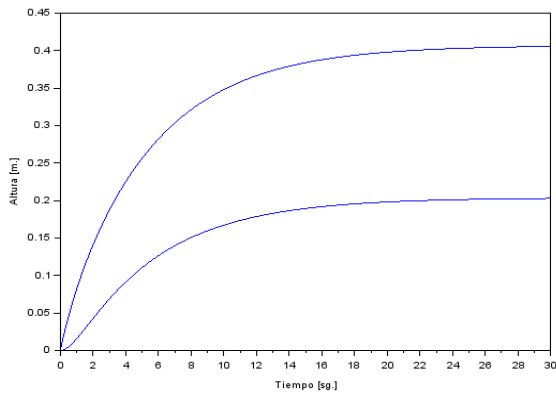


Figura 9. Respuesta del código entrada escalón

### 3.2.2. Xcos del sistema con entrada escalón

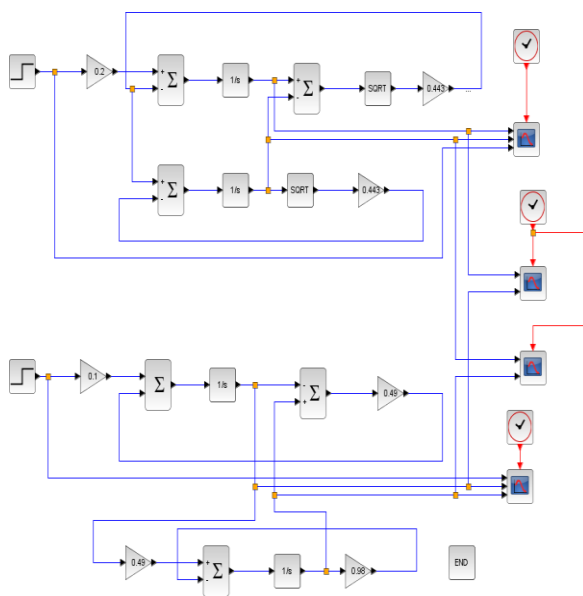


Figura 10. Representación Xcos sistema no lineal y lineal

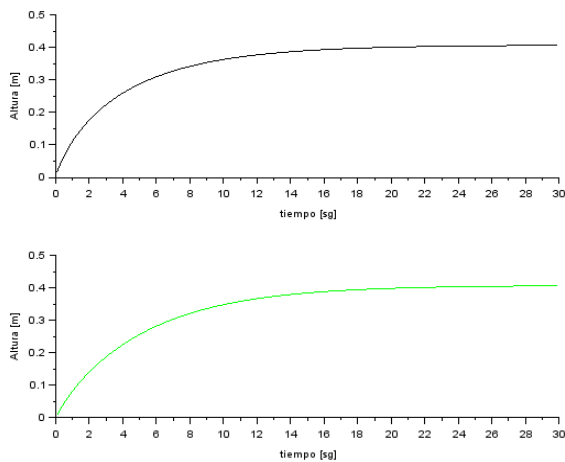


Figura 11. Respuesta tanque uno a) no lineal b) lineal

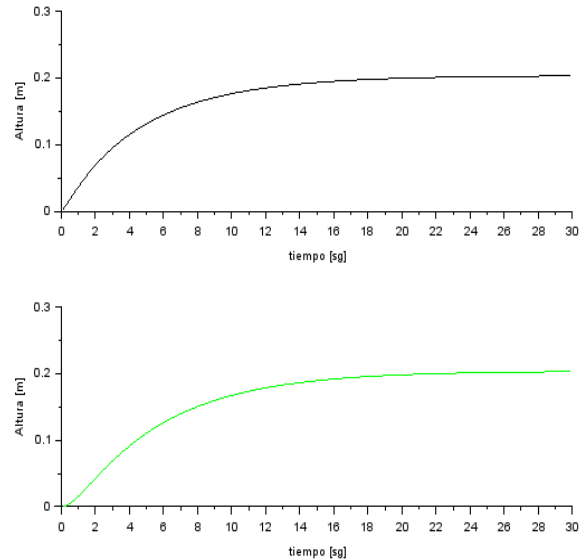


Figura 12. Respuesta tanque dos a) no lineal b) lineal

### 3.3. Modelica

Modelica; creado y desarrollado en Suecia por la universidad de Linköping, es un software de código abierto, basado en programación orientada a objetos, que permite combinar sistemas de diferente dominio (eléctrico, mecánico entre otros) y a su vez modelar. Los procesos obtenidos mediante ecuaciones algebraicas, diferenciales y discretas son aquellas que se pueden simular.

Todos los programas hechos para simular necesitan de un compilador, Modelica posee tres compiladores: Dymola, Mathmodelica y OpenModelica.

Openmodelica es de gran ayuda para sistemas dinámicos en la ingeniería, en la ayuda de simulaciones para ecuaciones complejas, siendo un software libre.

#### 3.3.1. Programación del sistema con entrada escalón unitario

```

model dos_tanques_nolineal_escalon_unitario
  Real x1(start = 0); //declaracion de variables
  Real x2(start = 0);
  equation
  der(x1) = (-0.443 * sqrt(x1 - x2)) + 0.2; //escritura de
  ecuaciones
  der(x2) = 0.443 * sqrt(x1 - x2) - 0.443 * sqrt(x2);
  annotation(Icon(coordinateSystem(extent = {{-100, -100},
  {100, 100}}, preserveAspectRatio = true, initialScale = 0.1,
  grid = {2, 2})), Diagram(coordinateSystem(extent = {{-100, -
  100}, {100, 100}}, preserveAspectRatio = true, initialScale =
  
```

Figura 13. Código Modelica del sistema no lineal ante entrada escalón

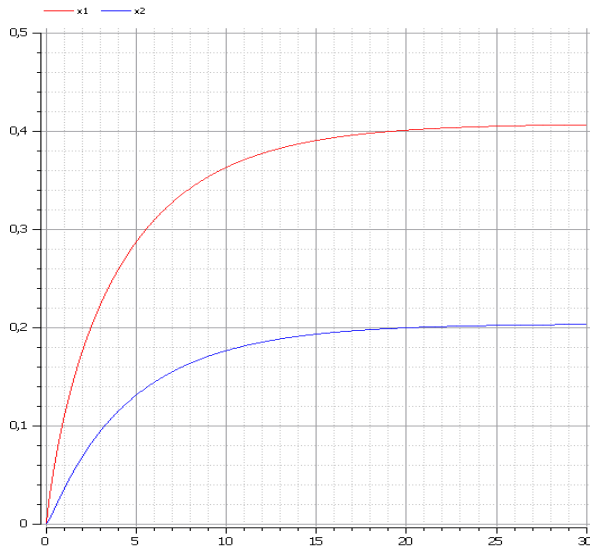


Figura 14. Respuesta del sistema no lineal

```

model dos_tanques_escalon_unitario
Real x1(start = 0); //declaracion de variables
Real x2(start = 0);
equation
der(x1) = (-0.49 * x1) - (-0.49 * x2) + 0.1; //escritura de
ecuaciones
der(x2) = 0.49 * x1 - 0.98 * x2;
annotation(Icon(coordinateSystem(extent = {{-100, -100},
{100, 100}}, preserveAspectRatio = true, initialScale = 0.1,
grid = {2, 2})), Diagram(coordinateSystem(extent = {{-100, -
100}, {100, 100}}, preserveAspectRatio = true, initialScale =
0.1, grid = {2, 2})));
end dos_tanques_escalon_unitario;
end dos_tanques_nolineal_escalon_unitario;

```

Figura 15. Código Modelica del sistema lineal ante entrada escalón

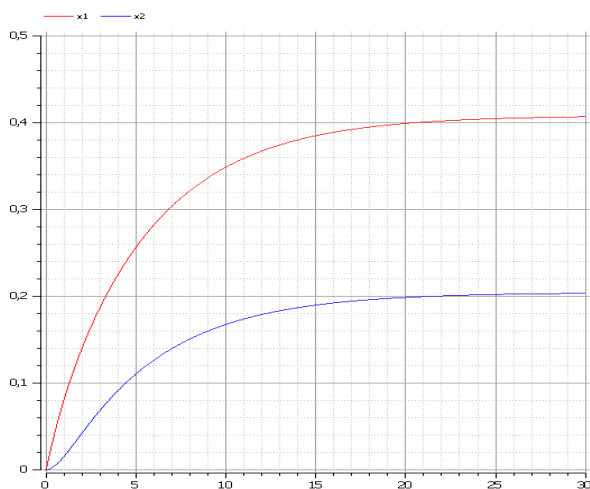


Figura 16. Respuesta del sistema lineal

### 3.3.2. OpenModelica del sistema.

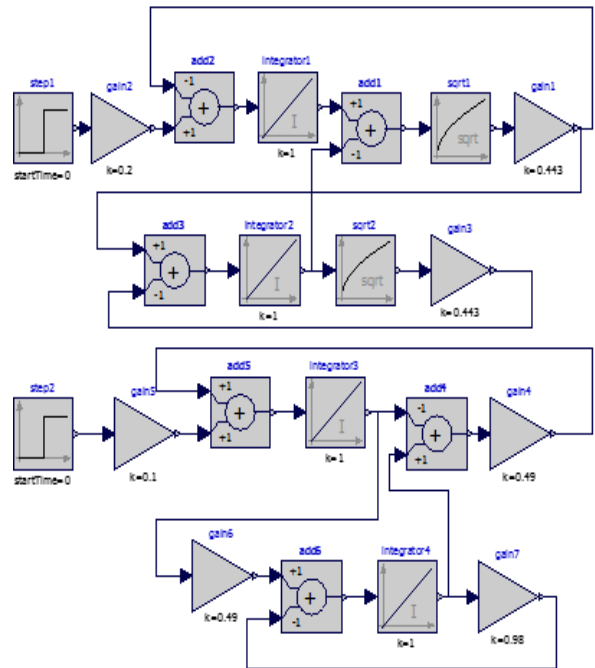


Figura 17. Representación OpenModelica no lineal y lineal

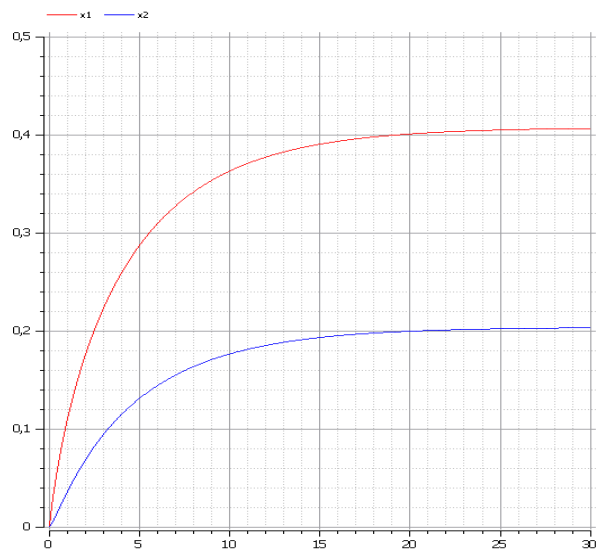


Figura 18. Respuesta sistema no lineal entrada escalón



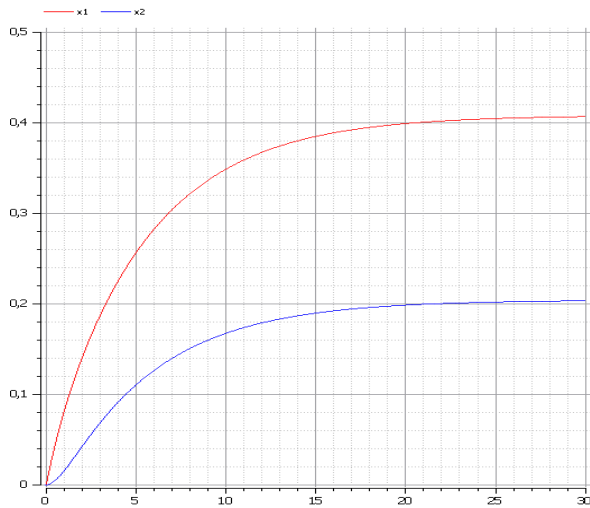


Figura 19. Respuesta del sistema lineal

#### 4. Resultados

Para realizar la comparación se asumirá que es un error, aunque no lo es, sino una diferencia.

Expresión para calcular el error entre datos de cada simulador.

$$error = \frac{|v_{defensor} - v_{retador}|}{v_{retador}} * 100\%$$

Tabla 2 Resultados comparativos de Matlab, Scilab, Modelica en el llenado de dos tanques (tanque uno-no lineal).

TIEMPO (Sg)	1	2	3	4	5
ALTURA (m) MATLAB	0.1099	0.1758	0.2232	0.2593	0.2874
ALTURA (m) SCILAB	0.1018	0.1702	0.2191	0.2561	0.2848
ALTURA (m) MODELIC A	0.1099	0.1758	0.2232	0.2593	0.2874

Tabla 3 Errores entre datos de simuladores, llenado de dos tanques (tanque uno-no lineal)

TIEMPO (Sg)	1	2	3	4	5
MATLAB VS SCILAB	7.96%	3.29%	1.87%	1.24%	0.91%
MATLAB VS MODELIC A	0%	0%	0%	0%	0%
SCILAB VS MODELIC A	7.96%	3.29%	1.14%	0.66%	0.36%

Tabla 4. Resultados comparativos de Matlab, Scilab, Modelica en el llenado de dos tanques (tanque dos-no lineal).

TIEMPO (Sg)	1	2	3	4	5
ALTURA (m) MATLAB	0.0361	0.06863	0.09442	0.1149	0.1312
ALTURA (m) SCILAB	0.0324	0.0657	0.0921	0.1130	0.1297
ALTURA (m) MODELICA	0.036	0.0686	0.0944	0.1149	0.1312

Tabla 5. Errores entre datos de simuladores, llenado de dos tanques (tanque dos-no lineal)

TIEMPO (Sg)	1	2	3	4	5
MATLAB VS SCILAB	11.2%	4.46%	2.52%	1.68%	1.15%
MATLAB VS MODELICA	0.08%	0.04%	0.02%	0%	0%
SCILAB VS MODELICA	10%	4.22%	2.43%	1.65%	1.14%

#### 5. Conclusiones

- Los sistemas de segundo orden, no siempre presentan las características que tienen los de su tipo, sino similares a los que tiene uno de orden inferior.

- El tiempo de respuesta en sistemas lineales es menor que en los no lineales, pero no siempre un sistema simulado puede garantizar que se asemeje a la realidad

- Como usuarios de los programas de simulación (Matlab, Scilab y Modelica), encontramos

aspectos de éstos, que nos permiten diferenciarlos notando sus puntos débiles y puntos a favor de uno sobre otro. Aspectos como: la funcionalidad básica, funciones avanzadas, otro de los aspectos que llamo nuestra atención es la fiabilidad, el rendimiento del programa en su ejecución donde no se encontró ningún inconveniente en ninguno de los tres.

- Se observó que aunque se realice un código con la misma finalidad para los tres simuladores, Modelica se distingue, si bien obtiene iguales valores numéricos que Matlab, la programación que ésta utiliza es más corta y sencilla.

## 6. Agradecimientos

En primer lugar gracias a Dios que nos brindó fortaleza y sabiduría para culminar nuestra carrera universitaria; en segundo lugar, a nuestros padres, que con su amor y sacrificio nos han formado como personas de bien.

Gracias a todas las personas que de una u otra manera formaron parte de esta etapa de nuestra vida.

## 7. Referencias

- [1] Ojea, G. (2007, 7 de marzo). , “Sistemas, señales y modelos,” en <http://isa.uniovi.es/docencia/adsii/Cap.I.pdf>
- [2] Brito-Vanilla, M. Alemán, I. Fraga, E. García, J. Arias de Tapia. (2011, Agosto) , “ Paper Role of mathematical modeling in the training of engineers,”. Recuperado en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59442011000200005&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59442011000200005&script=sci_arttext)
- [3] Duarte, O., “Análisis de sistemas dinámicos lineales,” Universidad Nacional de Colombia M. J. Willis and M. T. Tham, "Advanced Process Control," Newcastle University, 1994.in <http://lorien.ncl.ac.uk/ming/advcontrl/sect2.htm#b1>
- [4] R. Johansson, "System Modeling and Identification," in Information and System Sciences New Jersey: Prentice Hall, 1993.
- [5] Morón J., Señales y Sistemas, Universidad Rafael Urdaneta, 2011.
- [6] D. Laurí, Reducción de variables en la identificación de modelos lineales para Mpc, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, pg. 9-10, 2008
- [7] J. Isach, Sistemas lineales de primer orden, pg. 27. Recuperado de <http://galeón.com/mcoronado/MODELAMIENTO/02PORDT1.PDF> , 2007
- [8] Katsuhiko Ogata. Ingeniería de control moderna, Pearson Education, S.A. Madrid, pg. 112, 2003.
- [9] Furic. “Using Modelica under Scilab/Scicos”, <http://www.scicos.org/ScicosModelica/Formation/Documentation/Introduction%20to%20Modelica.pdf>