

***ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA  
HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN  
ENTORNOS INDUSTRIALES***

**SONIA I. PATERNINA JARAMILLO**

**DANNY ARCHBOLD PUENTE**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.**

**2007**

## **Artículo 107**

La Universidad Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad de los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

Cartagena D.T. y C, Septiembre de 2007

Cartagena D. T. Y C., Septiembre de 2007

Señores

**COMITÉ CURRICULAR**

Programa de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Universidad Tecnológica De Bolívar

La ciudad

Respetados señores:

Con toda atención me dirijo a ustedes con el fin de presentarles a su consideración, estudio y aprobación la monografía titulada **“ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES”** como requisito para optar al título de Ingeniera Electrónica.

Atentamente

---

**SONIA ISABEL PATERNINA JARAMILLO**  
c.c.: 32.936.223

Cartagena D. T. Y C., Septiembre de 2007

Señores

**COMITÉ CURRICULAR**

Programa de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Universidad Tecnológica De Bolívar

La ciudad

Respetados señores:

Con toda atención me dirijo a ustedes con el fin de presentarles a su consideración, estudio y aprobación la monografía titulada **“ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES”** como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista.

Atentamente

---

**DANNY ARCHBOLD PUENTE**  
c.c.:73.201.252

Cartagena D. T. Y C., Septiembre de 2007

Señores

**COMITÉ CURRICULAR**

Programa de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Universidad Tecnológica De Bolívar

La ciudad

Cordial saludo:

A través de la presente me permito entregar la monografía titulada “**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**” para su estudio y evaluación la cual fue realizada por los estudiantes SONIA ISABEL PATERNINA JARAMILLO y DANNY ARCHBOLD PUENTE, de la cual acepto ser su director.

Atentamente,

---

**ING. JOSE LUIS VILLA RAMIREZ**

**Ph.D Ingeniería y Control Automático**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo SONIA ISABEL PATERNINA JARAMILLO, identificada con la cedula de ciudadanía número 32.936.223 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi monografía y publicarla en el catalogo on-line de la biblioteca

---

**SONIA ISABEL PATERNINA JARAMILLO**  
**c.c.: 32.936.223**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo DANNY ARCHBOLD PUENTE, identificado con la cedula de ciudadanía número 73.201.252 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi monografía y publicarla en el catalogo on-line de la biblioteca

---

**DANNY ARCHBOLD PUENTE**  
**c.c.: 73.201.252**

***ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA  
HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN  
ENTORNOS INDUSTRIALES***

**SONIA I. PATERNINA JARAMILLO**

**DANNY ARCHBOLD PUENTE**

**Monografía presentada para optar al título de Ingeniero  
Electrónico y Electricista**

**DIRECTOR**

**PHD JOSÉ LUÍS VILLA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.**

**2007**

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>14</b>
<b>2. DETECCIÓN Y AISLAMIENTO DE FALLAS</b>	<b>16</b>
2.1. MÉTODOS BASADOS EN MODELO	19
2.1.1. METODO BASADO EN OBSERVADORES	20
<b>3. EXPERIMENTACIÓN EN SIMULACIÓN</b>	<b>25</b>
3.1. PROCESO	25
3.2. APLICACION DE LA METODOLOGIA	27
3.2.1. SIMULACION MATLAB	27
3.2.1.1. OBSTRUCCIÓN DEL ORIFICIO DE SALIDA DEL TANQUE 1	31
3.2.1.2. OBSTRUCCIÓN DEL ORIFICIO DE SALIDA DEL TANQUE 2	33
3.2.1.3. OBSTRUCCIÓN DEL ORIFICIO DE SALIDA DEL TANQUE 3	34
3.2.1.4. OBSTRUCCIÓN DEL ORIFICIO DE SALIDA DEL TANQUE 4	36
3.2.1.5. FALLA DE LA BOMBA 1	37
3.2.1.6. FALLA DE LA BOMBA 2	39
3.2.1.7. OBSTRUCCIÓN DE LA TUBERÍA QUE ALIMENTA EL TANQUE 3	40
3.2.1.8. OBSTRUCCIÓN DE LA TUBERÍA QUE ALIMENTA EL TANQUE 4	42
3.2.1.9. OBSTRUCCIÓN DE LA VÁLVULA DEL TANQUE 1	43
3.2.1.10. OBSTRUCCIÓN DE LA VALVULA D EL TANQUE 2	45
3.2.2. SIMULACION EN LABVIEW	46
3.2.3. RESULTADOS	51
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE  
FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

---

<b>5. REFERENCIAS</b>	<b>57</b>
<b>6. ANEXOS</b>	<b>59</b>
<b>6.1. ENLACE LABVIEW – MATLAB</b>	<b>59</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Un Sistema MDD .....	17
Figura 2. Técnicas de diseño de filtros de DDF .....	18
Figura 3. Esquema general de observadores .....	20
Figura 4. Esquema de observadores dedicados (DOS).....	22
Figura 5. Esquema de observadores generalizados (GOS) .....	22
Figura 6. Esquema de observadores excitados por salidas únicas .....	23
Figura 7. Esquema de observadores detallado .....	24
Figura 8. Diagrama Esquemático del Proceso Tanques Cuádruplo .....	25
Figura 9. Archivo tanques.m .....	28
Figura 10. Diagrama de bloques en Simulink del Proceso .....	29
Figura 11. Señales de salida del sistema Y1 y Y2.....	30
Figura 12. Diagrama de bloques en Simulink con falla1 .....	32
Figura 13. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla1 .....	32
Figura 14. Diagrama de bloques en Simulink con falla2 .....	33
Figura 15. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla2 .....	34
Figura 16. Diagrama de bloques en Simulink con falla3 .....	35
Figura 17. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla3 .....	35
Figura 18. Diagrama de bloques en Simulink con falla4 .....	36
Figura 19. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla4 .....	37
Figura 20. Diagrama de bloques en Simulink con falla5 .....	38
Figura 21. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla5 .....	38
Figura 22. Diagrama de bloques en Simulink con falla6 .....	39
Figura 23. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla7 .....	40
Figura 24. Diagrama de bloques en Simulink con falla7 .....	41
Figura 25. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla7 .....	41
Figura 26. Diagrama de bloques en Simulink con falla8 .....	42

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE  
FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

---

Figura 27. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla8 .....	43
Figura 28. Diagrama de bloques en Simulink con falla9 .....	44
Figura 29. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla9 .....	44
Figura 30. Diagrama de bloques en Simulink con falla10 .....	45
Figura 31. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla10 .....	46
Figura 32. Salidas afectadas por fallas .....	47
Figura 33. Diagrama de bloques programa en Labview .....	49
Figura 34. Panel frontal programa en Labview .....	50
Figura 35. Simulación de la Planta sin Fallas .....	52
Figura 36. Detección de la falla en la bomba 1 .....	53

## **1. INTRODUCCIÓN**

Todo sistema físico sin excepción está sujeto a cambios en sus parámetros, los cuales modifican el comportamiento para el cual fueron diseñados. Los cambios en los parámetros del sistema a zonas fuera de los límites de tolerancia especificados por el fabricante o de los límites establecidos de acuerdo a criterios de ingeniería, son considerados como fallas.

Estas modificaciones afectan en su mayor parte el buen funcionamiento del sistema provocando desde una reducción del desempeño hasta la posibilidad de accidentes más graves.

La rápida detección de la presencia de fallas en los sistemas puede ayudar a tomar acciones correctivas y de este modo reducir el daño potencial que esta falla puede ocasionar al sistema.

Los sistemas de detección de fallas son parte indispensable de una gran parte de los lazos de control actuales. Esto se puede constatar en la industria de la aviación, la industria automotriz, la industria de la energía eléctrica, entre otras. Además, conviene implementarlo en líneas de producción para reducir el riesgo de paro.

La motivación más grande para el desarrollo de los métodos de diagnóstico de fallas es la de evitar que ocurran accidentes que pongan en riesgo la vida de seres humanos. Otro punto motivador del tema es el de evitar pérdidas económicas.

En este trabajo tiene como objetivo general aplicar y evaluar un método de fallas a un prototipo en simulación en Labview. Para esto se realiza una breve introducción en el mundo del diagnóstico de fallas explicando de manera general los métodos

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE  
FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

---

mas usados, para una revisión mas a fondo ver [2]. Se escoge el método de detección y aislamiento de fallas a través de la generación de residuos por la técnica de los filtros observadores. Se ofrece además un ejemplo ilustrativo del método explicado, a través de la simulación de un sistema de tanques cuádruples, realizada en Labview y Matlab, programas que ofrecen las herramientas necesarias para el desarrollo e implementación de las simulaciones propuestas

En la sección 2 de este documento se realiza la revisión bibliográfica de los métodos de detección y aislamiento de fallas, haciendo énfasis en el método escogido para el desarrollo de esta monografía.

La sección 3 nos muestra la experimentación realizada a través de simulación, consta de tres partes principales: el modelamiento de las fallas realizado en Matlab (Sección 3.2.1), la elaboración del programa detector de fallas en Labview (Sección 3.2.2) y los resultados obtenidos con la ejecución y puesta en funcionamiento del programa (Sección 3.2.3).

## **2. DETECCIÓN Y AISLAMIENTO DE FALLAS**

La confiabilidad operacional de un sistema debe estar conformada por la correcta operación de los procesos, los sistemas de control asociados y la coordinación de los mismos; están soportados por sistemas de apoyo dentro de una estructura de automatización integral, donde la información y su intercambio se consideran relevantes, desde el punto de vista de confiabilidad, seguridad y productividad. En cualquiera de los niveles de la cadena de producción, la información debe ser manejada con miras a mantener altos índices de eficiencia y productividad operacional.

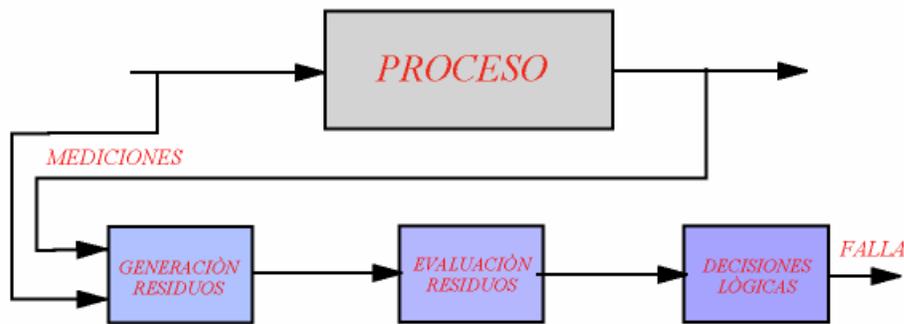
Los sistemas que permiten el reconocimiento y el aislamiento de eventos son un punto crítico para una operación confiable y segura, estos nos ofrecen una gran ventaja en la toma de decisiones cuando el desempeño del proceso productivo se ve afectado por la presencia de cualquier irregularidad en el sistema. Puesto que la confiabilidad está muy ligada al concepto de seguridad, es fundamental dotar a los procesos industriales de exigentes mecanismos de protección contra fallas, cuyos elementos básicos son los sistemas de Monitoreo, Diagnóstico y Detección, (MDD).

Los sistemas de MDD, mantienen una supervisión continua y constante del comportamiento del proceso en el tiempo para esto se vale de los indicadores y las variables medidas por los aparatos de detección y reportan cualquier comportamiento que se considere anómalo. Se caracterizan por su capacidad para responder ante situaciones inesperadas, de manera que su principal tarea es la del Diagnóstico y Detección de Fallas, (DDF).

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

---

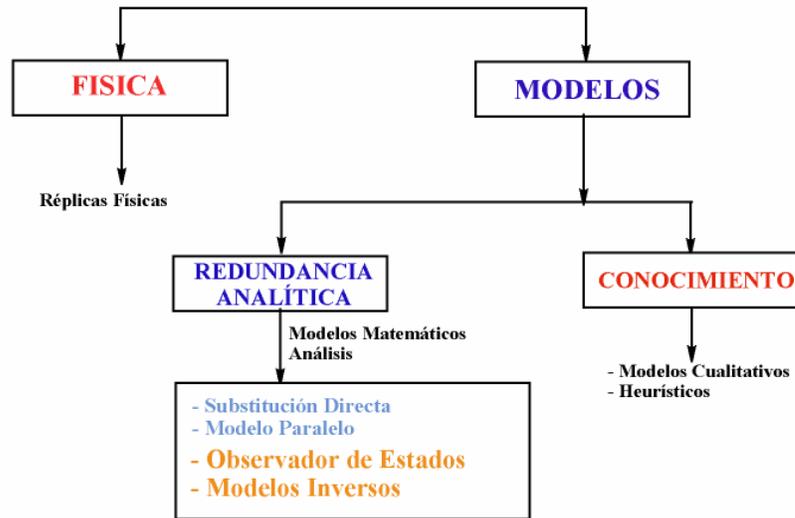
Un sistema de DDF, tal como se muestra en la Figura 1, utiliza las mediciones del proceso con el objeto de generar unos residuos, este paso consiste en la obtención de señales que contienen información sobre las fallas. En el caso ideal, los residuos son cero cuando no hay fallas y difieren de cero en la presencia de una falla. Con la información extraída de los residuos y mediante funciones de evaluación y lógicas de decisión, se proporciona la información sobre el tiempo en el que una falla ocurrió y sobre el elemento en el cual esta falla está actuando.



**Figura 1. Un Sistema DDF**

De esta manera, cualquier sistema que permita, a partir de las variables medidas de los procesos, generar los residuos y evaluarlos en forma objetiva, en relación a las tomas de decisiones orientadas en el reconocimiento de fallas, se denomina Filtro de Detección y de Diagnóstico de Fallas [7].

Desde el punto de vista de la generación de residuos por comparación, las técnicas de diseño de filtros de DDF se pueden clasificar en, (ver la Figura 2):



**Figura 2. Técnicas de diseño de filtros de DDF**

☞ Métodos de Redundancia Física: es el uso de réplicas físicas de los dispositivos y sistemas bajo estudio, estos nos permiten, por medio de comparaciones del funcionamiento, tomar decisiones sobre la presencia de fallas y sobre posibles acciones correctivas. Los métodos basados en redundancia física son muy confiables y permiten una rápida corrección de posibles fallas. Sin embargo, la utilización de elementos repetidos en un sistema no puede ser llevada a la práctica siempre. Estas técnicas tienen el inconveniente del tamaño o el peso de los dispositivos, pero sobre todo de los costos involucrados para su implementación y seguimiento, por esto el uso de este tipo de redundancia está limitado.

☞ Métodos Basados en Modelos: a partir de los cuales se producen valores estimados de las salidas de los procesos para la generación de los residuales, mediante su comparación con las salidas medidas. El principal inconveniente de estas técnicas es el de construir o disponer de modelos muy precisos. Estos métodos son explicados en la sección 2.1 de este trabajo

## **2.1. MÉTODOS BASADOS EN MODELO**

Estos métodos se pueden dividir en los que están basados en el modelo matemático y los que se basan en un modelo no obtenido a partir de las leyes de la física, sino a partir de procedimientos comúnmente utilizados en inteligencia artificial. Tres métodos destacan dentro de cada una de las dos grandes divisiones [4].

Los métodos basados en la utilización de modelos matemáticos utilizan expresiones (lineales o no lineales) para generar señales adicionales que se comparan con las señales medidas. La tarea principal de los métodos de detección de fallos basados en modelos analíticos es la generación de residuos. Los residuos representan cambios o discrepancias en el proceso y se obtienen comparando los datos medidos del proceso con los obtenidos del modelo. Los datos procedentes del modelo representan las condiciones normales de funcionamiento considerando que las entradas conocidas son las mismas que en el proceso real. Entre los procedimientos basados en el modelo analítico tenemos los filtros observadores (analizados en la sección 2.1.1), el espacio de paridad y las técnicas de estimación paramétrica.

La mayor dificultad de los métodos basados en modelos analíticos reside en el hecho que son necesarios modelos matemáticos completos y precisos del proceso supervisado. Para procesos complejos, la tarea de encontrar estos modelos puede llegar a ser muy difícil o imposible.

A diferencia de los métodos analíticos, los métodos basados en conocimiento utilizan herramientas de la Inteligencia Artificial ya sea en los modelos utilizados o en el procesado de las señales. Estos métodos son los más indicados cuando no es posible disponer de un modelo analítico completo y preciso del proceso supervisado. Entonces debe recurrirse a la representación del conocimiento

mediante otras técnicas. Entre estos métodos se encuentran los que utilizan redes neuronales, lógica difusa y otras técnicas de inteligencia artificial [8].

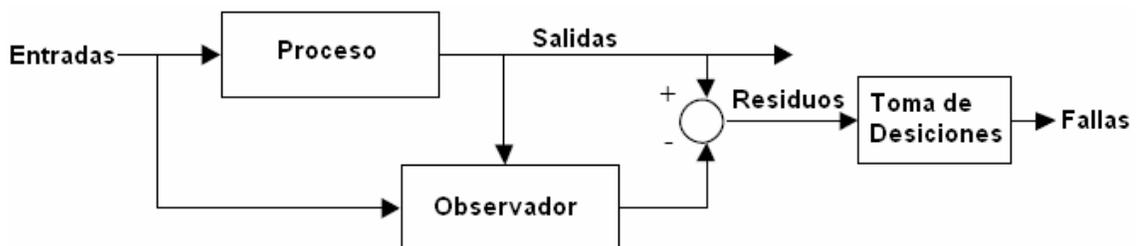
### 2.1.1. METODO BASADO EN OBSERVADORES

Este método se encuentra basado en la técnica de residuos que consta de dos partes:

- ☞ Generación de Residuos
- ☞ Proceso de decisión para identificar la causa

Un residuo es un escalar o vector cuyo valor es cero (o un valor muy pequeño) en un caso libre de falla y es diferente de cero cuando la falla ocurre.

La figura 3 muestra un esquema simple de un método basado en observadores. La falla es detectada estableciendo un umbral para cada señal residual y evaluándola con la señal(es) de salida del sistema [3].



**Figura 3. Esquema de observadores**

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE  
FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

---

Cualquier número de generadores de residuos pueden ser diseñados, cada uno con sensibilidad especial a cada una de las fallas posibles en los diferentes lugares del sistema, de esta manera se realiza el análisis a cada uno de los residuos, una vez superado el umbral establecido, lo que lleva a aislar la falla.

Un proceso cuyos parámetros son conocidos puede ser descrito mediante sus ecuaciones de estado de la siguiente manera:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}u(t) + \mathbf{F}v(t)$$

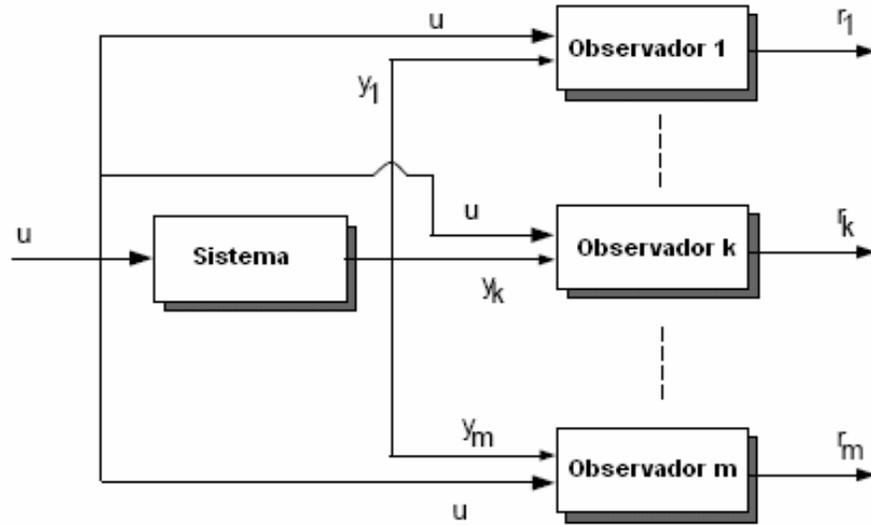
$$y(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{N}n(t)$$

Donde  $n(t)$  y  $v(t)$  son señales de distorsión

El modelamiento de fallas se realiza de manera multiplicativa, es decir se alteran los valores de las matrices de estado del proceso, eliminando términos de las ecuaciones del proceso que representen fallas en el mismo. Esto permite poder lograr la detección y aislamiento de fallas a través de los clásicos observadores.

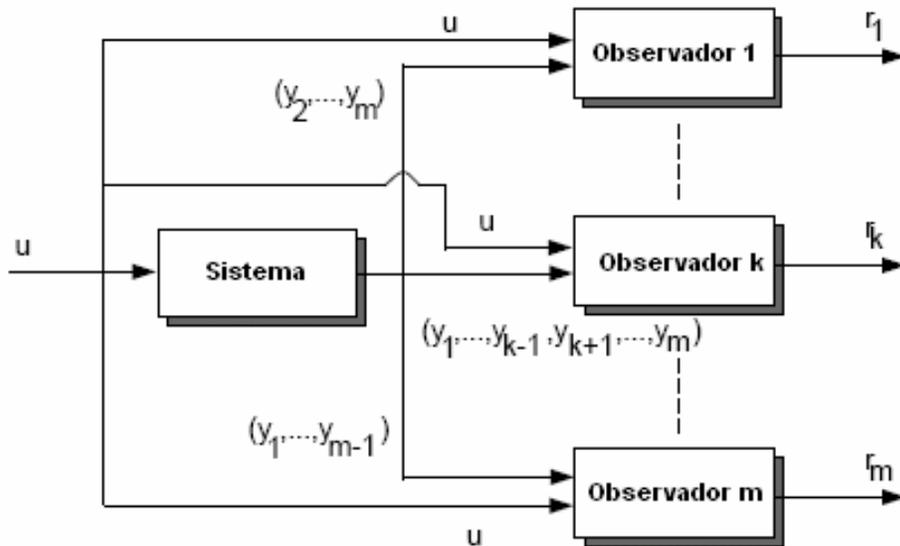
En el caso de los procesos multi-salidas los residuos pueden ser generados con unos arreglos especiales de bancos de observadores que pueden tener dos estructuras generales: El esquema de observadores dedicados (DOS) y el esquema de observadores generalizados (GOS).

En DOS solo una medida es ingresada en cada observador, de esta manera el  $i$ ésimo observador solo es sensible a la falla en el  $i$ ésimo sensor. El esquema DOS en mostrado en la figura 4.



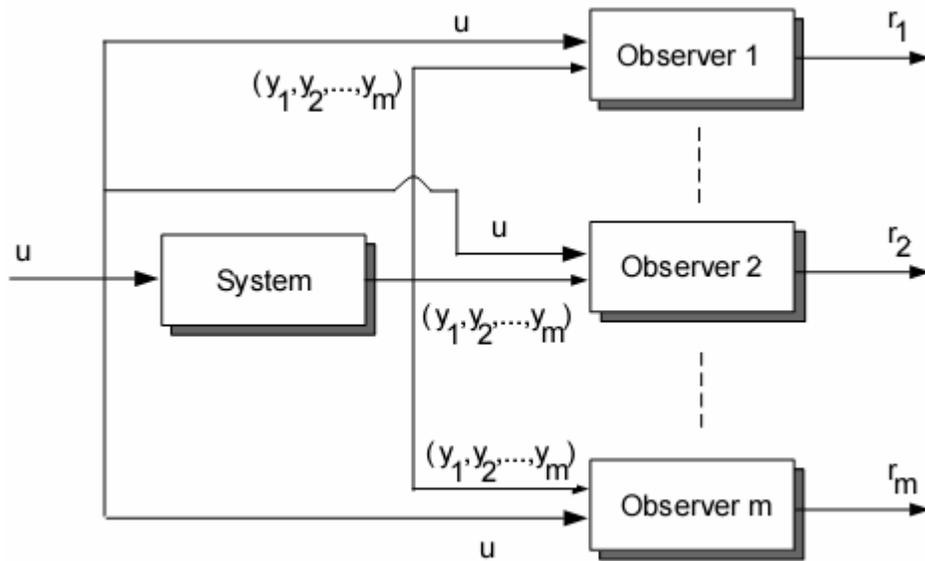
**Figura 4. Esquema de observadores dedicados (DOS)**

En un sistema con el esquema GOS cada observador es alimentado por todas las medidas menos por una, haciendo al  $i$ ésimo observador sensible a todas menos a la  $i$ ésima medida. El esquema GOS se muestra en la figura 5 [10].



**Figura 5. Esquema de observadores generalizados (GOS)**

El esquema de banco de observadores excitados por un grupo único de salidas es una variante de un esquema DOS. En este, varios observadores son alimentados con unas señales únicas de sensores. La salida estimada de cada uno de los observadores es comparada con las de salida del proceso [1].



**Figura 6. Esquema de observadores excitados por salidas únicas**

Este banco de observadores se realiza dedicando un observador para cada una de las fallas a detectar [11]. Conociendo todo el vector de condiciones iniciales el diseño de los observadores se realiza obteniendo los parámetros del proceso con cada una de las fallas por separado (Figura 7) quedando las ecuaciones de estado, para la  $i$ ésima falla, así:

$$\dot{x}(t) = \mathbf{A}_i'x(t) + \mathbf{B}_i'u(t)$$

$$y(t) = \mathbf{C}_i'x(t)$$

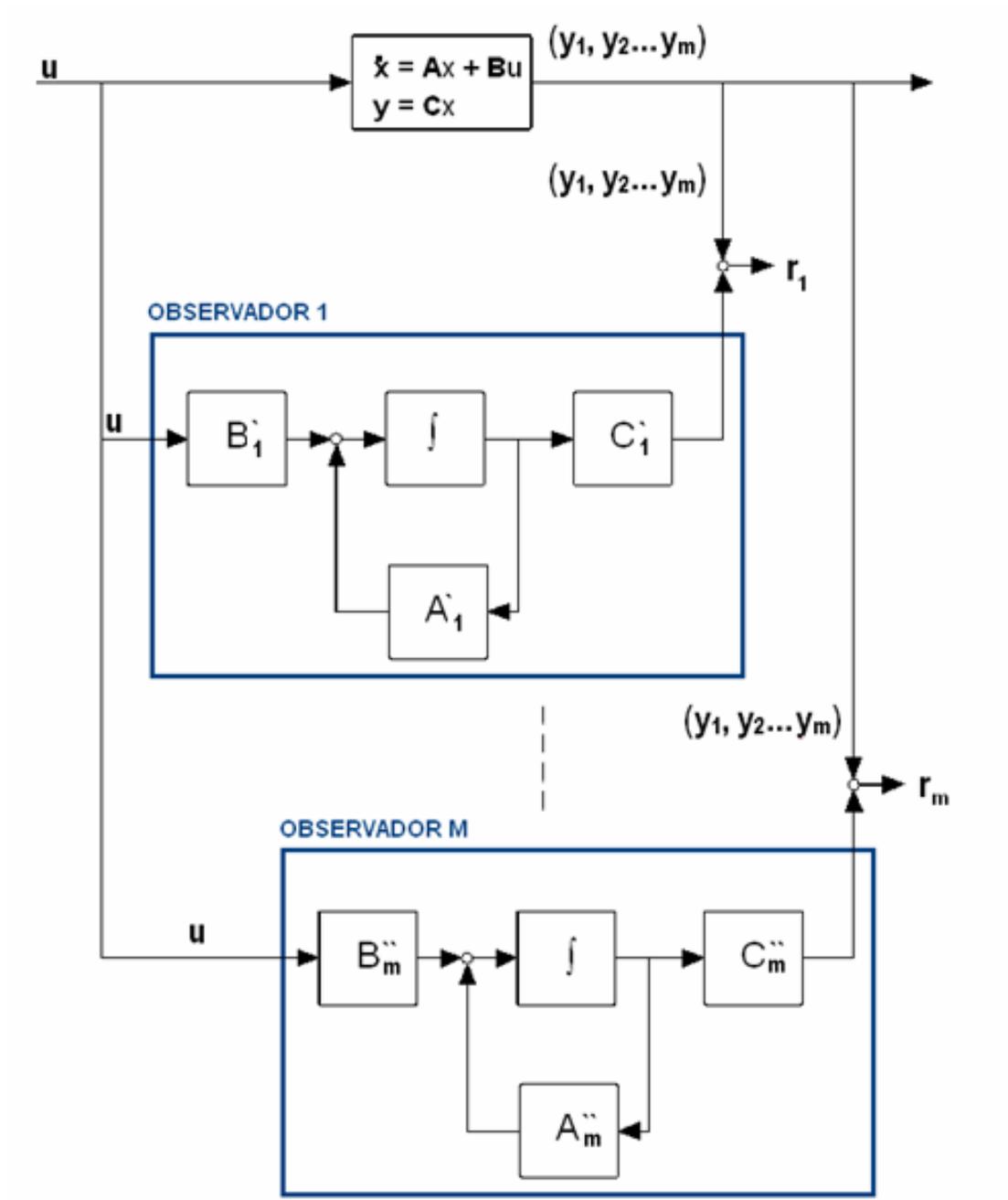


Figura 7. Esquema de observadores detallado

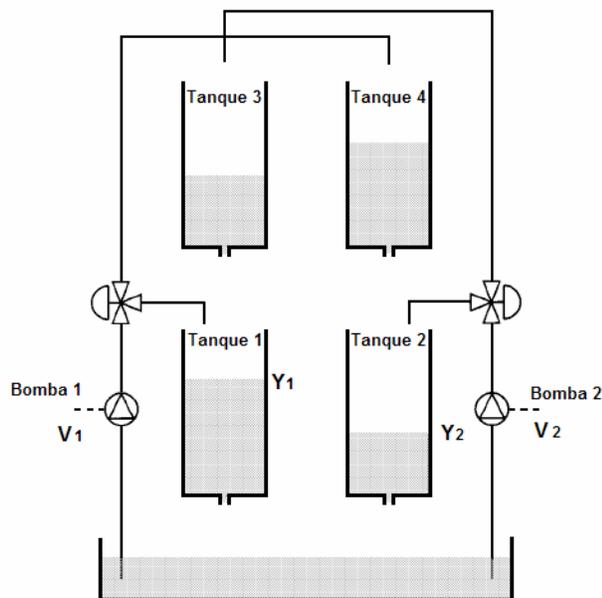
En la sección 3 de este documento se ilustra la aplicación de esta técnica de detección y aislamiento en un sistema de tanques interconectados.

### **3. EXPERIMENTACIÓN EN SIMULACIÓN**

En este capítulo se muestra la teoría expuesta en la sección 2 aplicada a un sistema de tanques, a el cual se le modelan 10 fallas y se simulan en Matlab. Se realiza en Labview un sistema basado en observadores para realizar la detección y aislamiento de fallas

#### **3.1. PROCESO**

El proceso escogido es llamado tanques cuádruples, esta basado en una publicación de Karl Henrik Johansson [9], consiste en cuatro tanques de agua interconectados y dos bombas, en la figura 8 se muestra un diagrama esquemático del proceso. Las entradas del sistema son los voltajes de las dos bombas y las salidas son los niveles de agua de los dos tanques inferiores



**Figura 8. Diagrama Esquemático del Proceso Tanques Cuádruplo**

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE  
FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

---

El objetivo de este proceso es controlar el nivel en los dos tanques inferiores con las dos bombas. Las ecuaciones que rigen este sistema son las siguientes:

$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3} + \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} v_1$$

$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A_2} \sqrt{2gh_2} + \frac{a_4}{A_2} \sqrt{2gh_4} + \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} v_2$$

$$\frac{dh_3}{dt} = -\frac{a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3} + \frac{(1-\gamma_2)k_2}{A_3} v_2$$

$$\frac{dh_4}{dt} = -\frac{a_4}{A_4} \sqrt{2gh_4} + \frac{(1-\gamma_1)k_1}{A_4} v_1$$

Donde:

$g$  es la aceleración de la gravedad

$A_1, A_2, A_3$  y  $A_4$  son las secciones transversales de cada uno de los tanques.

$a_1, a_2, a_3$  y  $a_4$  son las secciones transversales de los orificios de salida de cada tanque.

$h_1, h_2, h_3$  y  $h_4$  son los niveles de agua de cada tanque.

$V_1$  y  $V_2$  son los voltajes aplicados a la bomba 1 y 2 respectivamente y el flujo de agua es  $k_1 V_1$  y  $k_2 V_2$ . Los parámetros  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$  están determinados por el estado de las válvulas.

El flujo al tanque 1 es  $\gamma_1 k_1 V_1$  y el del tanque 4 es  $(1-\gamma_1) k_1 V_1$ , caso similar para los tanques 2 y 3.

La medida de la señal de nivel de los tanques 1 y 2 son  $k_{ch1}$  y  $k_{ch2}$ , donde  $k_c$  es la constante propia del sensor.

Como condiciones iniciales del proceso se usan las propuestas por K.H. Johansson [9], las cuales se encuentran en el archivo tanques.m (figura 9).

## **3.2. APLICACION DE LA METODOLOGIA**

### **3.2.1. SIMULACION MATLAB**

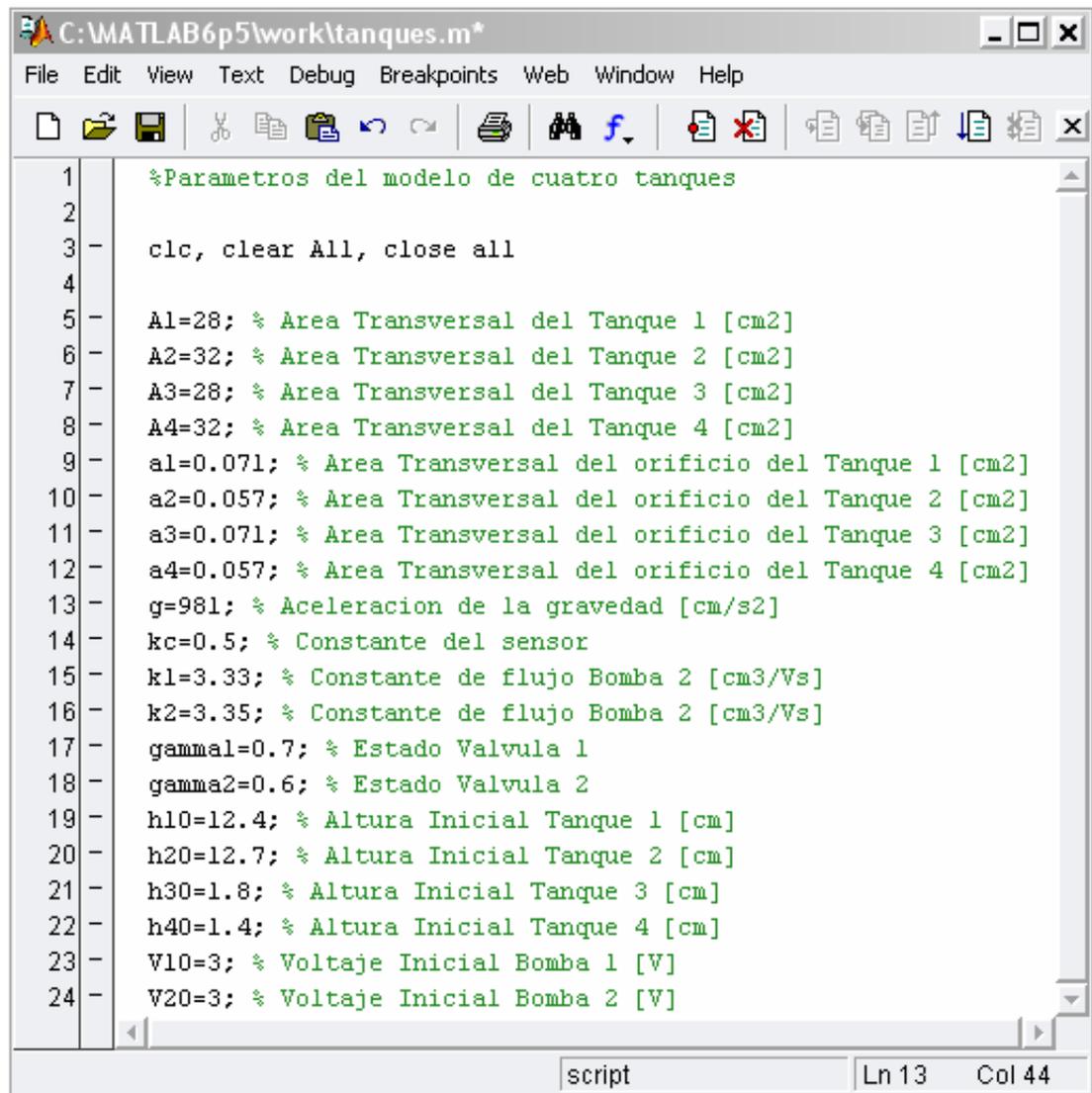
Para simular el proceso de tanques cuádruples se ha escogido como software de simulación a MatLab, el cual posee una herramienta llamada Simulink que permite el modelaje, análisis y simulación de una amplia variedad de sistemas físicos y matemáticos, inclusive aquellos con elementos no lineales y aquellos que hacen uso de tiempos continuos y discretos. Simulink puede simular cualquier sistema que pueda ser definido por ecuaciones diferenciales continuas. Esto significa que se puede modelar sistemas continuos en el tiempo [5].

Simulink usa diagramas de bloques para representar sistemas dinámicos mediante una interface gráfica que permite arrastrar los componentes desde una librería de bloques existentes y luego interconectarlos mediante conectores y alambre.

Primero establecemos los parámetros, constantes y condiciones iniciales del sistema corriendo el archivo de matlab (tanques.m) mostrado en la figura 9

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

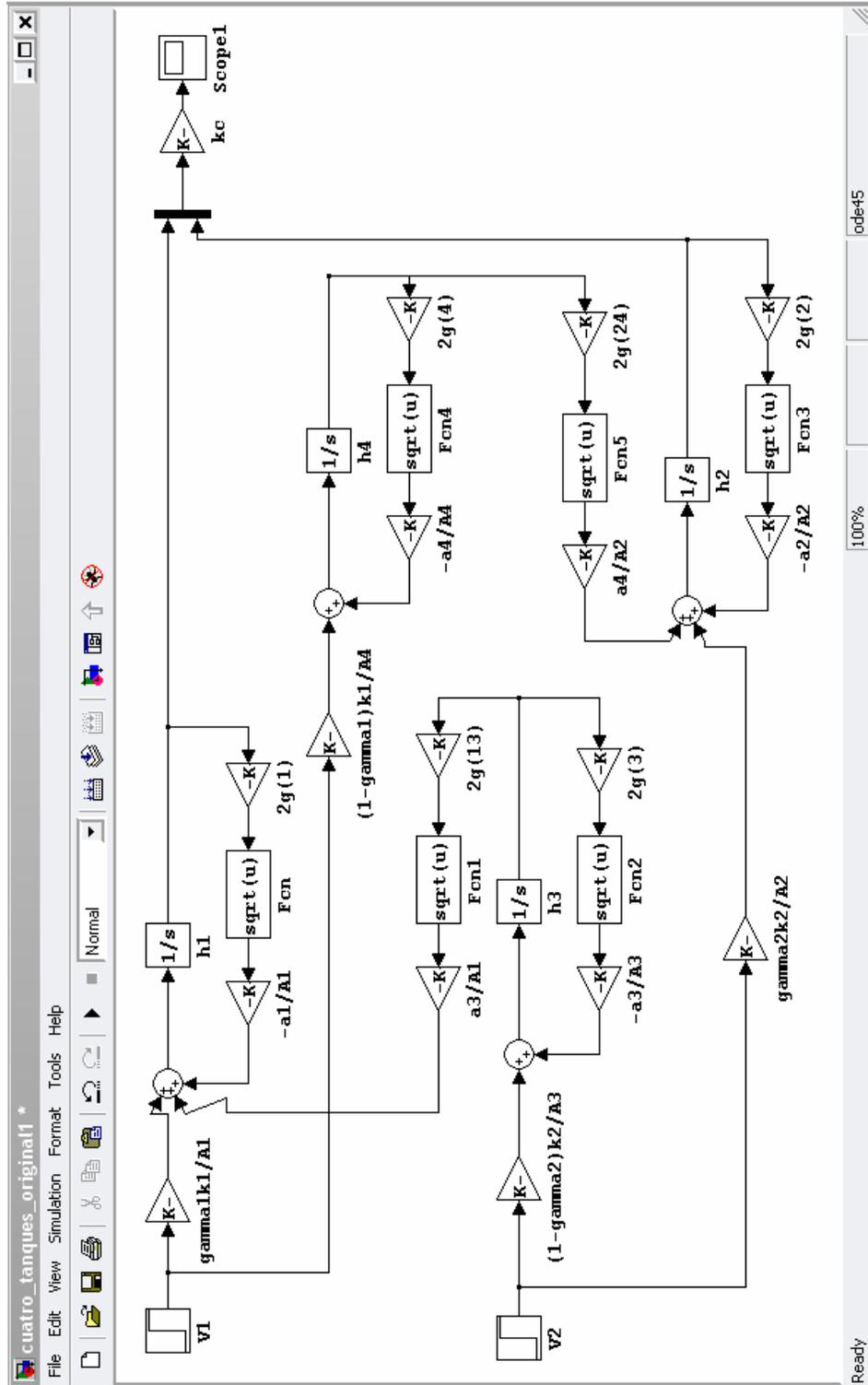
---



```
1 %Parametros del modelo de cuatro tanques
2
3 clc, clear All, close all
4
5 A1=28; % Area Transversal del Tanque 1 [cm2]
6 A2=32; % Area Transversal del Tanque 2 [cm2]
7 A3=28; % Area Transversal del Tanque 3 [cm2]
8 A4=32; % Area Transversal del Tanque 4 [cm2]
9 a1=0.071; % Area Transversal del orificio del Tanque 1 [cm2]
10 a2=0.057; % Area Transversal del orificio del Tanque 2 [cm2]
11 a3=0.071; % Area Transversal del orificio del Tanque 3 [cm2]
12 a4=0.057; % Area Transversal del orificio del Tanque 4 [cm2]
13 g=981; % Aceleracion de la gravedad [cm/s2]
14 kc=0.5; % Constante del sensor
15 k1=3.33; % Constante de flujo Bomba 2 [cm3/Vs]
16 k2=3.35; % Constante de flujo Bomba 2 [cm3/Vs]
17 gamma1=0.7; % Estado Valvula 1
18 gamma2=0.6; % Estado Valvula 2
19 h10=12.4; % Altura Inicial Tanque 1 [cm]
20 h20=12.7; % Altura Inicial Tanque 2 [cm]
21 h30=1.8; % Altura Inicial Tanque 3 [cm]
22 h40=1.4; % Altura Inicial Tanque 4 [cm]
23 V10=3; % Voltaje Inicial Bomba 1 [V]
24 V20=3; % Voltaje Inicial Bomba 2 [V]
```

**Figura 9. Archivo tanques.m**

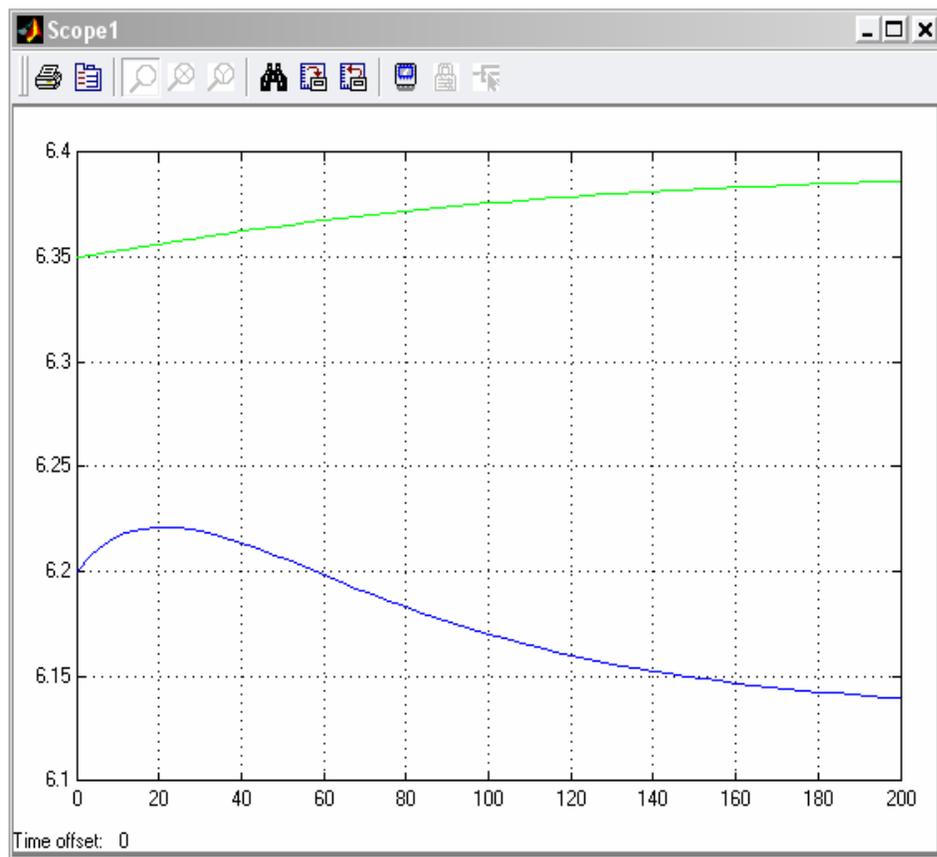
Una vez ejecutado el archivo tanques.m se cargan los valores usados por los bloques de simulink, se corre la simulación del diagrama de bloques del proceso de tanques cuádruples interconectados (ver figura 10) para obtener los valores de las señales de salida Y1(Línea azul) y Y2(Línea verde) las cuales nos muestran el nivel de los tanques 1 y 2 respectivamente (figura 11).



**Figura 10. Diagrama de bloques en Simulink del Proceso**

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

---



**Figura 11. Señales de salida del sistema Y1 y Y2**

De acuerdo a las características del sistema se enumeran las posibles fallas que serán consideradas en el desarrollo de este trabajo, para ser modeladas y simuladas.

Las fallas a considerar son las siguientes:

1. Obstrucción del orificio de salida del tanque 1
2. Obstrucción del orificio de salida del tanque 2
3. Obstrucción del orificio de salida del tanque 3
4. Obstrucción del orificio de salida del tanque 4

5. Falla de la bomba 1
6. Falla de la bomba 2
7. Obstrucción de la tubería que alimenta el tanque 3
8. Obstrucción de la tubería que alimenta el tanque 4
9. Obstrucción de la válvula que alimenta el tanque 1
10. Obstrucción de la válvula que alimenta el tanque 2

Cada una de estas fallas causa una alteración en las ecuaciones diferenciales del sistema.

A continuación detallaremos cada falla indicando la ecuación diferencial y su respectiva simulación

#### 3.2.1.1. OBSTRUCCIÓN DEL ORIFICIO DE SALIDA DEL TANQUE 1

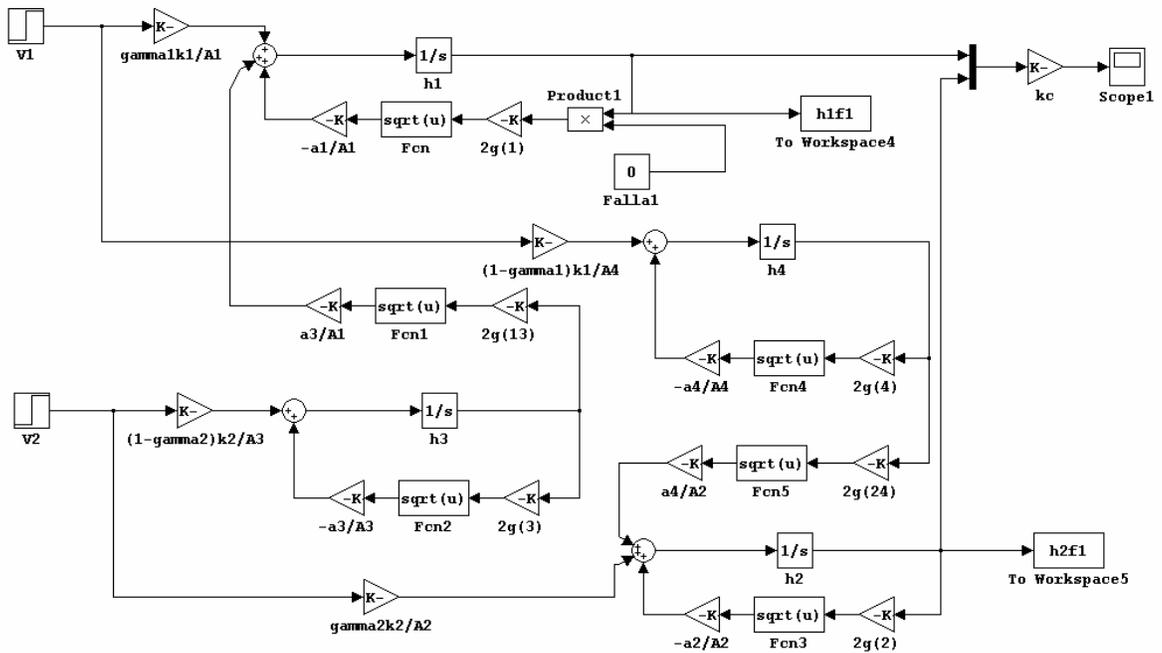
$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3} + \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} v_1$$

$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A_2} \sqrt{2gh_2} + \frac{a_4}{A_2} \sqrt{2gh_4} + \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} v_2$$

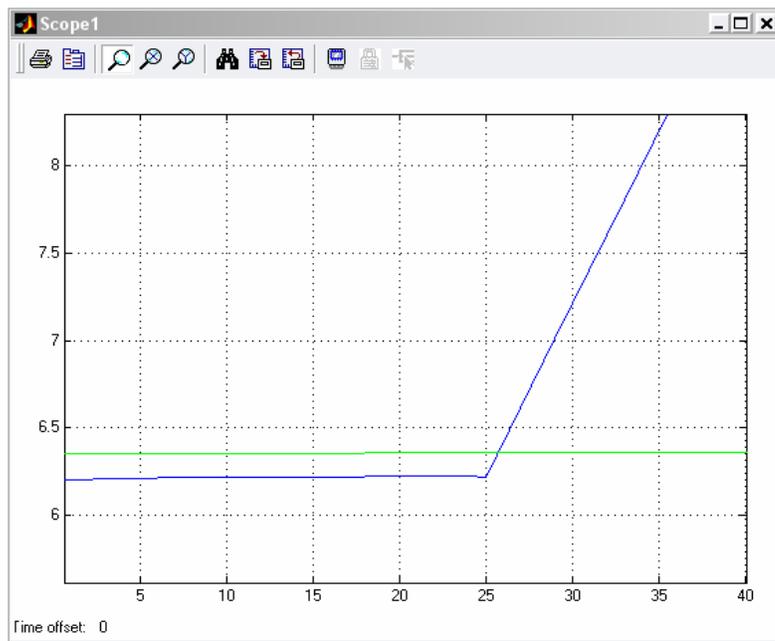
$$\frac{dh_3}{dt} = -\frac{a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3} + \frac{(1-\gamma_2)k_2}{A_3} v_2$$

$$\frac{dh_4}{dt} = -\frac{a_4}{A_4} \sqrt{2gh_4} + \frac{(1-\gamma_1)k_1}{A_4} v_1$$

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**



**Figura 12. Diagrama de bloques en Simulink con falla1**



**Figura 13. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla1**

3.2.1.2. OBSTRUCCIÓN DEL ORIFICIO DE SALIDA DEL TANQUE 2

$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3} + \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} v_1$$

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{a_4}{A_2} \sqrt{2gh_4} + \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} v_2$$

$$\frac{dh_3}{dt} = -\frac{a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3} + \frac{(1-\gamma_2) k_2}{A_3} v_2$$

$$\frac{dh_4}{dt} = -\frac{a_4}{A_4} \sqrt{2gh_4} + \frac{(1-\gamma_1) k_1}{A_4} v_1$$

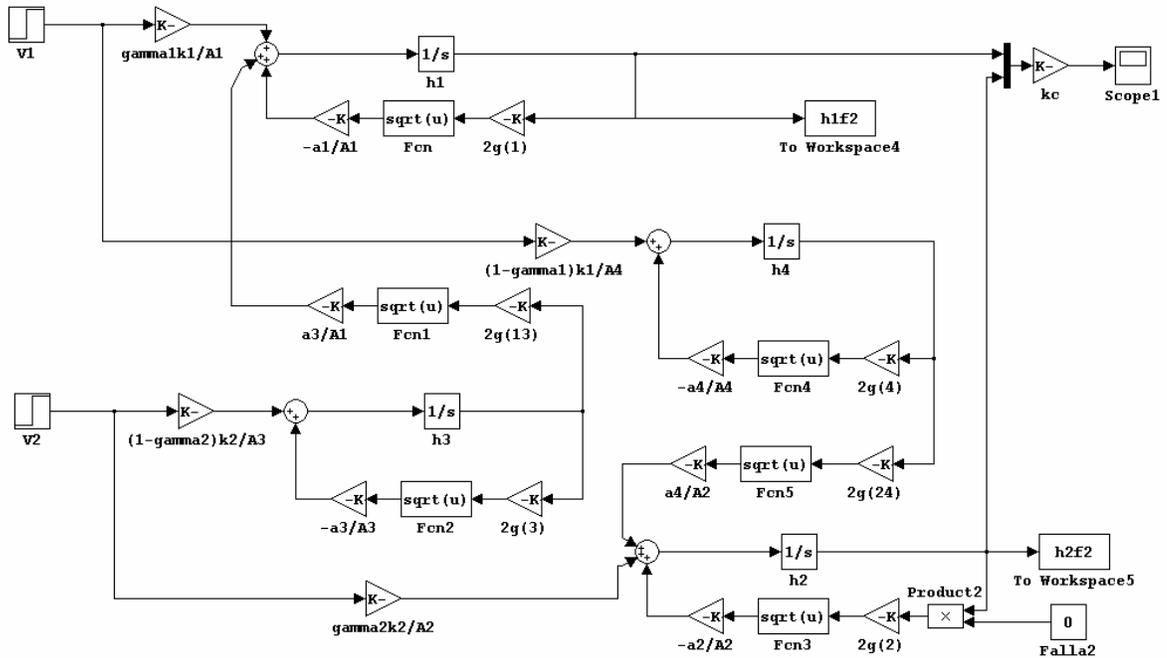
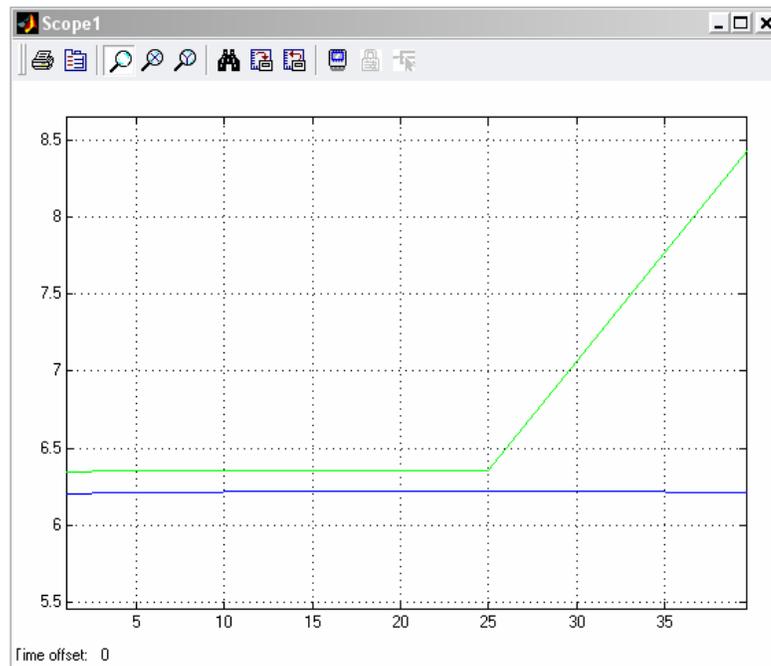


Figura 14. Diagrama de bloques en Simulink con falla2



**Figura 15. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla2**

### 3.2.1.3. OBSTRUCCIÓN DEL ORIFICIO DE SALIDA DEL TANQUE 3

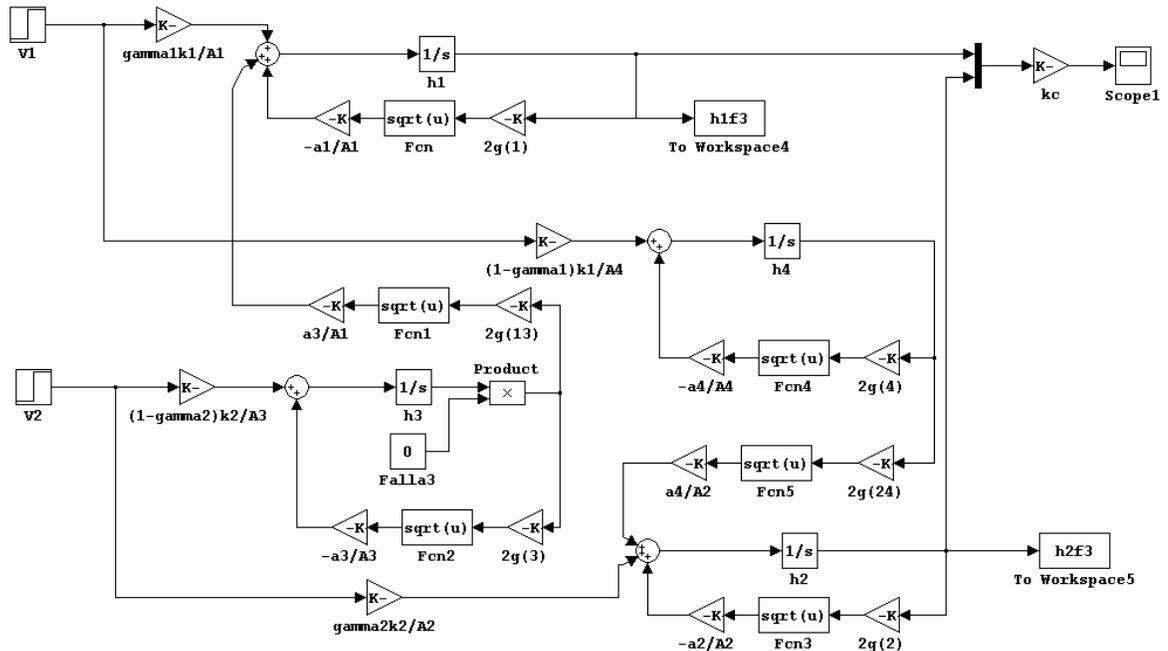
$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} v_1$$

$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A_2} \sqrt{2gh_2} + \frac{a_4}{A_2} \sqrt{2gh_4} + \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} v_2$$

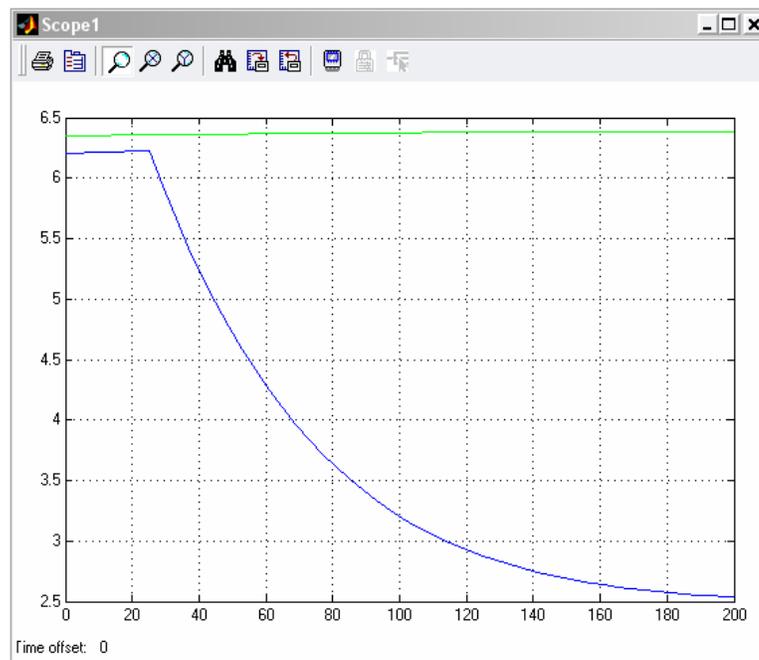
$$\frac{dh_3}{dt} = \frac{(1-\gamma_2) k_2}{A_3} v_2$$

$$\frac{dh_4}{dt} = -\frac{a_4}{A_4} \sqrt{2gh_4} + \frac{(1-\gamma_1) k_1}{A_4} v_1$$

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**



**Figura 16. Diagrama de bloques en Simulink con falla3**



**Figura 17. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla3**

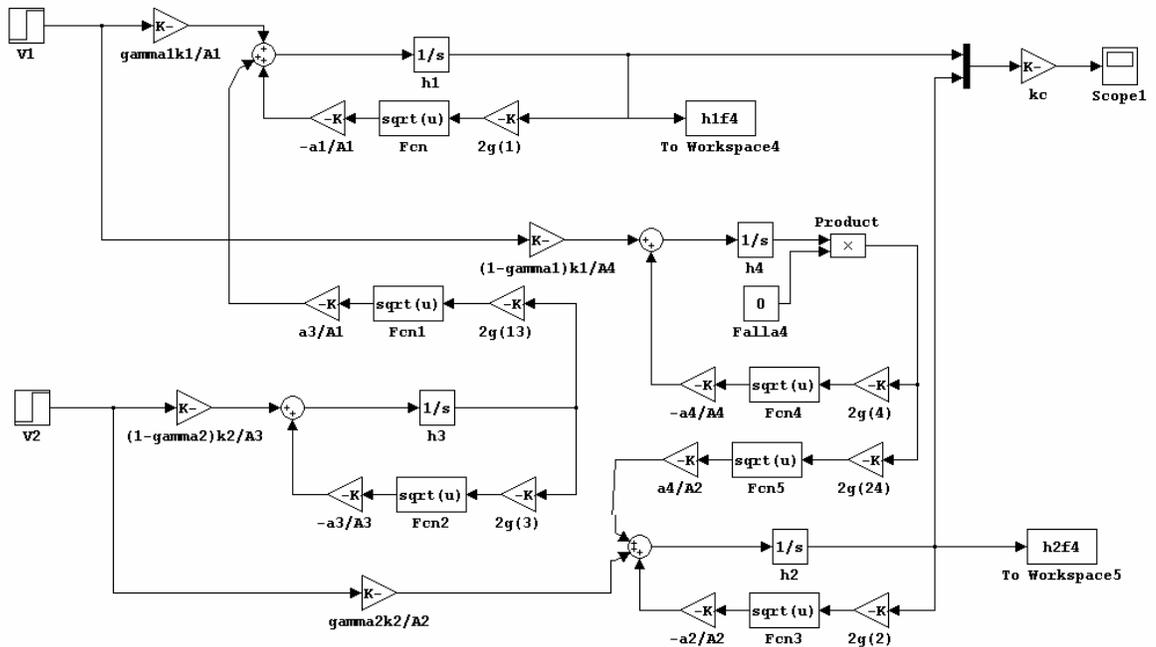
3.2.1.4. OBSTRUCCIÓN DEL ORIFICIO DE SALIDA DEL TANQUE 4

$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3} + \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} v_1$$

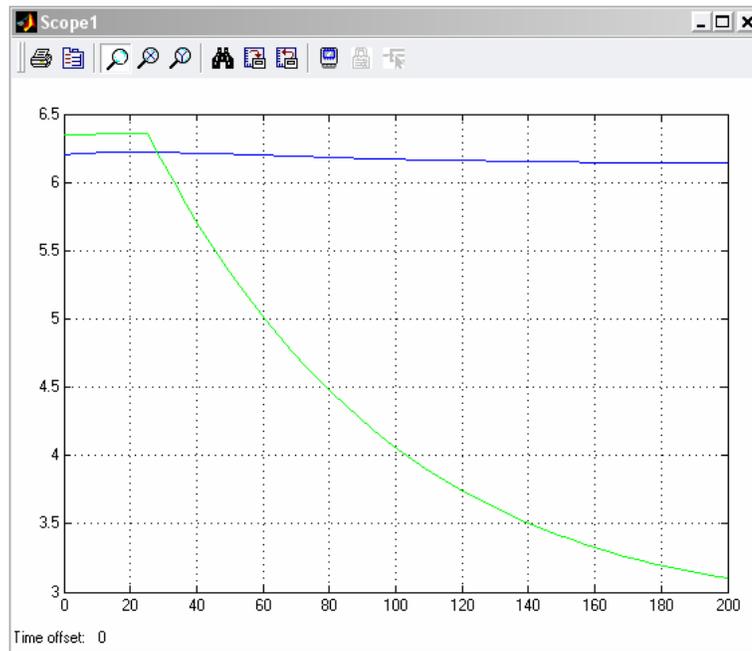
$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A_2} \sqrt{2gh_2} + \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} v_2$$

$$\frac{dh_3}{dt} = -\frac{a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3} + \frac{(1-\gamma_2)k_2}{A_3} v_2$$

$$\frac{dh_4}{dt} = \frac{(1-\gamma_1)k_1}{A_4} v_1$$



**Figura 18. Diagrama de bloques en Simulink con falla4**



**Figura 19. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla4**

### 3.2.1.5. FALLA DE LA BOMBA 1

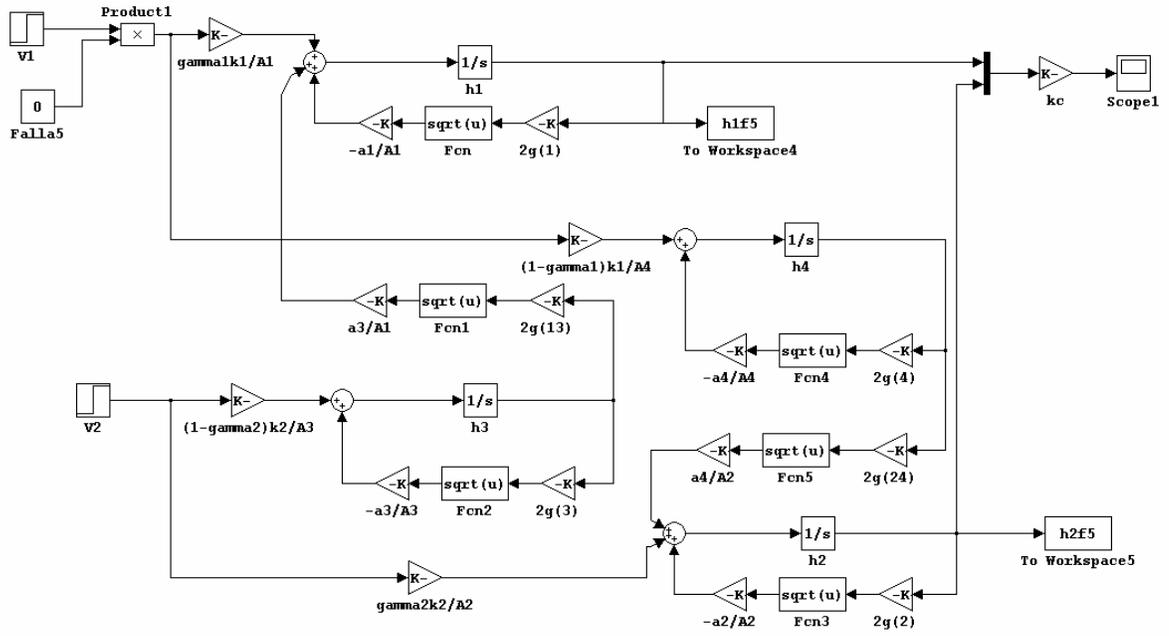
$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3}$$

$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A_2} \sqrt{2gh_2} + \frac{a_4}{A_2} \sqrt{2gh_4} + \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} v_2$$

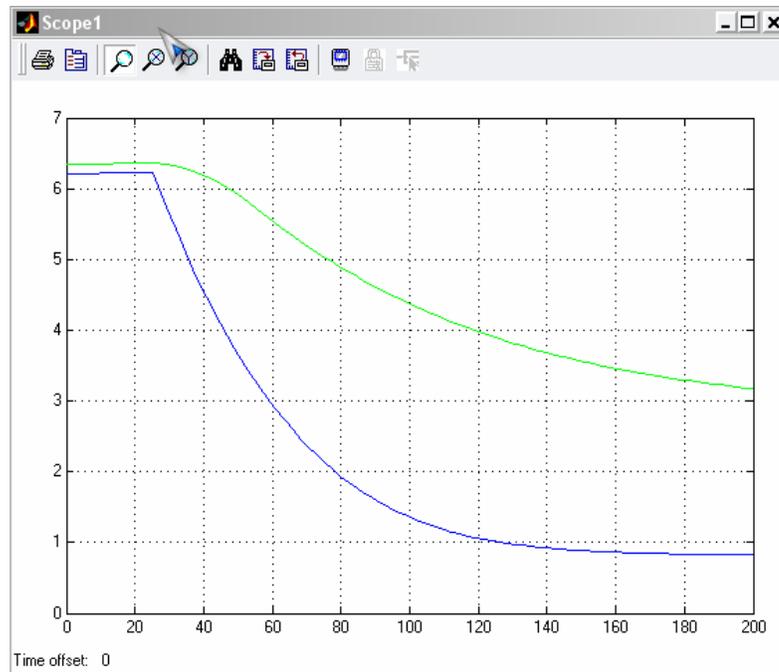
$$\frac{dh_3}{dt} = -\frac{a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3} + \frac{(1-\gamma_2) k_2}{A_3} v_2$$

$$\frac{dh_4}{dt} = -\frac{a_4}{A_4} \sqrt{2gh_4}$$

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**



**Figura 20. Diagrama de bloques en Simulink con falla5**



**Figura 21. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla5**

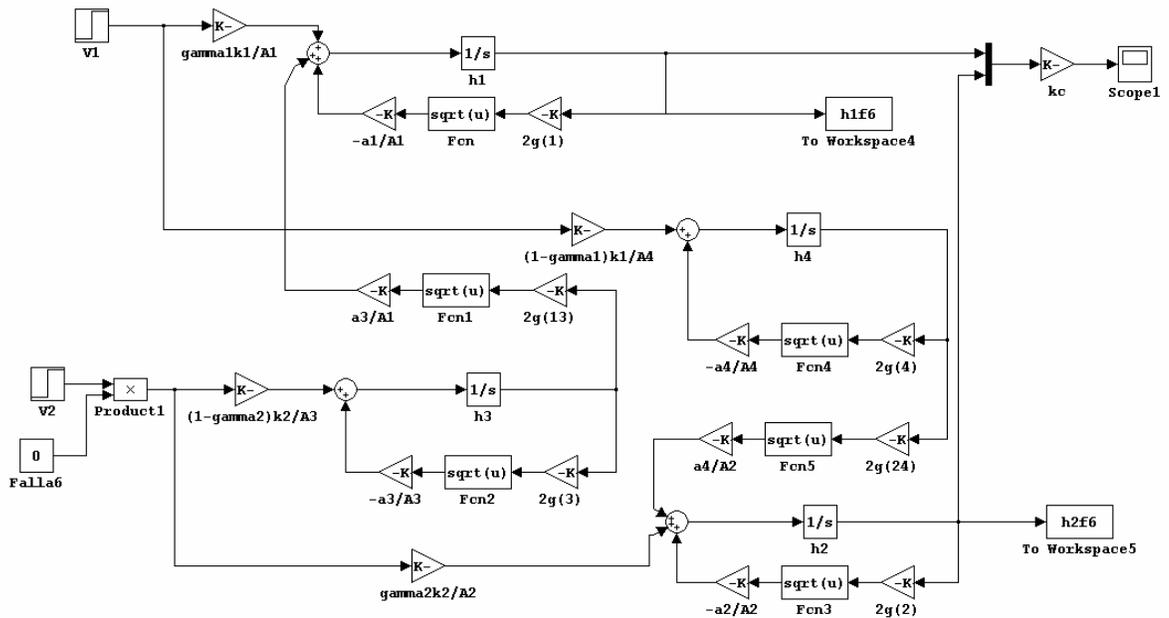
3.2.1.6. FALLA DE LA BOMBA 2

$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3} + \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} v_1$$

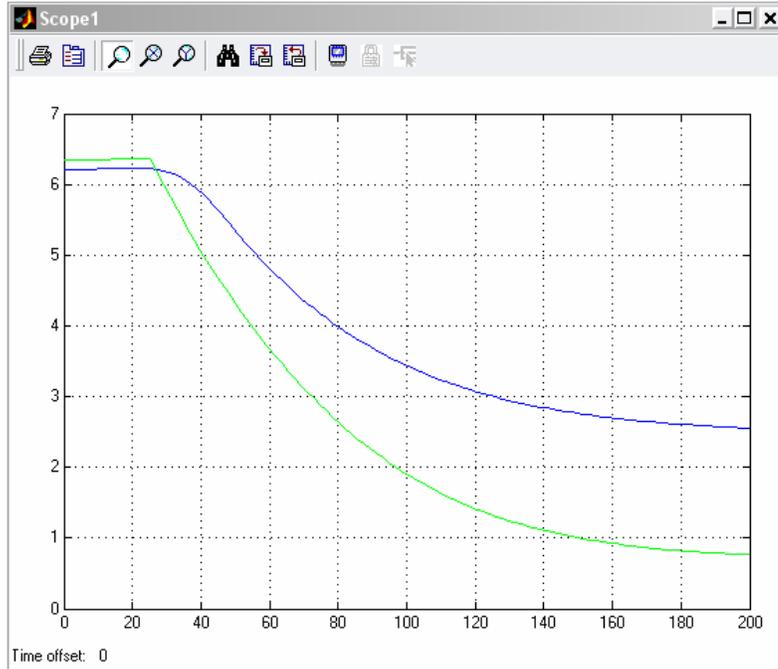
$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A_2} \sqrt{2gh_2} + \frac{a_4}{A_2} \sqrt{2gh_4}$$

$$\frac{dh_3}{dt} = -\frac{a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3}$$

$$\frac{dh_4}{dt} = -\frac{a_4}{A_4} \sqrt{2gh_4} + \frac{(1-\gamma_1)k_1}{A_4} v_1$$



**Figura 22. Diagrama de bloques en Simulink con falla6**



**Figura 23. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla6**

### 3.2.1.7. OBSTRUCCIÓN DE LA TUBERÍA QUE ALIMENTA EL TANQUE 3

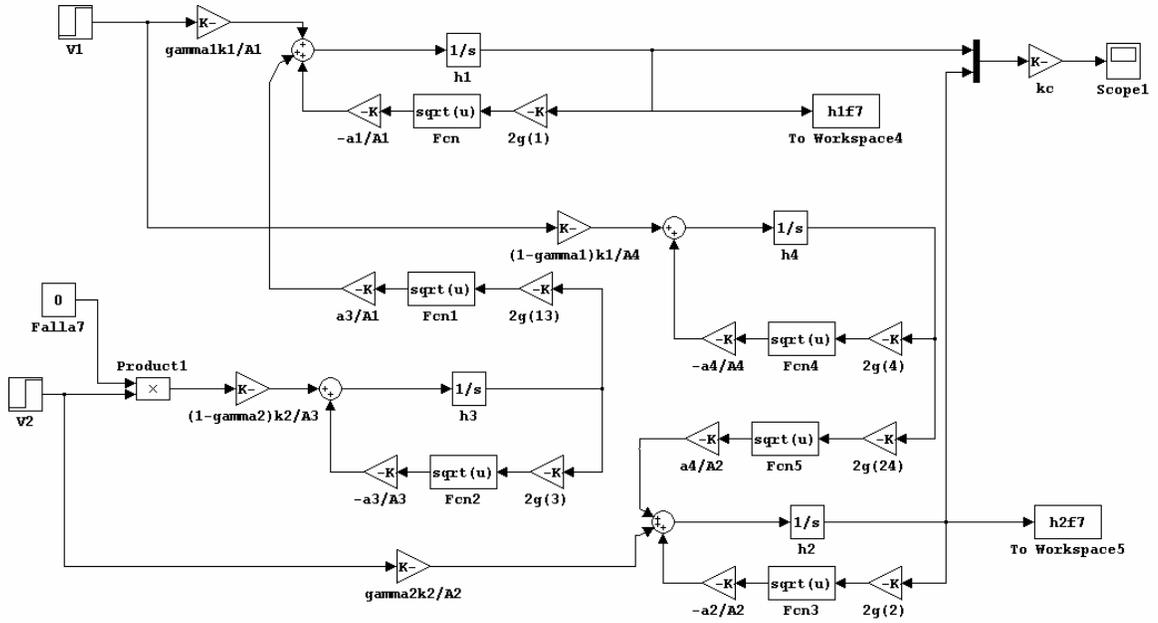
$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3} + \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} v_1$$

$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A_2} \sqrt{2gh_2} + \frac{a_4}{A_2} \sqrt{2gh_4} + \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} v_2$$

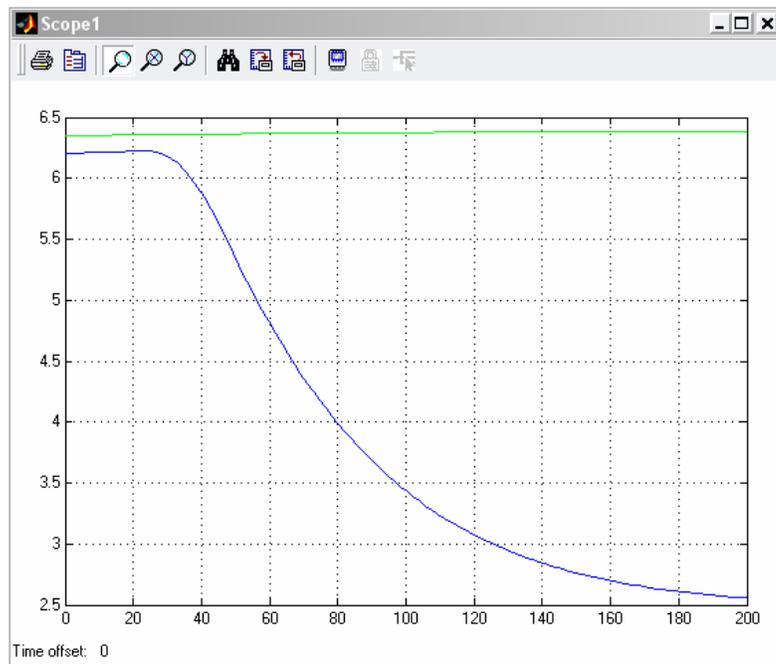
$$\frac{dh_3}{dt} = -\frac{a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3}$$

$$\frac{dh_4}{dt} = -\frac{a_4}{A_4} \sqrt{2gh_4} + \frac{(1-\gamma_1)k_1}{A_4} v_1$$

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

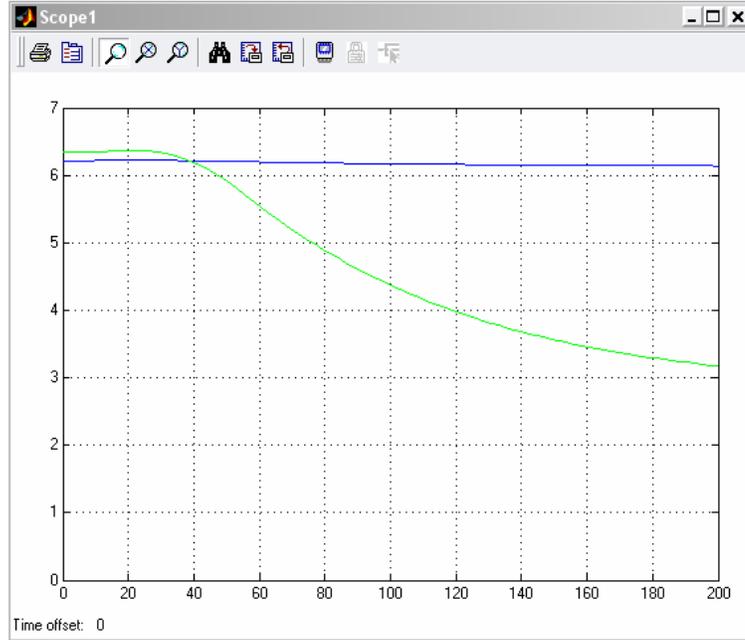


**Figura 24. Diagrama de bloques en Simulink con falla7**



**Figura 25. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla7**





**Figura 27. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla8**

### 3.2.1.9. OBSTRUCCIÓN DE LA VÁLVULA DEL TANQUE 1

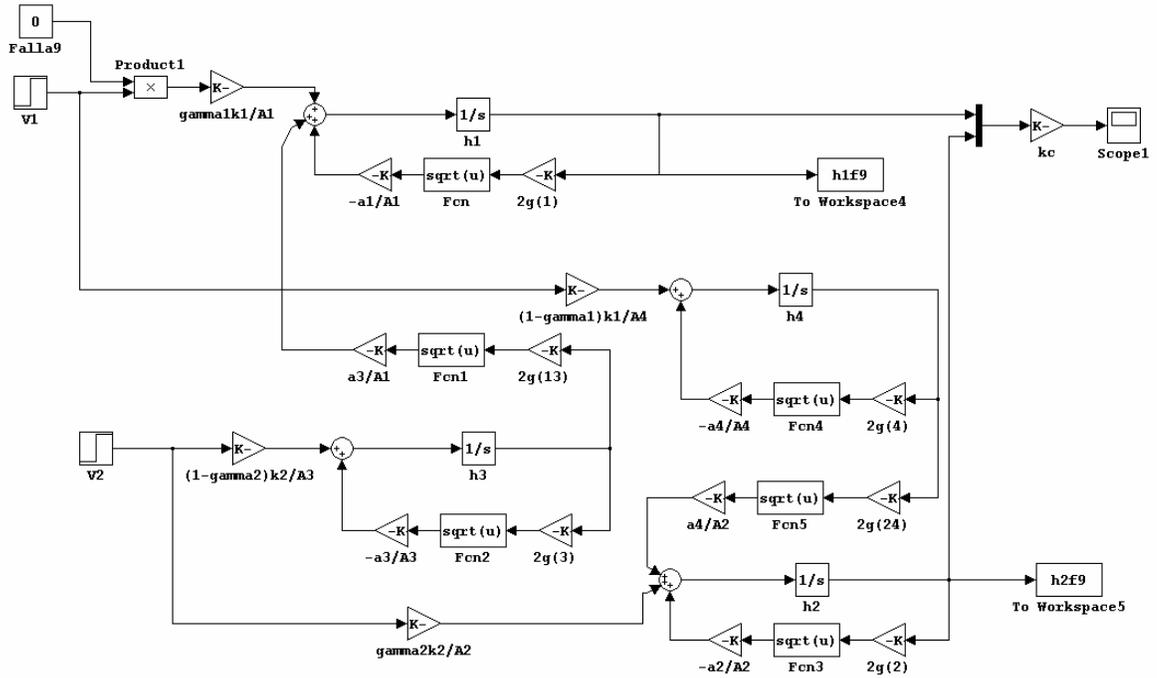
$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3}$$

$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A_2} \sqrt{2gh_2} + \frac{a_4}{A_2} \sqrt{2gh_4} + \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} v_2$$

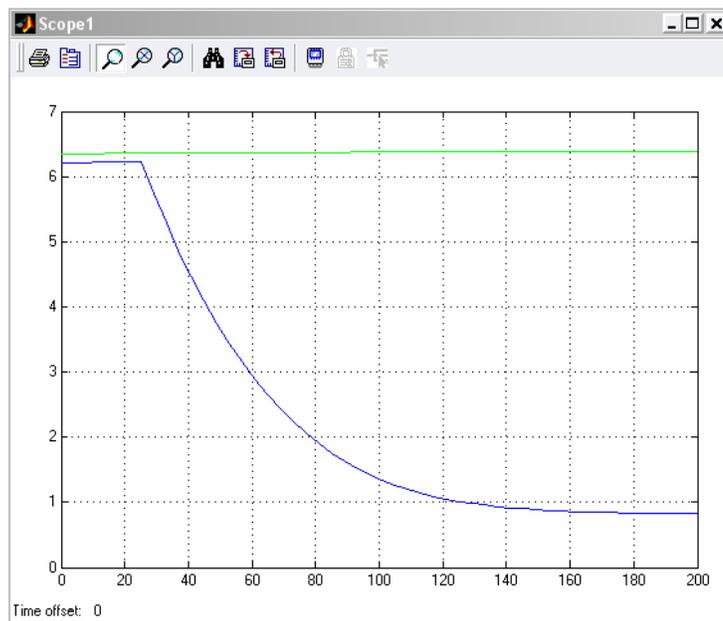
$$\frac{dh_3}{dt} = -\frac{a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3} + \frac{(1-\gamma_2) k_2}{A_3} v_2$$

$$\frac{dh_4}{dt} = -\frac{a_4}{A_4} \sqrt{2gh_4} + \frac{(1-\gamma_1) k_1}{A_4} v_1$$

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**



**Figura 28. Diagrama de bloques en Simulink con falla9**



**Figura 29. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla9**

3.2.1.10. OBSTRUCCIÓN DE LA VALVULA D EL TANQUE 2

$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3} + \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} v_1$$

$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A_2} \sqrt{2gh_2} + \frac{a_4}{A_2} \sqrt{2gh_4}$$

$$\frac{dh_3}{dt} = -\frac{a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3} + \frac{(1-\gamma_2) k_2}{A_3} v_2$$

$$\frac{dh_4}{dt} = -\frac{a_4}{A_4} \sqrt{2gh_4} + \frac{(1-\gamma_1) k_1}{A_4} v_1$$

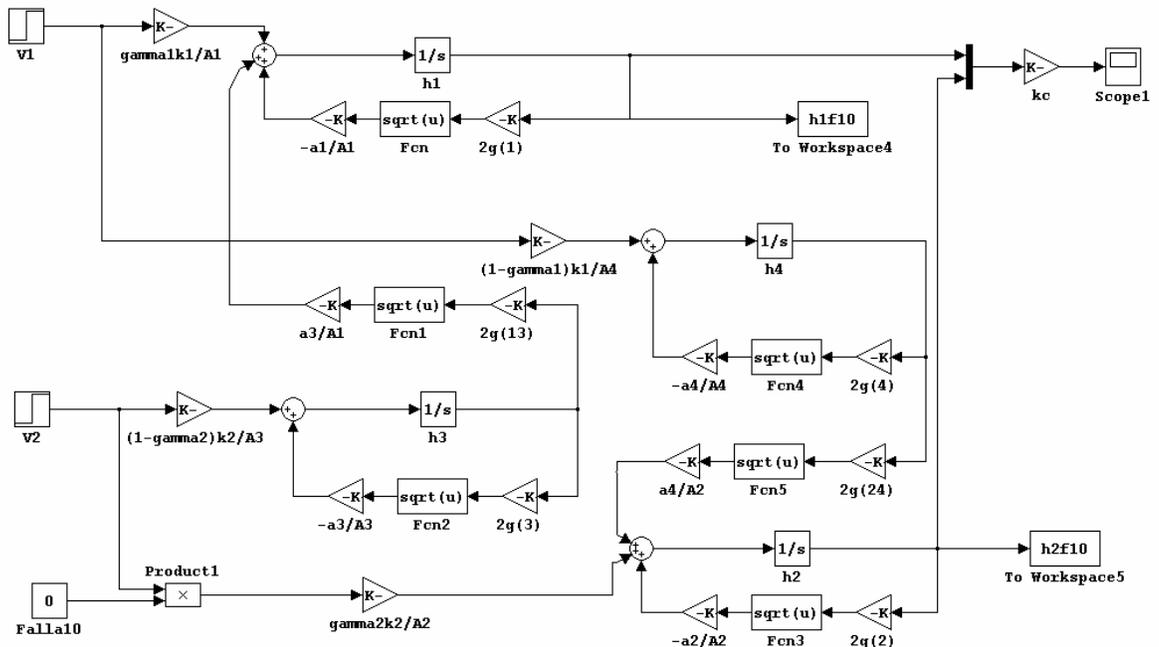
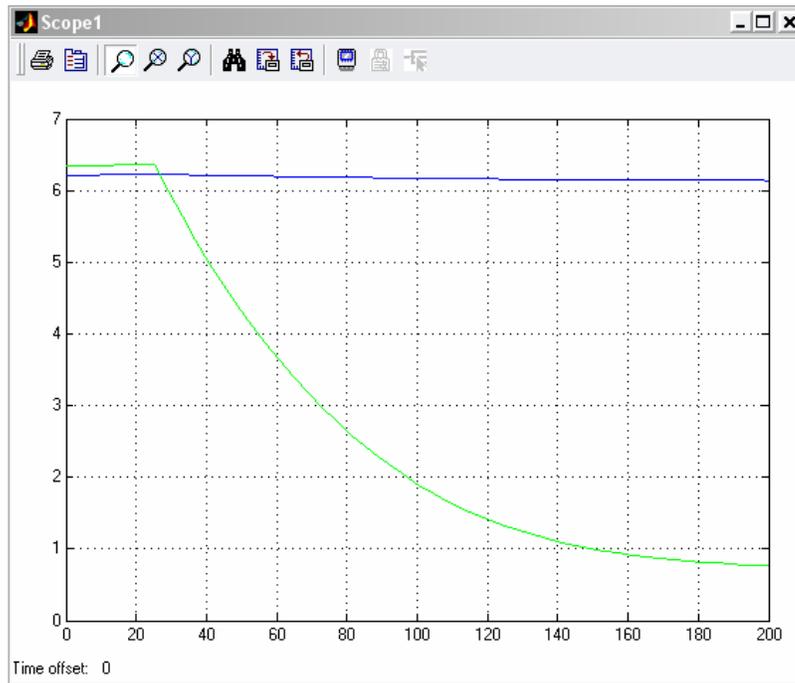


Figura 30. Diagrama de bloques en Simulink con falla10



**Figura 31. Señales de salida del sistema Y1 y Y2 Falla10**

### **3.2.2. SIMULACION EN LABVIEW**

Una vez realizado el análisis y el modelamiento de las fallas en Matlab (Sección 3.2.1) se procede a realizar el sistema encargado de realizar la detección y aislamiento de los errores. Para desarrollar el sistema se escoge el software LabVIEW el cual es un sistema de desarrollo basado en programación gráfica orientado a desarrollar aplicaciones para instrumentación.

Los programas realizados en LabVIEW se llaman instrumentos virtuales “VIs”, ya que tienen la apariencia de los instrumentos reales, sin embargo, poseen

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

---

analogías con funciones provenientes de lenguajes de programación convencionales [6].

La planta es simulada en Matlab, LabVIEW aporta las condiciones iniciales y extrae de matlab los valores resultantes de la simulación que es ejecutada cada segundo para emular el sistema en tiempo real.

Para realizar la detección y aislamiento de errores se escogió el método de filtros observadores, por este motivo se diseñan programas encargados de vigilar uno a uno cada error posible considerado en el desarrollo de este documento.

Falla	Y1	Y2
1	X	
2		X
3	X	
4		X
5	X	X
6	X	X
7	X	
8		X
9	X	
10		X

**Figura 32. Salidas afectadas por fallas**

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

---

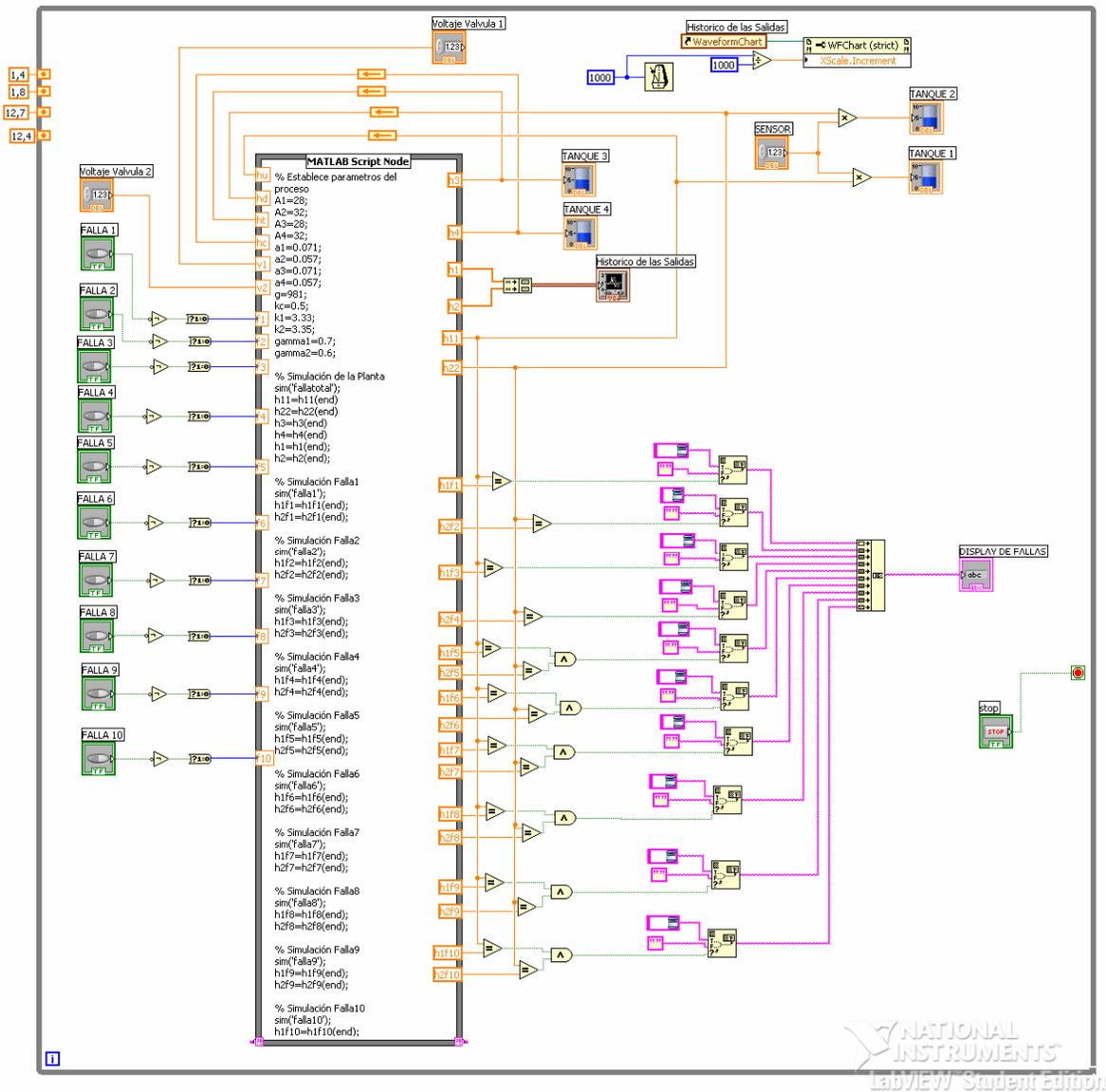
Los observadores son diseñados en simulink y son expuestos anteriormente en la sección 3.2.1., donde se detallan cada una de las fallas consideradas. El resultado de cada uno de estos observadores es comparado con los de la planta de acuerdo al criterio mostrado en la figura 32, obtenido del análisis de las simulaciones realizadas en Matlab en la sección 3.2.1., que nos muestra que salida es afectada por cada una de las fallas.

Debido a que el comportamiento de las salidas en presencia de alguna de las últimas 4 fallas es similar a las salidas de las fallas 5 o 6, se hace la comparación del resultado de la planta con el observador en ambas salidas (Y1 y Y2), para poder obtener un sistema capaz de aislar todas las fallas propuestas.

La programación realizada para el funcionamiento de este programa es mostrada en la figura 33, la cual nos muestra tanto la programación realizada en lenguaje matlab y lenguaje G, todo dentro del ciclo que emula el tiempo real. La figura 34 nos muestra el panel frontal del programa en Labview

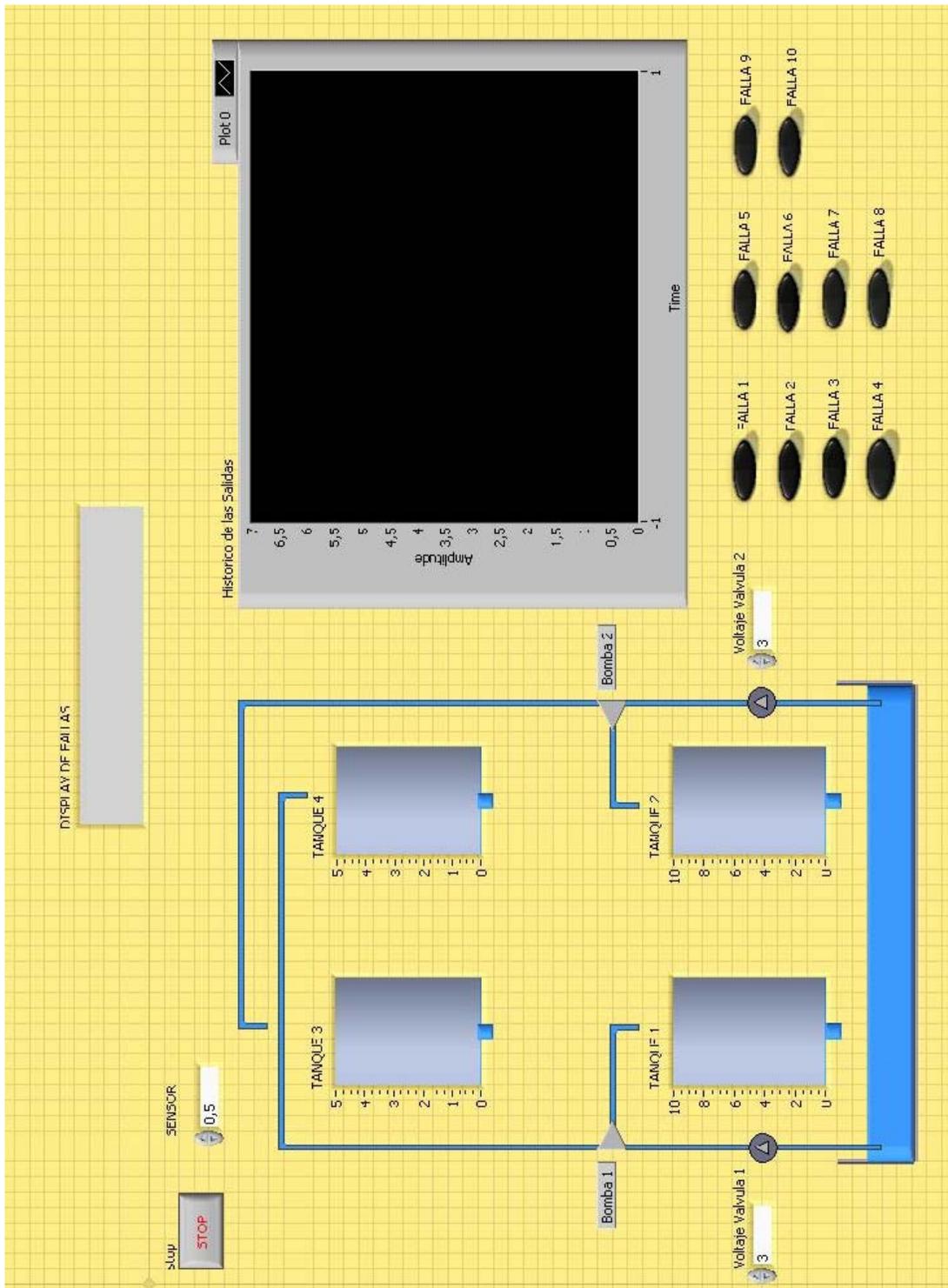
El panel frontal del programa nos muestra un histórico del comportamiento de las señales de salidas Y1 (Blanco) y Y2 (Roja) y nos muestra el estado actual de cada uno de los cuatro tanques además ofrece la posibilidad de activar cada una de las diez fallas durante la simulación y permite cambiar el voltaje suministrado a la válvula 1 y 2. Además muestra un display de fallas que nos permite visualizar un mensaje de alerta cuando una falla específica es detectada y aislada.

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**



**Figura 33. Diagrama de bloques programa en Labview**

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**



**Figura 34. Panel frontal programa en Labview**

### **3.2.3. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS**

La planta fue simulada exitosamente, en la figura 35 se muestra el funcionamiento de la planta libre de fallas por 212 segundos. El histórico de las señales de salidas en Labview se puede comparar con el resultado de la simulación en matlab, mostrado en la figura 11.

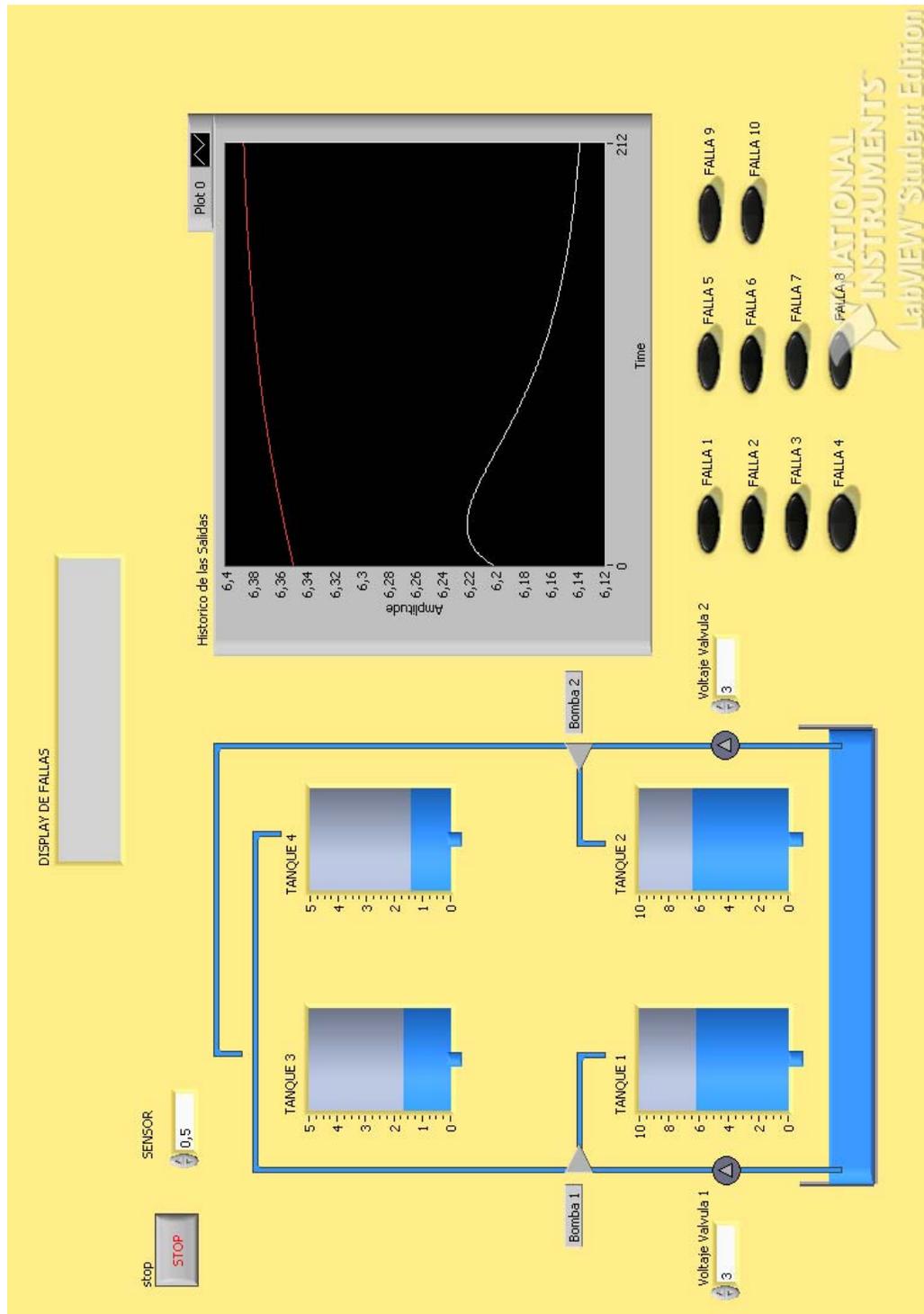
La detección y el aislamiento de las fallas fueron conseguidos satisfactoriamente, para cada una de las fallas propuestas.

Para el análisis del funcionamiento de la simulación se escogió la falla N° 5, la cual es la falla en la bomba 1 del sistema.

En la figura 36 se puede ver el efecto de la falla, igual al arrojado por la simulación de matlab, figura 21, tanto en el comportamiento de la grafica como el de los tanques, se observa claramente que se logra el aislamiento de la falla activada, logrando así ver la marcada diferencia entre el funcionamiento mostrado en la figura 36 con respecto al funcionamiento normal del sistema mostrado en la figura 35.

En la tabla mostrada en la figura 37 se relacionan cada una de las fallas modeladas con su respectivo resultado en el histórico de salidas de Labview y la leyenda mostrada por el display de fallas, se observa que las graficas corresponden a las simuladas en matlab en la sección 3.2.1. y se logra aislar cada una de las fallas.

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**



**Figura 35. Simulación de la Planta sin Fallas**

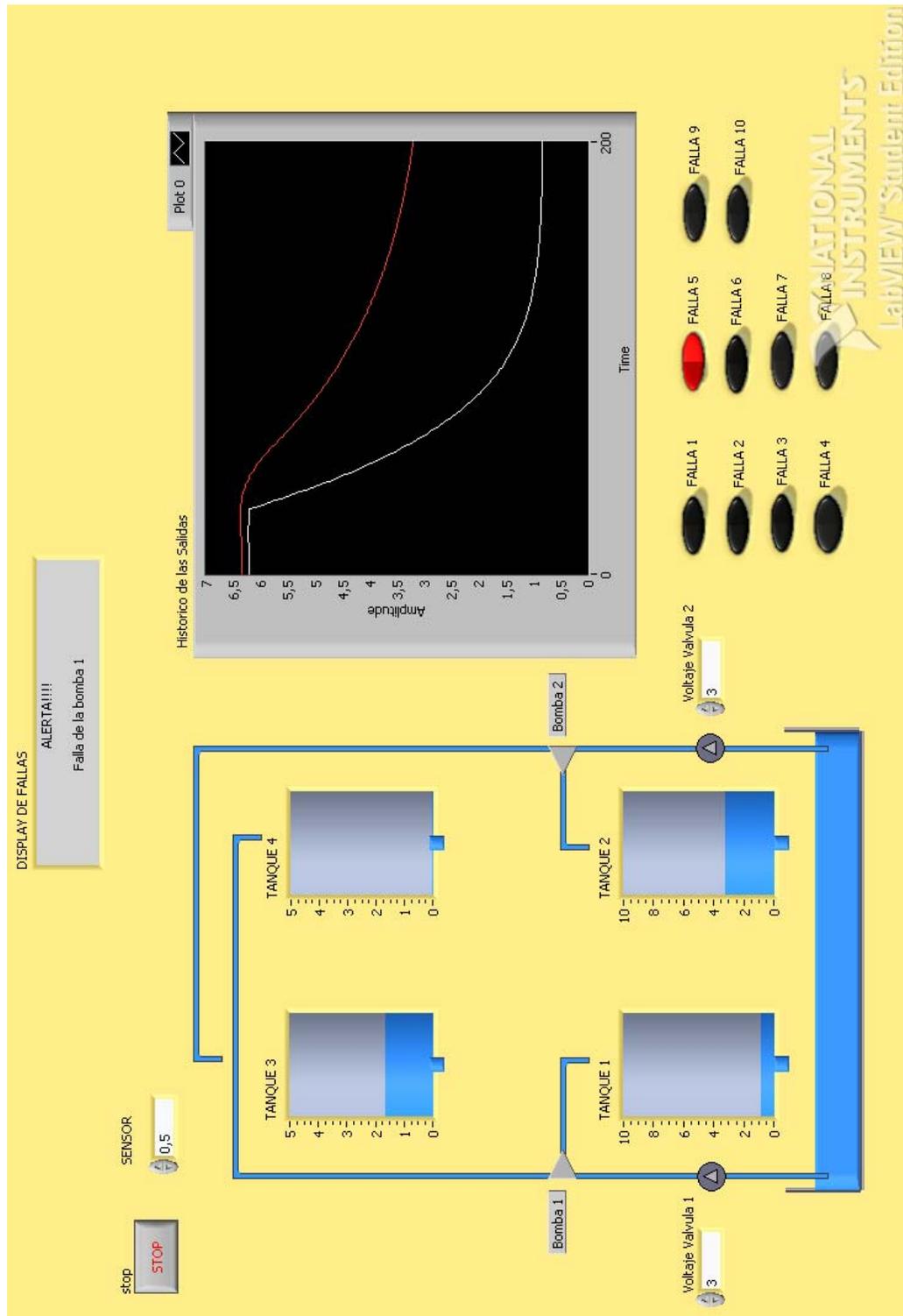
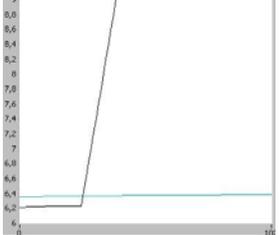
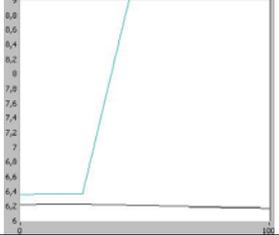
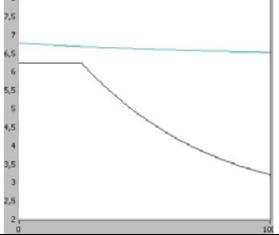
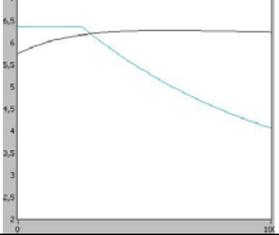
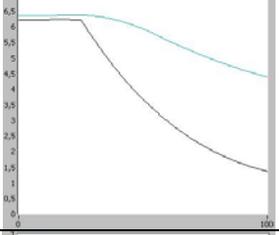
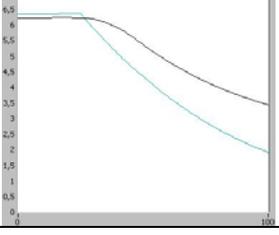
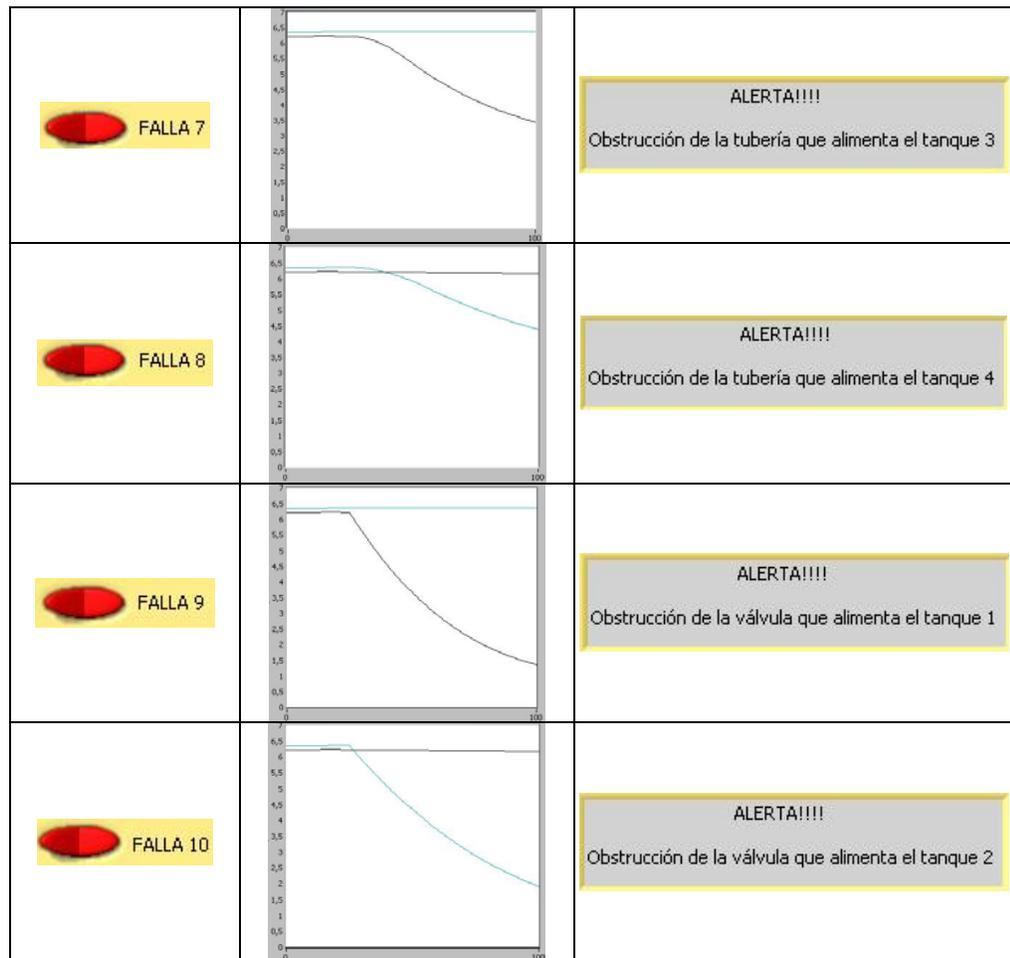


Figura 36. Detección de la falla en la bomba 1

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

Falla Activada	Histórico de Salidas	Display de Fallas
 FALLA 1		<p align="center"><b>ALERTA!!!!</b></p> <p align="center">Obstrucción del orificio de salida del tanque 1</p>
 FALLA 2		<p align="center"><b>ALERTA!!!!</b></p> <p align="center">Obstrucción del orificio de salida del tanque 2</p>
 FALLA 3		<p align="center"><b>ALERTA!!!!</b></p> <p align="center">Obstrucción del orificio de salida del tanque 3</p>
 FALLA 4		<p align="center"><b>ALERTA!!!!</b></p> <p align="center">Obstrucción del orificio de salida del tanque 4</p>
 FALLA 5		<p align="center"><b>ALERTA!!!!</b></p> <p align="center">Falla de la bomba 1</p>
 FALLA 6		<p align="center"><b>ALERTA!!!!</b></p> <p align="center">Falla de la bomba 2</p>

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**



**Figura 37. Tabla de Resultados**

El programa tarda máximo un (1) segundo realizando la detección y aislamiento de las fallas, una vez estas han sido activadas, dado que este es el tiempo de ejecución del programa en cada ciclo.

El programa no posee la capacidad de detectar las fallas cuando estas se presentan de forma simultánea, ya que el modelo matemático del proceso, derivado de una falla simultánea, no es evaluado por este programa.

## **4. CONCLUSIONES**

Este modelo es muy eficaz a la hora de realizar la detección y aislamiento de fallas, su principal inconveniente radica en la necesidad de tener un modelo matemático del proceso bien ajustado a la realidad, lo cual en procesos muy complicados no siempre es fácilmente alcanzable.

Para el caso estudio desarrollado en este trabajo se consideraron unas condiciones ideales de funcionamiento por lo cual la comparación entre las salidas proceso y la de los observadores se realiza a través de un comparador sencillo.

En un contexto real, además de los errores de modelamiento existen las perturbaciones, lo cual hace que los residuos no sean cero aun en un caso libre de fallas, esto puede ocasionar que algunos residuos se disparen o no. Por esto se deben establecer umbrales de los residuos, de tal manera el programa de detección y aislamiento fallas actuara en una forma más robusta.

La implementación de la técnica de observadores se hizo utilizando un arreglo DOS. Como futuro caso de estudio se debe implementar un arreglo GOS y comparar los resultados obtenidos en cada caso, verificando cual de los dos arreglos es más adecuado y confiable. También se deben implementar otras técnicas de detección y aislamiento de errores en aras de realizar una comparación entre los diferentes métodos. Otro futuro caso de estudio es el desarrollo e implementación en simulación de un banco de observadores que permita detectar las fallas de manera simultánea verificando experimentalmente el límite de detectabilidad versus el número de salidas disponibles.

## **5. REFERENCIAS**

- [1] Clark, R.N., A simplified instrument detection scheme. IEEE Trans. Aerospace Electron. System, Vol. 14, pp. 558-563 and 456-465, 1978.
- [2] Cristian Triviño, Freddy Sarmiento, Herramienta De Detección De Fallas Y Aislamiento En Entornos Industriales, Universidad Tecnológica de Bolívar, Monografía para grado, 2007
- [3] Diego Ruiz, Faults diagnosis in chemical plants integrates to the information system. Thesis for degree of Doctor of the Universidad Politécnica de Catalunya, 2004.
- [4] Efraín Alcorta García, Detectando fallas mediante redundancia analítica, División de Estudios de Postgrado, FIME-UANL, Vol. IV, No. 11, 2001.
- [5] Fernando Castillo Balboa, Matlab: la herramienta, Universidad Tecnológica de Panamá. <http://www.fim.utp.ac.pa/Revista/vol2/matlab.html>.
- [6] Germán Andrés Holguín Londoño, Sandra Milena Pérez Londoño, Álvaro Ángel Orozco Gutiérrez, Curso Básico Labview, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira, 2002.
- [7] Gloria Mousalli-Kayat, Jesús Calderón-Vielma, Addison Ríos-Bolívar, Francklin Rivas-Echeverría, Herramienta para la enseñanza de Detección y Diagnóstico de fallas en Procesos Industriales, Universidad de Los Andes(Venezuela), Congreso Internacional EDUTECH, 2003.
- [8] Joaquim Meléndez, Joan Colomer, Curso de Supervisión de procesos Industriales, Universidad de Girona, Programa de doctorado.

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE  
FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

---

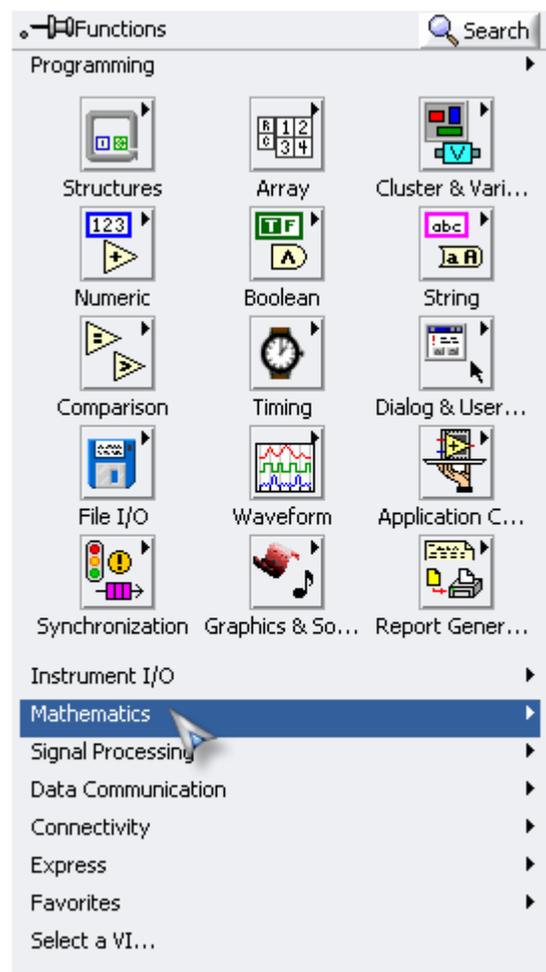
[http://eia.udg.es/~quimmel/docencia/superv\\_proc\\_ind\\_iitap/super\\_proc\\_ind\\_iitap.html](http://eia.udg.es/~quimmel/docencia/superv_proc_ind_iitap/super_proc_ind_iitap.html)

- [9]** Karl Henrik Johansson, the Quadruple-Tank Process: A Multivariable Laboratory Process with an Adjustable Zero, IEEE Trans. On Control Systems Technology, Vol. 8, No. 3, 2000
- [10]** L Nielsen, M. Nyberg, E. Frisk, C. Bäckström, A. Herinksson, I. Klein, F. Gustafsson, S. Gunnarsson, Issues in diagnosis, Supervision and Safety, IDA Technical Report, 1996.
- [11]** Rolf Isermann, Model-Based Fault Detection And Diagnosis, Institute of Automatic Control, Darmstadt University of Technology, 2004

## **6. ANEXOS**

### **6.1. ENLACE LABVIEW – MATLAB**

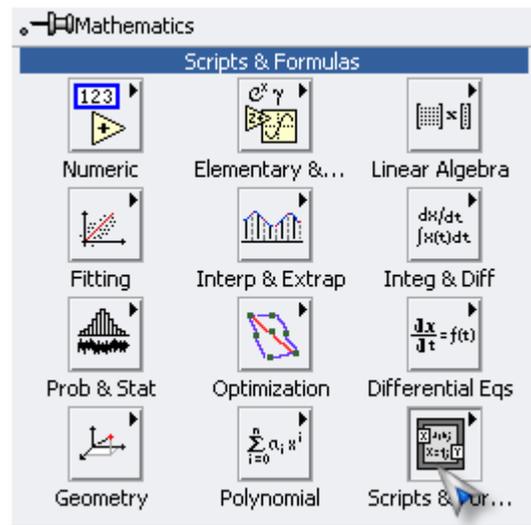
Para poder lograr la comunicación entre Labview y matlab se usa en Labview un Matlab Script, este nos permite invocar Matlab y ejecutar en este programa una secuencia de instrucciones escritas dentro del script en lenguaje Matlab. Para obtener el Matlab Script accedemos a la ventana de funciones (Functions) realizando clic derecho en cualquier parte de la ventana de Labview Block Diagram, en esta escogemos la opción Mathematics



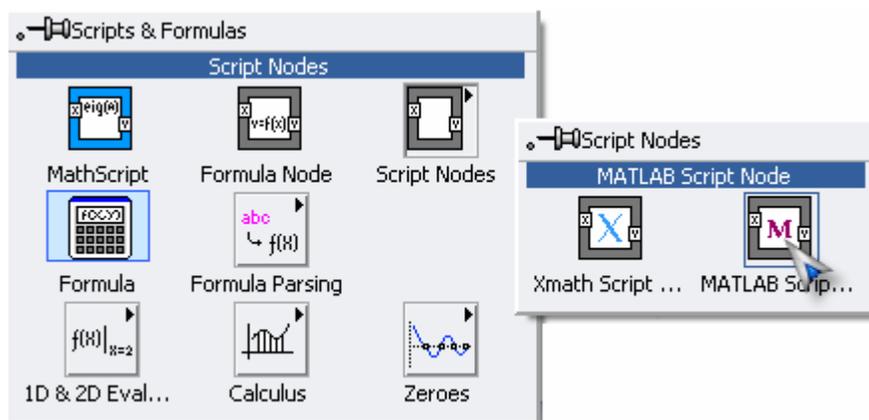
**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE FALLAS Y AISLAMIENTO EN ENTORNOS INDUSTRIALES**

---

En la ventana Mathematics se escoge la opción Scripts and Formulas



En esta nueva ventana se escoge la opción Script Nodes y luego Matlab Script



Se despliega el cuadro llamado Matlab Script en el cual se desarrolla todo el programa que se desee ejecutar en Matlab.