



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

# DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

AUTOR: Roberto Tabet Aleixandre

TUTOR: Juan Manuel Herrero Durá



Curso Académico: 2014-15

## Resumen

Se ha realizado una aplicación con la herramienta de programación LabVIEW, mediante la cual se lleva a cabo el control de estabilidad de una plataforma flotante, teniendo ésta una grúa montada en su centro capaz de trasladar cargas entre 0 y 1700 kg.

Al no disponer de la plataforma flotante, se simulara el proceso por medio de cuatro prototipos, los cuales hacen la función de los cuatro tanques de estabilización situados en las esquinas de la plataforma.

La compensación de las fuerzas, las cuales impiden el vuelco de la plataforma al variar los pesos y la posición de trabajo de la grúa, se consigue por medio del control de la presión en los tanques que forman parte del prototipo, utilizando controladores tipo PID.

Además, para que el control sea más efectivo, que usando un solo controlador, se ha utilizado una planificación de ganancia de los parámetros de los controladores, delimitando cinco intervalos de presión en los que trabajan cinco controladores tipo PI diferentes.

Por último, se ha incluido una representación en 3D en tiempo real del sistema simulado.

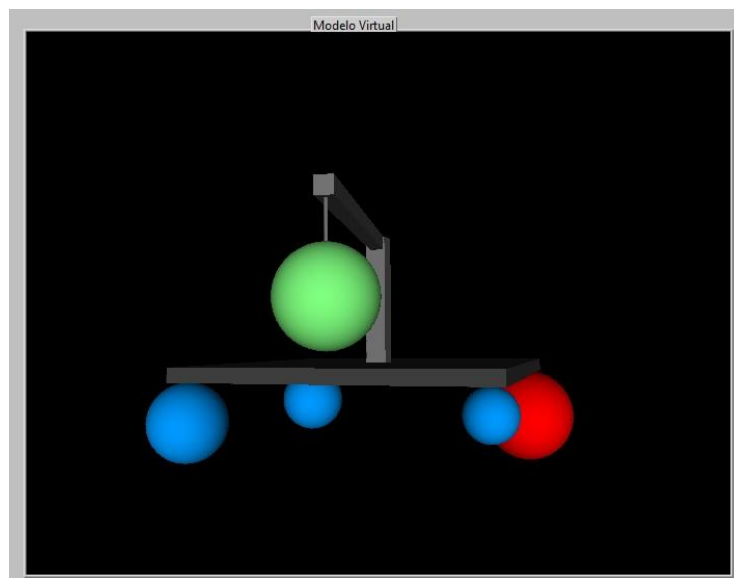


Figura 1. Modelo 3D

## **Contenido**

1. Memoria
2. Anexo de Diseño
3. Anexo de Programación
4. Manual de Usuario
5. Presupuesto

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN  
TANQUE MEDIANTE LABVIEW

---



# DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

---

Documento N°1: Memoria

**AUTOR: Roberto Tabet Aleixandre**

**TUTOR: Juan Manuel Herrero Durá**

**Curso Académico: 2014**

## **Contenido**

1. Objeto.....	2
2. Descripción del proceso. ....	2
2.1 Prototipos.....	2
2.2 Cálculo de fuerzas.....	4
3. Solución del problema.....	5
3.1 Modelos obtenidos.....	6
3.2 Software. ....	7
4. Conclusiones.....	9
5. Bibliografía.....	10

## 1. Objeto.

Diseñar una aplicación mediante LabVIEW, para llevar a cabo el control de estabilidad de una barcaza con una grúa montada en su centro. Al no tener acceso a una maqueta, se simula mediante cuatro conjuntos de compresor y tanque presurizado que simulan los cuatro depósitos colocados en las esquinas de la barcaza.

Las características principales de la aplicación diseñada son las siguientes:

- Se ha introducido una planificación de ganancia para los parámetros de los controladores, consiguiendo así un control en cinco zonas, esto aporta una mayor precisión al control que al utilizar un único controlador.
- La interfaz de la aplicación incorpora una representación 3D en tiempo real de la plataforma a controlar, en la que se ha introducido un sistema de alarma por alta presión en los tanques estabilizadores.
- Se ha realizado la aplicación en tres partes, comunicadas entre sí mediante la herramienta de LabVIEW variables compartidas.
- Por último se ha introducido un sistema de control de usuarios que limita el acceso a diversas zonas de la aplicación.

## 2. Descripción del proceso.

En este apartado se describirán las partes de las que se componen los prototipos utilizados para simular el sistema, y el proceso de cálculo de la fuerza ejercida en cada esquina.

### 2.1 Prototipos.

A continuación se describirán tanto el conjunto compresor-tanque, prototipo mediante el cual se simula el comportamiento del sistema, como el funcionamiento durante la realización de ensayos.

El prototipo utilizado es un equipo de presión de la casa ElettronicaVeneta, y consta de las siguientes partes, las cuales pueden observarse en la Figura 1:

- Compresor: se encarga de insuflar aire en el tanque presurizado.
- Tanque presurizado: en él es donde se obtiene la presión del sistema.
- Sensor de presión: se encarga de medir la presión actual del tanque, de MICRO SWITCH-HONEYWELL DIVISIÓN.
- Válvula manual: sirve para variar la presión manualmente del tanque.
- Válvula electrónica: varía la presión en el tanque, pero controlada por computador.
- Válvula de seguridad: libera la presión del tanque al llegar a un máximo, en nuestro caso 2 bares.
- Alimentación del compresor.
- Alimentación de la válvula.
- Alimentación del sensor.
- Manómetro: marca la presión en el tanque en un display analógico.

# DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

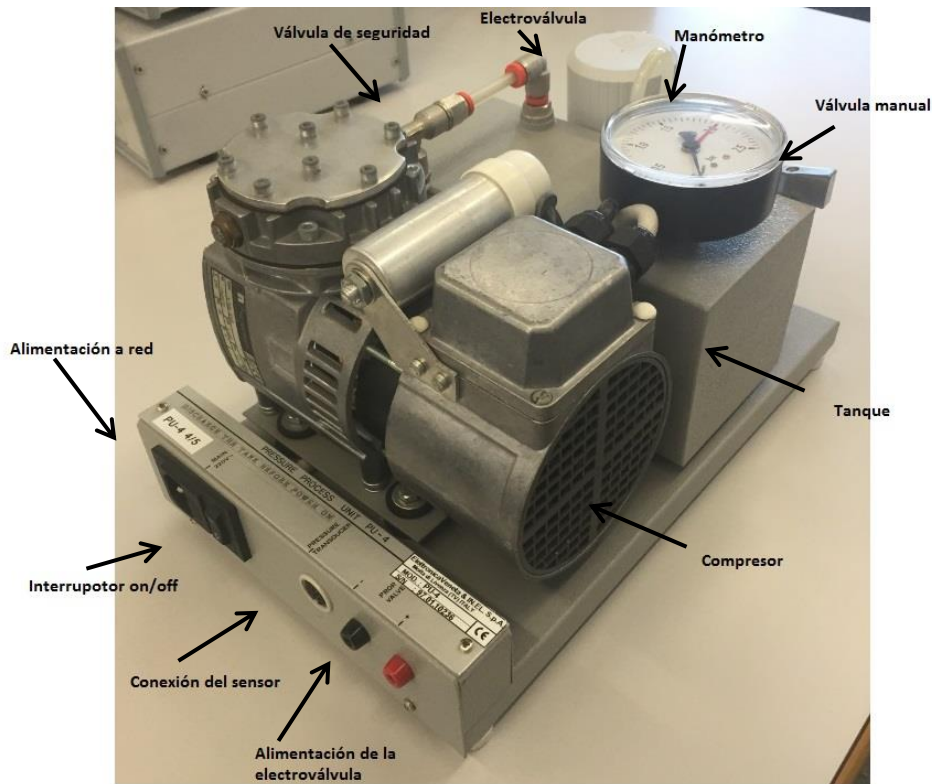


Figura 1. Prototipo

En la Figura 2 se muestran los elementos necesarios para el funcionamiento de los prototipos durante los ensayos, el cual se explicará a continuación.



Figura 2. Fuente de alimentación (arriba), Tarjeta de adquisición de datos (izquierda) y Panel de control (derecha)



La presión en el tanque se obtiene a partir de la acción de un compresor que insufla aire con un caudal constante, por lo que la presión se controla mediante el uso de válvulas dejando salir más o menos caudal de aire.

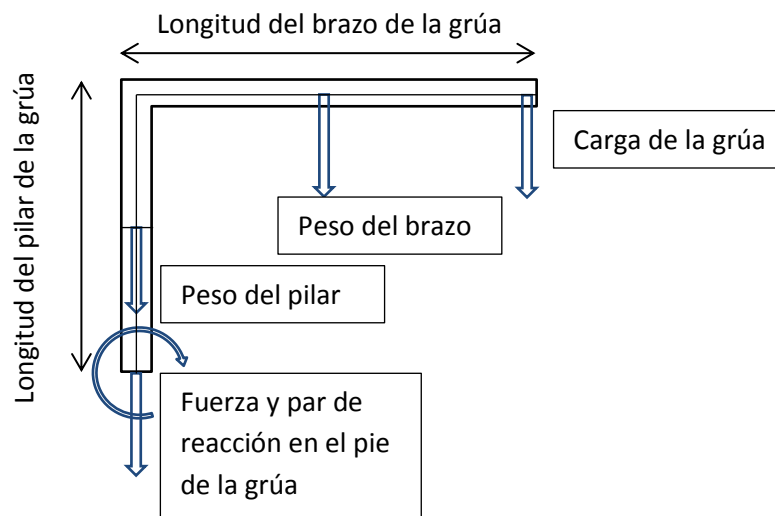
En el prototipo se encuentran tres tipos de válvulas, una manual, otra controlada por ordenador y la válvula de seguridad. En este caso se utilizará la válvula manual para realizar la calibración del sensor de presión, y la electroválvula será la utilizada para realizar los ensayos, mediante los cuales se identificarán los modelos de comportamiento y se diseñarán los controladores. Por otro lado, también se usará esta válvula al poner en funcionamiento el proceso de control de estabilidad de la plataforma.

Por último la válvula de seguridad se encarga de evitar sobrepresiones en el tanque para garantizar un correcto funcionamiento del prototipo y evitar fallos en el sistema.

## 2.2 Cálculo de fuerzas.

En esta parte se abordará el cálculo de la fuerza ejercida en cada esquina de la plataforma.

En primer lugar, se trasladan las fuerzas ejercidas por la carga de la grúa y el peso de ambas partes de la estructura (el pilar y el brazo) al pie de la grúa, obteniendo un par que presiona la zona hacia la que está orientado el brazo de la grúa y una fuerza constante vertical, como se ilustra en el siguiente diagrama:



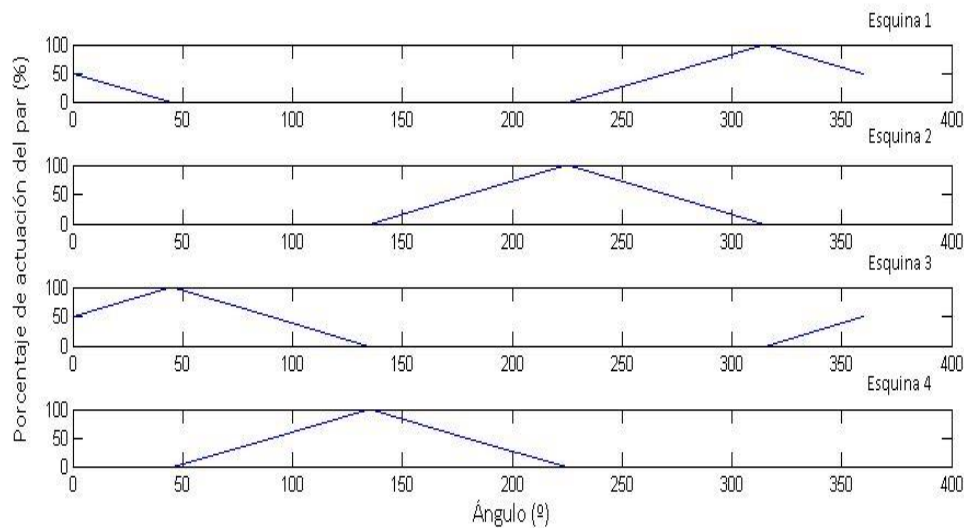
La reacción vertical se calcula como el peso del pilar de la grúa y el par se obtiene al aplicar la siguiente expresión:

$$Par = Carga * Longitud\ del\ brazo + Peso\ del\ brazo * (Longitud\ del\ brazo / 2);$$

La fuerza en cada esquina tiene dos componentes: fuerza vertical directa y la fuerza vertical producida por el par, generadas ambas por las reacciones producidas en el pie de la grúa.

Por un lado, la componente de la fuerza constante es una cuarta parte de la reacción vertical que hay en el pie de la grúa.

Y por el otro, la componente generada por el par varía en función del ángulo de orientación de la grúa. La variación de porcentaje del par que afecta a cada esquina se puede observar en la Figura 3:



**Figura 3. Porcentaje de actuación del momento sobre las esquinas**

Y una vez se conoce el porcentaje de par que actúa en cada esquina en función del ángulo se aplica la siguiente expresión para obtener la fuerza que se ejerce por acción del par:

$$F = \frac{M \cdot P}{d};$$

Dónde:

- F hace referencia a la fuerza producida por el par en N.
- M es el valor del par en el pie de la grúa en N\*m.
- P presenta el porcentaje de actuación del par en función del ángulo que se muestra en la Figura 3, en tanto por uno.
- d es la distancia desde el pie de la grúa hasta la esquina. Esta distancia se calcula mediante la ecuación:

$$d = \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2};$$

Siendo l el lado de la plataforma en m.

Finalmente, la fuerza que se aplica en cada esquina es la suma de estas dos componentes.

### **3. Solución del problema.**

Como solución se va a presentar los modelos obtenidos para la simulación del sistema, además de las diferentes partes que componen el software, objetivo del proyecto.

### 3.1 Modelos obtenidos.

Los modelos obtenidos se pueden dividir en tres partes: modelos del sensor, modelo del sistema y controlador del proceso.

- El **modelo del sensor** se obtiene a partir de un proceso de calibración, explicado en detalle en Documento 2. Anexo de Diseño-Calibración. A partir de este proceso, obtenemos la ecuación de comportamiento del sensor:

$$P = \frac{x}{4} + 0.05$$

Siendo:

- P la presión de lectura del sensor en Bar.
- X la tensión proporcionada por el sensor tras la lectura en V.
- Los **modelos del sistema** se obtienen a partir de ensayos sobre el prototipo, los cuales están explicados en Documento 2. Anexo de Diseño-Identificación de modelos. Estos modelos se han identificado en forma de funciones de transferencia, en la Unidad 5 del temario de Sistemas Automáticos (2013-2014) está explicado el aspecto teórico de estas funciones, y se ha dividido el rango de trabajo del sistema en cinco zonas, obteniendo así cinco modelos distintos, se ha decidido hacerlo así ya que el proceso de control está enfocado en un control por zonas. Los modelos obtenidos podemos verlos en la Tabla 1:

Intervalo de presión (bar)	Modelo
0-0.15	$G(s) = \frac{0.00418}{1 + 13.019 * s}$
0.15-0.25	$G(s) = \frac{0.00787}{1 + 18.42 * s}$
0.25-0.5	$G(s) = \frac{0.0463}{1 + 26.74 * s}$
0.5-1	$G(s) = \frac{0.135}{1 + 51.058 * s}$
1-2	$G(s) = \frac{0.273}{1 + 101.081 * s}$

Tabla 1. Modelos del sistema

- A partir de los modelos del sistema se obtienen los **controladores** para cada zona, también explicado en detalle el proceso en Documento 2. Anexo de Diseño-Diseño de controladores. Estos controladores son de tipo PI, la teoría relacionada con este tipo de controladores se puede consultar en los Temas 2, 3 y 4 del temario de Tecnología Automática (2013-2014), y están presentados en la Tabla 2:

Intervalo de presión (bar)	Controlador
0-0.15	$G(s) = 100 * \frac{(s + \frac{1}{4})}{s}$
0.15-0.25	$G(s) = 160 * \frac{(s + \frac{1}{3})}{s}$
0.25-0.5	$G(s) = 98 * \frac{(s + \frac{1}{4})}{s}$
0.5-1	$G(s) = 132 * \frac{(s + \frac{1}{1.5})}{s}$
1-2	$G(s) = 210 * \frac{(s + \frac{1}{4})}{s}$

Tabla 2. Tabla de controladores

### 3.2 Software.

En este apartado se verán las partes que conforman el software desarrollado y la comunicación de variables entre ellas, de las cuales se explicará el funcionamiento del código en Documento 3. Anexo de Programación-Comunicación entre programas.

- En primer lugar, se va a presentar la parte principal del software, en la cual se encuentra el modelo virtual en 3D. Desde este programa se mandan los valores de ángulo de posición del brazo de la grúa y de la carga que transporta al programa de generación de la referencia. Por otra parte, se reciben los valores de presión en cada tanque para la representación en tiempo real de modelo virtual.

Esta parte de la aplicación es de acceso libre a cualquier usuario y su interfaz se puede ver en la Figura 4:

## DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

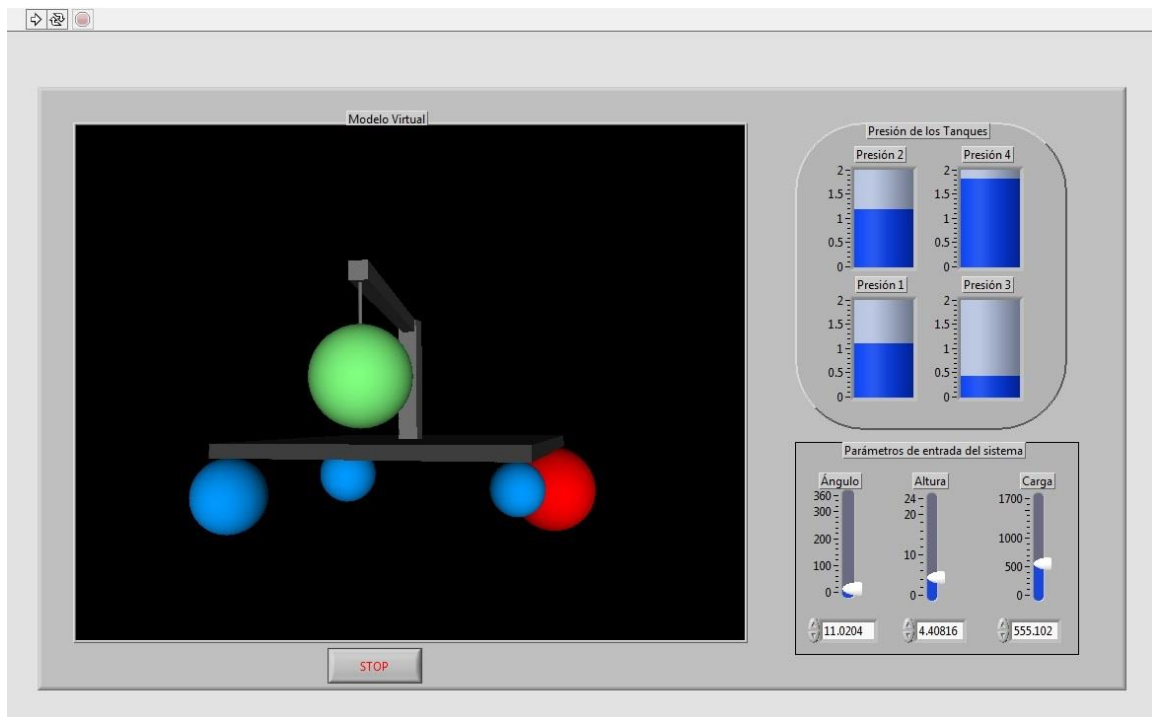


Figura 4. Interfaz principal

- La parte encargada de la generación de la referencia cuenta con una interfaz mínima en la que pueden verse los datos recibidos y enviados al igual que el control para detener la aplicación, puede verse en la Figura 5. Esta parte del programa recibe información del programa principal, y a partir de estos datos se generan las referencias para los cuatro prototipos, el proceso de cálculo de estas referencias puede verse en Documento 3. Anexo de diseño-Cálculo de la presión.

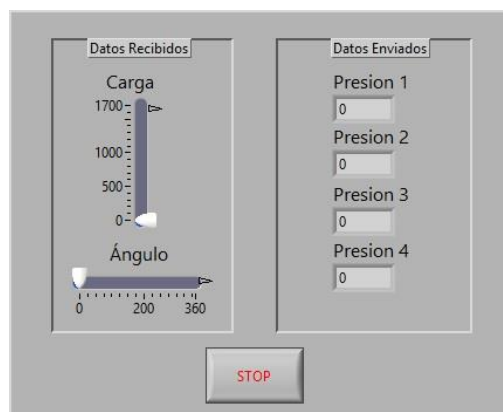


Figura 5. Interfaz de generación de la referencia

- Por otra parte, el programa encargado del control de los prototipos, el cual recibe los valores de referencias del programa de generación de referencias y manda el valor de presión en el tanque al programa principal. Esta parte está duplicada, ya que necesitamos dos ordenadores para el control de los cuatro prototipos por una limitación en las tarjetas de adquisición de datos, modelo AD-Link PCI-9112, las cuales tienen dos salidas analógicas y,

## DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

por lo tanto, solo se pueden controlar dos prototipos por cada ordenador. La interfaz se puede observar en la Figura 6:

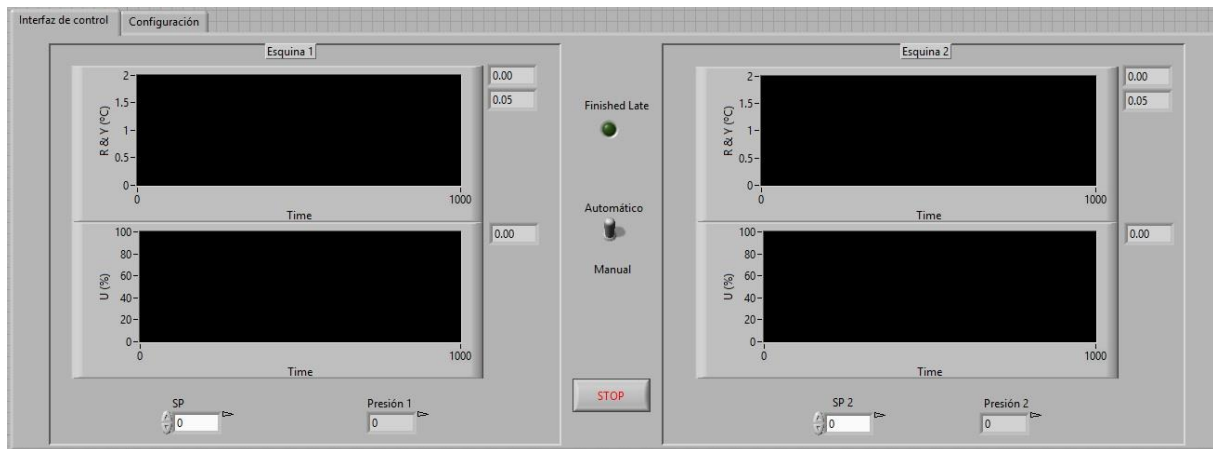
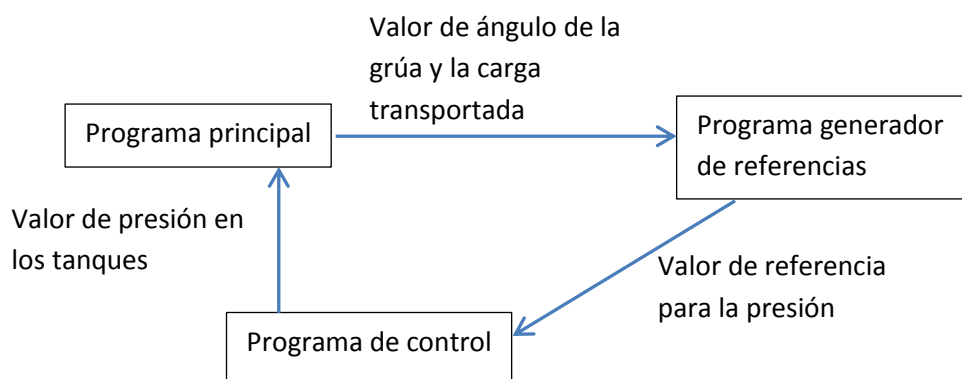


Figura 6. Interfaz de control

- Por último, se presentará el proceso de comunicación de variables entre las partes del software a través del siguiente diagrama:



### 4. Conclusiones.

Las conclusiones que se han obtenido son:

- El control obtenido cumple las especificaciones requeridas, aunque por la histéresis presente en el comportamiento del sistema no se consigue la misma precisión cuando se aumenta la presión de referencia que cuando se disminuye.
- El estudio de la zona muerta de actuación del sistema es muy importante, ya que la mayor parte del intervalo de acción de la válvula controlada por computador, un 70% en subida y un 50 % en bajada, está afectada por esta zona.
- La presencia de histéresis en el comportamiento del sistema conlleva una realización detallada de la identificación de modelos, ya que implica que el sistema no se comporta de la misma forma ante un aumento de la presión de referencia que ante una disminución.
- La utilización de controladores por zonas de presión es recomendable al utilizar controladores tipo PID, ya que con esta forma de control de disminuye considerablemente el

efecto de no linealidad en la respuesta del sistema y se consigue un control más eficaz que al usar un solo controlador para todo el rango de presiones.

- La carga máxima de la grúa se debe, principalmente, a las limitaciones físicas de los tanques estabilizadores, ya que la máxima fuerza que es posible compensar depende de la presión máxima que pueden resistir los tanques.
- La temperatura del compresor influye enormemente en el comportamiento del sistema, teniendo en cuenta esto, es necesario realizar los cálculos relacionados con la identificación de modelos y el diseño de controladores con datos recogidos en ensayos en los que los prototipos hayan estado 30 minutos en funcionamiento, habiendo alcanzado así la temperatura de trabajo.

## **5. Bibliografía**

ISA. (2013-2014). Unidad didáctica 4 de Sistemas Automáticos. Valencia: UPV.

ISA. (2013-2014). Unidad didáctica 2 de Tecnología Automática. Valencia: UPV.

ISA. (2013-2014). Unidad didáctica 3 de Tecnología Automática. Valencia: UPV.

ISA. (2013-2014). Unidad didáctica 4 de Tecnología Automática. Valencia: UPV.

Juan Manuel, H. D. MANUAL DEL PROTOTIPO Nº13. EQUIPO DE PRESIÓN.







# DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

---

Documento N°2: Anexo de Diseño

**AUTOR: Roberto Tabet Aleixandre**

**TUTOR: Juan Manuel Herrero Durá**

**Curso Académico: 2014**

## **Contenido**

1. Introducción y objetivos.....	2
2. Calibración.....	2
3. Identificación de modelos.....	3
4. Diseño de controladores.....	5
5. Cálculo de la presión.....	6
6. Bibliografía.....	7

## 1. Introducción y objetivos.

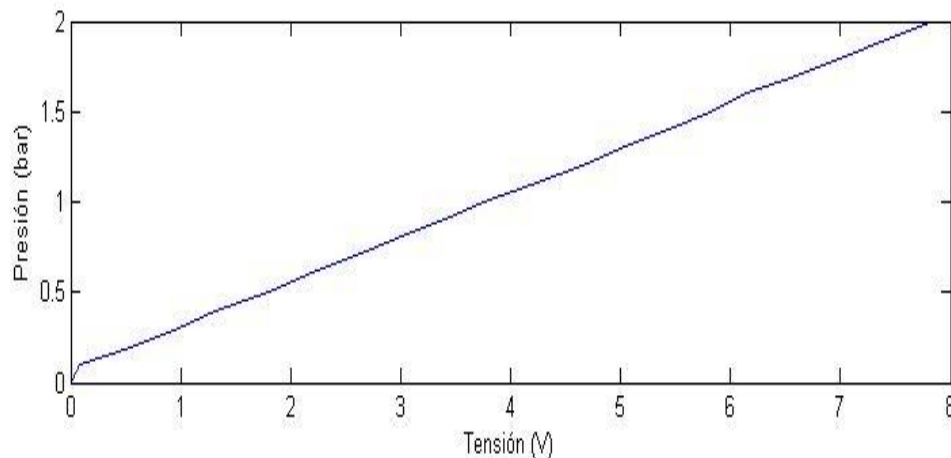
En este anexo se va a presentar el proceso de calibración de sensores, identificación de los modelos y diseño de los controladores en detalle. Además, se explicará cómo, a partir de la fuerza ejercida en las esquinas, se consigue la presión de referencia para el control de los prototipos que modelan el sistema estabilizador. Por otra parte, también se explicarán los diferentes programas utilizados en el proyecto y la transferencia de datos entre ellos.

## 2. Calibración.

La calibración de los sensores se realiza mediante un ensayo con los prototipos, el cual se realiza variando la presión del tanque con la válvula manual, y se toman las medidas de presión y tensión, mediante el manómetro situado en el prototipo y la señal proporcionada por el sensor en el ordenador, respectivamente.

Se empieza con la válvula completamente abierta, teniendo como consecuencia el mínimo de presión en el tanque. A continuación, se cierra progresivamente la válvula, anotando los valores de tensión cada 0,1 bares, hasta los 2 bares, la cual es la presión máxima que soporta el prototipo y a la que está configurada la válvula de seguridad.

Los resultados de la calibración se presentan en la Figura 1:



**Figura 1. Calibración del sensor**

Obteniendo como resultado la ecuación de conversión tensión-presión:

$$y = \frac{x}{4} + 0.05 ;$$

Siendo y la presión en Bar y x la tensión en V.

Aunque dependiendo del prototipo utilizado es necesaria una ecuación de conversión u otra, esto se debe a que no todos los sensores, uno por cada prototipo utilizado, se encuentran en el mismo estado y toman las medidas igual. En la Tabla 1 se presentan la ecuación usada en cada esquina del sistema:

Esquina	Ecuación
1	$y = \frac{x}{4} + 0.05$
2	$y = 0.67 * x + 0.1$
3	$y = \frac{x}{4} + 0.05$
4	$y = 0.67 * x + 0.3$

Tabla 1. Ecuaciones de conversión tensión-presión

### 3. Identificación de modelos.

La identificación de los modelos de comportamiento del sistema se ha hecho al procesar la información de un ensayo en bucle abierto, un ensayo sin uso de controladores, introduciendo valores manualmente a la variable que controla el porcentaje de cerrado de la válvula; mediante la herramienta de Matlab "Identool", la cual realiza estimaciones de modelos de comportamiento de sistemas, en el caso de este proyecto en forma de funciones de transferencia, a partir de las entradas y las salidas de dicho sistema. El resultado del ensayo se puede observar en la Figura 2:

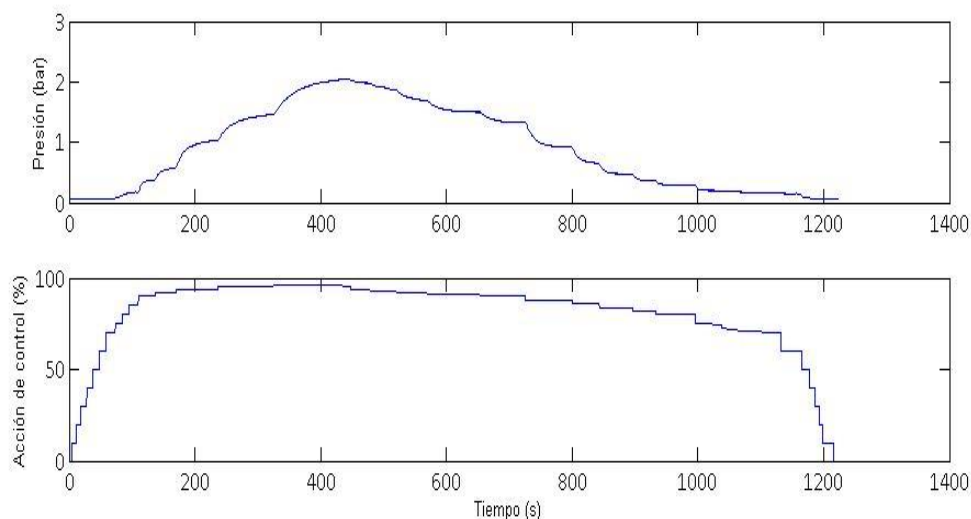
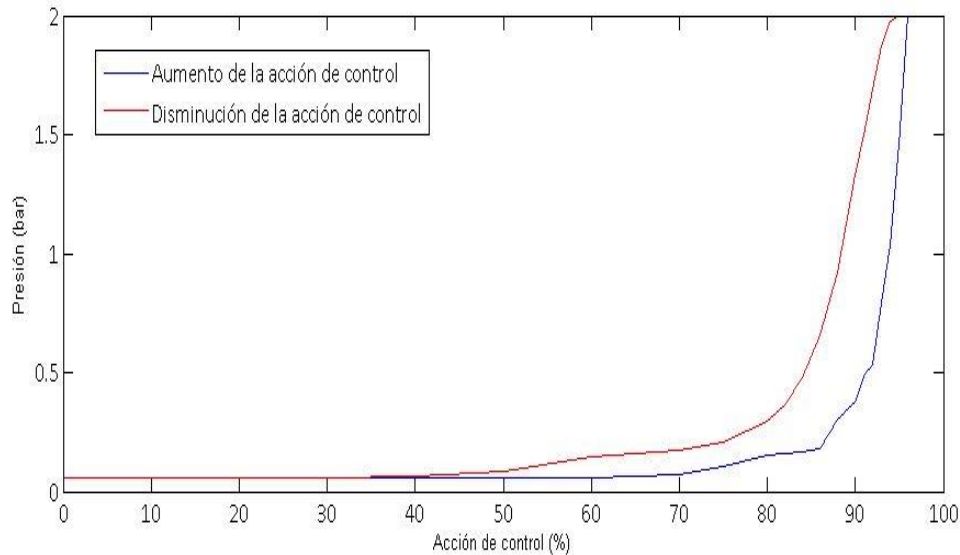


Figura 2. Ensayo de identificación

Mediante Identool, se obtienen modelos para cada escalón del ensayo y, una vez obtenidos, se calculan los modelos para las zonas de trabajo realizando la media de los parámetros de los modelos obtenidos para cada escalón de la variable manipulada.

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

Se ha escogido el método de la media de parámetros, ya que el sistema se comporta con histéresis, esto es que el sistema no se comporta de la misma forma al modificar el valor de la variable manipulada, en este caso el porcentaje de cierre de la electroválvula, en sentido ascendente que al variarlo en sentido descendente, como puede verse en la Figura 3.



**Figura 3. Comportamiento del sistema**

Al darse el fenómeno de histéresis, los modelos de subida de presión no se ajustan al proceso de bajada de presión y viceversa, por lo que se ha optado por realizar una media entre los parámetros de ambos procesos para obtener un modelo que se ajuste a una curva que se encuentre entre las curvas de subida y bajada de presión.

En la Tabla 2 se observan los modelos para los escalones obtenidos, por zonas, y el modelo final de la zona.

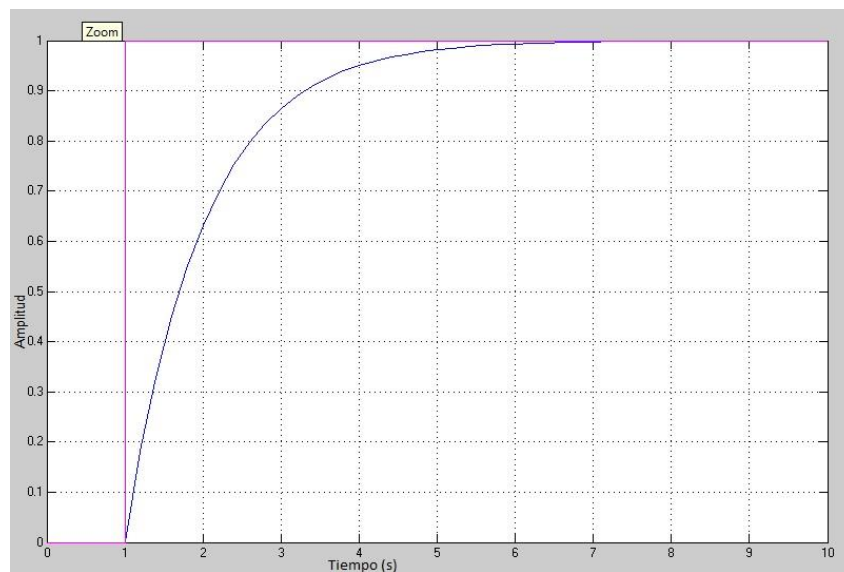
Zona de trabajo (Bar)	Modelos intermedios		Modelo de la zona
	Subida	Bajada	
0-0.15	$G_s = \frac{0.004}{1 + 18.64 * s}$	$G_b = \frac{0.00435}{1 + 7.393 * s}$	$G = \frac{0.00418}{1 + 13.019 * s}$
0.15-0.25	$G_s = \frac{0.00473}{1 + 16.44 * s}$	$G_b = \frac{0.011}{1 + 20.39 * s}$	$G = \frac{0.00787}{1 + 18.42 * s}$
0.25-0.5	$G_s = \frac{0.0555}{1 + 29.55 * s}$	$G_b = \frac{0.0371}{1 + 23.92 * s}$	$G = \frac{0.0463}{1 + 26.74 * s}$
0.5-1	$G_s = \frac{0.0155}{1 + 52.05 * s}$	$G_b = \frac{0.0115}{1 + 50.15 * s}$	$G = \frac{0.0135}{1 + 51.058 * s}$
1-2	$G_s = \frac{0.363}{1 + 111.79 * s}$	$G_b = \frac{0.183}{1 + 90.37 * s}$	$G = \frac{0.273}{1 + 101.081 * s}$

**Tabla 2. Modelos de identificación**

#### 4. Diseño de controladores.

Utilizando la herramienta “Rltool” de Matlab, la cual a partir de los modelos obtenidos anteriormente para las diferentes zonas de trabajo y, en el caso de este proyecto, aplicando la teoría de cancelación de polos se han obtenido los controladores del sistema.

Durante la realización del proyecto se ha optado por el uso de controladores tipo PID, aunque para el control de la presión no es necesario el uso de la componente diferencial de este tipo de controladores, ya que el sistema se comporta como un modelo de primer orden sin retardo, un ejemplo de este tipo de comportamiento es el que se puede observar en la Figura 4, por lo que se usará un controlador PI.



**Figura 4. Modelo de primer orden sin retardo**

Por último, los controladores obtenidos mediante la herramienta “Rltool” han sido ajustados para proporcionar un control preciso en los cuatro prototipos, esto se debe a que los prototipos no se comportan exactamente de la misma forma, y, por otra parte, el modelo obtenido no se ajustaba a la realidad ya que la histéresis no permite una identificación de modelos con un alto nivel de precisión al utilizar modelos en función de transferencia.

Las especificaciones del control de la presión requeridas en este proyecto son las siguientes:

- Un error de posición frente a entradas tipo escalón de máximo un 5%.
- Que no se produzca saturación en la variable manipulada al producirse un escalón de subida de 0,5 bares en la referencia.
- Obtener una sobreoscilación menor al 4,5% en escalones de subida de la referencia.

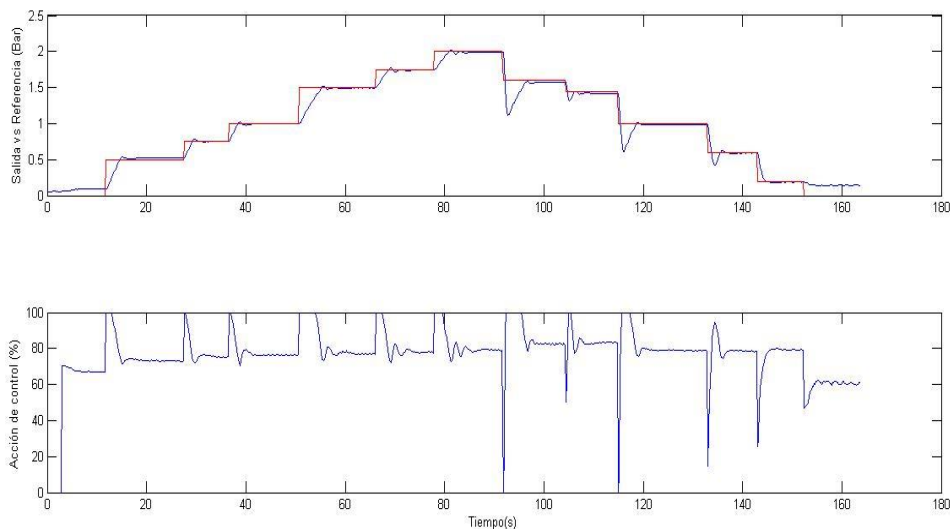
Los parámetros de los controladores se muestran en la Tabla 3, al tratarse de controladores tipo PI el parámetro  $T_d$  es siempre igual a cero:

## DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

Zona de trabajo	Parámetro	Controlador "Rltool"	Controlador final
0-0.15	Kc	225.35	100
	Ti(min)	0.217	4
0.15-0.25	Kc	118.48	160
	Ti(min)	0.307	3
0.25-0.5	Kc	78.1	98
	Ti(min)	2.244	4
0.5-1	Kc	100	132
	Ti(min)	1.25	1.5
1-2	Kc	85	210
	Ti(min)	0.59	4

**Tabla 3. Diseño de controladores**

En la Figura 5 puede verse un ensayo en bucle cerrado usando los controladores especificados para cada zona, este ensayo se usa para la validación de los controladores diseñados previamente.



**Figura 5. Validación de controladores**

Como puede observarse en la Figura 5, las especificaciones requeridas para el control que se han expuesto con anterioridad se cumplen en todas las zonas de trabajo, por lo que los controladores quedan validados.

### **5. Cálculo de la presión.**

La estabilidad del sistema se conseguirá compensando la fuerza vertical en las esquinas de la plataforma, producida por la grúa y el peso que traslada. Esta compensación se realiza por medio de tanques hinchables que producen una fuerza vertical, opuesta a la que produce la grúa, aplicando el

principio de flotabilidad, mediante la cual un volumen de agua desplazado produce una fuerza de empuje hacia arriba equivalente al peso del agua desplazada.

Se va a explicar el proceso para obtener la presión de referencia para el control de los prototipos:

En primer lugar, a partir de la fuerza ejercida, el proceso de cálculo de esta fuerza puede consultarse en el Documento 1. Memoria-Descripción del proceso-Cálculo de fuerza, se obtiene el volumen de agua desplazada que produce una fuerza de empuje de la misma magnitud aplicando la fórmula:

$$V = \frac{F}{\rho * g};$$

Siendo:

- V el volumen de agua desplazada en m<sup>3</sup>.
- F la fuerza aplicada en N.
- $\rho$  es la densidad del agua en Kg/m<sup>3</sup>.
- g la fuerza de la gravedad en N/Kg.

A continuación, se obtiene la presión en el tanque que equivale al volumen necesario aplicando la fórmula:

$$P = \frac{R * T}{V};$$

Siendo:

- P la presión de referencia en Pa.
- R la constante de los gases perfectos, 287 [N\*m/Kg\*K].
- T la temperatura del aire introducido en el tanque, se utilizará el valor de 298 K el cual se asume constante para simplificación del cálculo.

Por último, se transforma la presión de Pascales a Bares, 10<sup>5</sup> Pa → 1 Bar, obteniendo así la presión en las unidades adecuadas para el control de los prototipos.

## 6. Bibliografía.

ISA. (2013-2014). Unidad didáctica 4 de Sistemas Automáticos. Valencia: UPV.

ISA. (2013-2014). Unidad didáctica 2 de Tecnología Automática. Valencia: UPV.

ISA. (2013-2014). Unidad didáctica 3 de Tecnología Automática. Valencia: UPV.

ISA. (2013-2014). Unidad didáctica 4 de Tecnología Automática. Valencia: UPV.

Juan Manuel Herrero Durá. MANUAL DEL PROTOTIPO Nº13. EQUIPO DE PRESIÓN.



DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN  
TANQUE MEDIANTE LABVIEW

---



# DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

---

Documento N°3: Anexo de Programación

**AUTOR: Roberto Tabet Aleixandre**

**TUTOR: Juan Manuel Herrero Durá**

**Curso Académico: 2014**

## **Contenido**

1. Introducción y objetivos.....	2
2. Modelo 3D.....	2
2.1 Creación de objetos.....	4
2.2 Modificación de la posición.....	5
3. Control de prototipos.....	5
3.1 Comunicación con los prototipos.....	5
3.2 Implementación del PID.....	6
3.3 Planificación de ganancia.....	7
4. Comunicación entre programas.....	8
5. Bibliografía.....	8

## 1. Introducción y objetivos.

En este anexo se presentarán las estructuras del código en LabVIEW más importantes presentes en el proyecto, explicaremos cómo se consigue el modelo en 3D del sistema, se implementa el control sobre los prototipos y se comunican los programas que componen el software objetivo del proyecto.

## 2. Modelo 3D.

Para la obtención del modelo virtual en 3D se han utilizado una serie de funciones y estructuras presentes en LabVIEW, las cuales se van a explicar con un sencillo ejemplo a continuación.

El ejemplo consiste en una esfera, que puede cambiar de tamaño dependiendo del valor introducido en un campo de control, que rota alrededor de un poste. El código de este ejemplo ilustra el código utilizado en el programa principal del software aunque a menor escala, para mayor simplicidad y claridad en la explicación. El código utilizado para realizar el ejemplo puede verse en la Figura 1. Las funciones utilizadas en el código se explicaran más adelante.

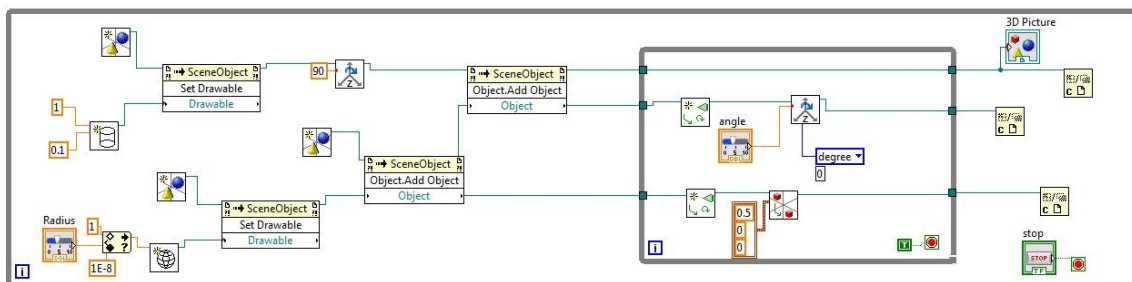


Figura 1. Código del programa de ejemplo

A continuación se explicará por medio de capturas de partes del código del ejemplo como se obtiene el modelo virtual.

El código de la Figura 2 crea la esfera, con el control que determina el radio, y crea el cilindro girándolo 90° para colocarlo en posición.

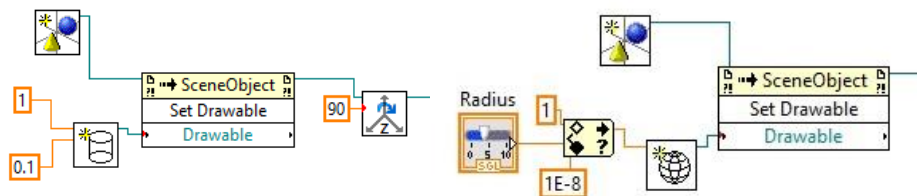


Figura 2. Crea un cilindro (izquierda) y crea una esfera (derecha)

La siguiente parte del código, Figura 3, crea la jerarquía de movimiento entre los elementos, determina que la esfera gire alrededor del cilindro.

# DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

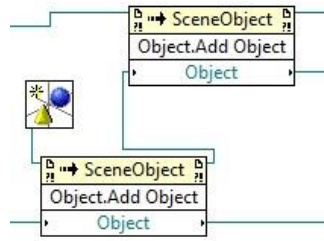


Figura 3. Jerarquía de movimientos entre objetos

El código presente en la Figura 4, determina el ángulo girado de la esfera y la distancia de la esfera al cilindro mediante las funciones 1 y 2, respectivamente.

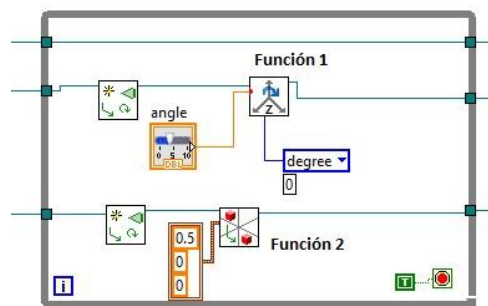


Figura 4. Movimientos de los objetos

Por último, el código de la Figura 5 representa la imagen 3D, función 3, y cierra el uso de las referencias utilizadas con la función 4.

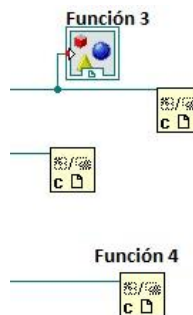
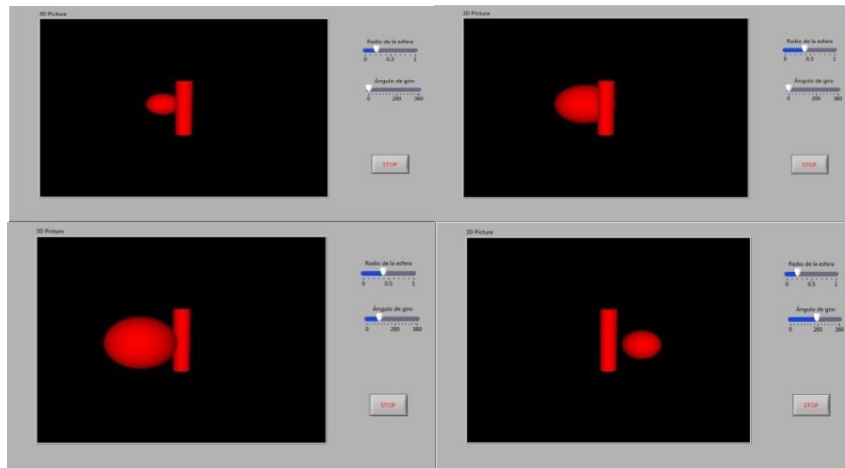


Figura 5. Representación y cierre de objetos

En la Figura 6, se puede ver una secuencia de imágenes en la que se muestra cómo funciona el código al variar los valores de los campos de control.

# DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW



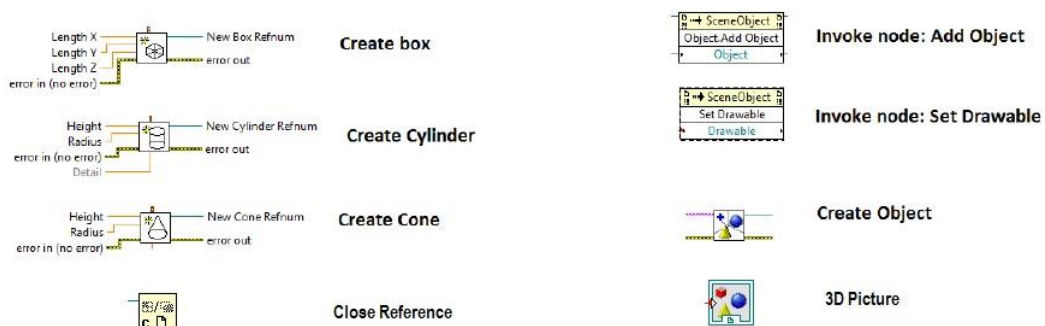
**Figura 6. Secuencia de movimientos al modificar los controles**

Las funciones utilizadas pueden dividirse en dos categorías: creación de los objetos y modificación de la posición:

## 2.1 Creación de objetos

Las funciones utilizadas para crear los objetos y representarlos son las siguientes, y su representación en LabVIEW se encuentra en la Figura 7:

- Create Object: esta función se utiliza para la creación de un nuevo elemento en la representación en 3D.
- Create box o create cylinder: con la cual se crea un prisma o un cilindro, respectivamente.
- Invoke node: mediante el uso de esta función se realiza una acción sobre una referencia. En el ejemplo y en la realización del proyecto, se utilizan dos acciones:
  - Add object, añade un objeto en una referencia.
  - Set drawable, dibuja una objeto sobre una referencia.
- 3D picture: crea una pantalla en la que se visualizan los objetos creados.
- Close reference: con esta función se cierran las referencias a las que están asociadas.



**Figura 7. Funciones para crear y representar objetos**

## 2.2 Modificación de la posición

Para modificar la posición de los objetos creados se utilizan las funciones representadas en la Figura 8, y que se explican a continuación:

- Rotate X-axis, Rotate Y-axis o Rotate Z-axis: rota un objeto respecto al eje X, Y o Z, respectivamente.
- Translate object: traslada un objeto en los ejes X, Y o Z.
- Clear transformation: elimina anteriores transformaciones.

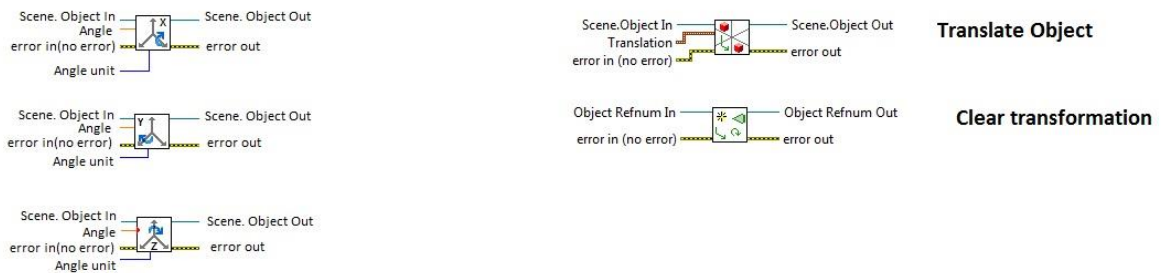


Figura 8. Funciones de transformación de objetos

## 3. Control de prototipos.

El programa encargado del control de los prototipos se compone de varias partes: comunicación con los prototipos, implementación del PID y planificación de la ganancia de los controladores. Estas partes van a ser explicadas a continuación por separado.

### 3.1 Comunicación con los prototipos.

Para la comunicación con los prototipos se emplean funciones, las cuales se presentan en la Figura 9, de acceso a la tarjeta de adquisición de datos. Además, son necesarias rectas de conversión, ya que los elementos de los prototipos funcionan con variaciones en la tensión, y el programa con unidades del sistema que se quiere controlar.

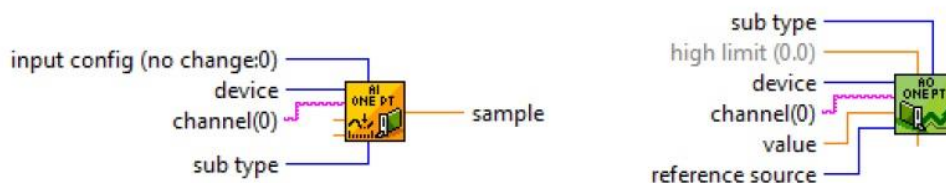


Figura 9. Drivers de lectura (izquierda) y escritura (derecha)

Estas rectas de conversión son dos:

- Recta tensión-presión, para tomar datos del sensor de presión:

$$y = \frac{x}{4} + 0.05;$$

Con x tensión de lectura del sensor e y presión obtenida.

- Recta porcentaje de cierre-tensión, para el control de la electroválvula

$$y = 0.08 * x;$$

Con x porcentaje de cierre actual e y tensión obtenida.

### 3.2 Implementación del PID.

Para la implementación del controlador tipo PID se ha programado una función, el código de la cual se muestra en la Figura 10 y se explicará a continuación:

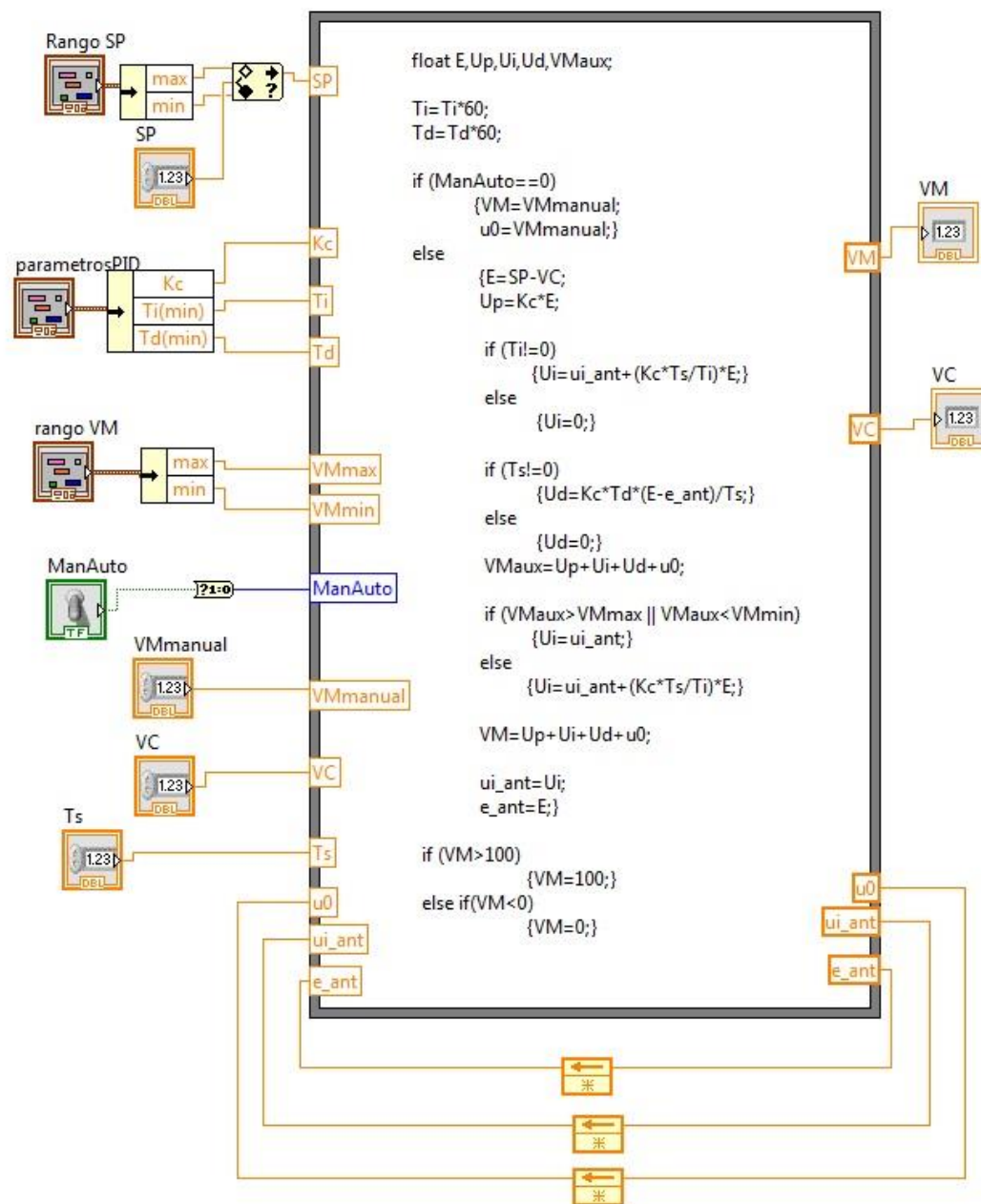


Figura 10. Código de implementación del PID



## DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

En primer lugar, dentro de la función se trabaja con los parámetros  $T_i$  y  $T_d$  en segundos, por lo que en primer lugar hay que convertirlos.

Por otro lado, el PID se implementa mediante las ecuaciones discretas que se muestran en la Tabla 1.

Descripción	Ecuación
Término proporcional	$U_p(k) = K_c * E(k)$
Término integral	$U_i(k) = U_i(k - 1) + \frac{K_c * T_s}{T_i} * E(k)$
Término derivativo	$U_d(k) = K_c * T_d * \frac{E(k) - E(k - 1)}{T_s}$
Acción de control	$U(k) = U_p(k) + U_i(k) + U_d(k)$

**Tabla 1. Ecuaciones de implementación**

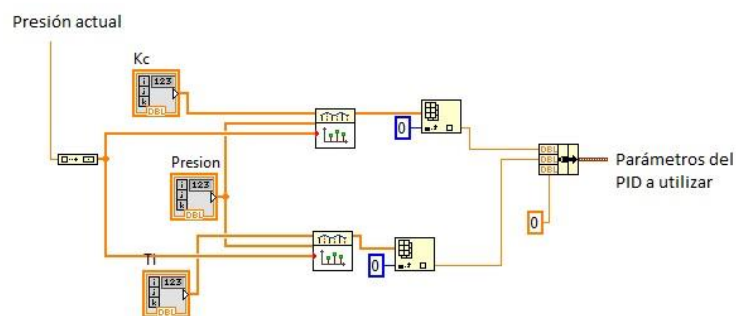
Por último, se ha introducido una acción anti-windup en el código de implementación del PID, código representado en la Figura 11. Esta parte del código evita que al producirse una saturación en la variable manipulada, VM, la acumulación del termino integral lo que produce un fallo en el control, ya que al acumularse la acción integral el sistema tarda en responder ante el siguiente cambio un tiempo proporcional al tiempo que ha estado acumulándose el termino integral.

```
VMaux=Up+Ui+Ud+u0;  
  
if (VMaux>VMmax || VMaux<VMmin)  
{Ui=ui_ant;}  
else  
{Ui=ui_ant+(Kc*T_s/T_i)*E;}  
  
VM=Up+Ui+Ud+u0;
```

**Figura 11. Código de anti-windup**

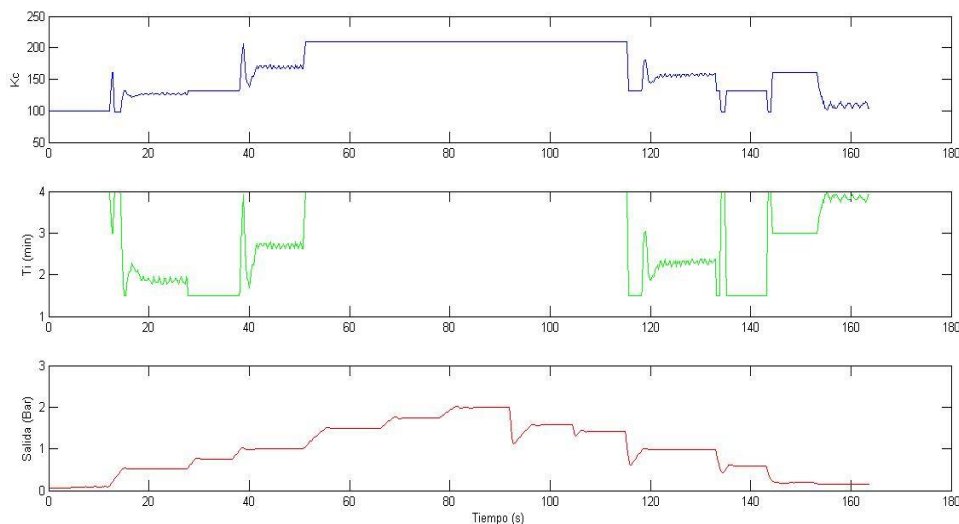
### 3.3 Planificación de ganancia.

El control por zonas de la presión se realizando una planificación de la ganancia de los parámetros de los controladores. Esto se consigue mediante el código mostrado en la Figura 12.



**Figura 12. Código de la planificación de parámetros**

Lo que se consigue al implementar este código es, dados unos valores para los parámetros de los controladores definidos por zonas, se utiliza la presión actual para determinar en qué zona se encuentra el sistema, y, mediante la función Interpolate 1D, pasa por las diferentes zonas definidas interpolando entre un valor y otro cuando es necesario. Este comportamiento se puede observar en la Figura 13.



**Figura 13. Evolución de los parámetros respecto a la presión en el tanque**

#### **4. Comunicación entre programas.**

La comunicación entre programas se realiza a través de variables compartidas, una herramienta presente en LabView, y mediante ellas se comparte información de variables, entre programas dentro de un mismo ordenador o entre ordenadores conectados a la misma red. Esto es necesario, ya que hay variables que se calculan o se obtienen sus valores en un programa y se utilizan en otro, como puede ser la referencia de presión, que se calcula en el programa de obtención de referencias y se utiliza en el programa de control o el ángulo de la grúa, que se introduce en el programa principal y se utiliza en el programa de obtención de referencias.

#### **5. Bibliografía.**

ISA. (2013-2014). Programación mediante LabVIEW para aplicación de identificación y control. Valencia: UPV.

LAzaro, A. M., & Fernandez, J. R. (2005). PROGRAMACION GRÁFICA PARA EL CONTROL DE INSTRUMENTACIÓN. PARANINFO, S.A.





# DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

---

Documento N°4: Manual de Usuario

**AUTOR: Roberto Tabet Aleixandre**

**TUTOR: Juan Manuel Herrero Durá**

**Curso Académico: 2014**

## **Contenido**

1. Introducción y objetivos.....	2
2. Manejo del interfaz. ....	2
2.1 Interfaz principal. ....	2
2.2 Programa de control.....	3
3. Instalación de la aplicación.....	4

## 1. Introducción y objetivos.

En el siguiente manual se explicará el proceso necesario para la instalación de la aplicación y se detallará la pantalla principal, el uso de cada indicador y control presentes y como afectan al modelo virtual representado, así como los elementos que componen las dos pantallas del programa de control y su uso.

## 2. Manejo del interfaz.

A continuación se explicará el uso de la interfaz del programa principal, así como el uso y la configuración del programa de control, también se incluirá las accesos concedidos por el sistema de control de usuarios, el cual está dividido en dos grupos: Usuarios (bajo nivel de acceso) y Técnicos (alto nivel de acceso).

No está permitida la manipulación de los elementos presentes en la interfaz de generación de referencias por el sistema de control de usuarios, por lo que no se explicará su uso en el manual. No se permite la manipulación ya que la función de este programa es recibir información del programa principal y enviar las referencias al programa de control.

### 2.1 Interfaz principal.

La interfaz de la aplicación puede verse en la Figura 1 y, a continuación, se va a explicar cómo funciona.

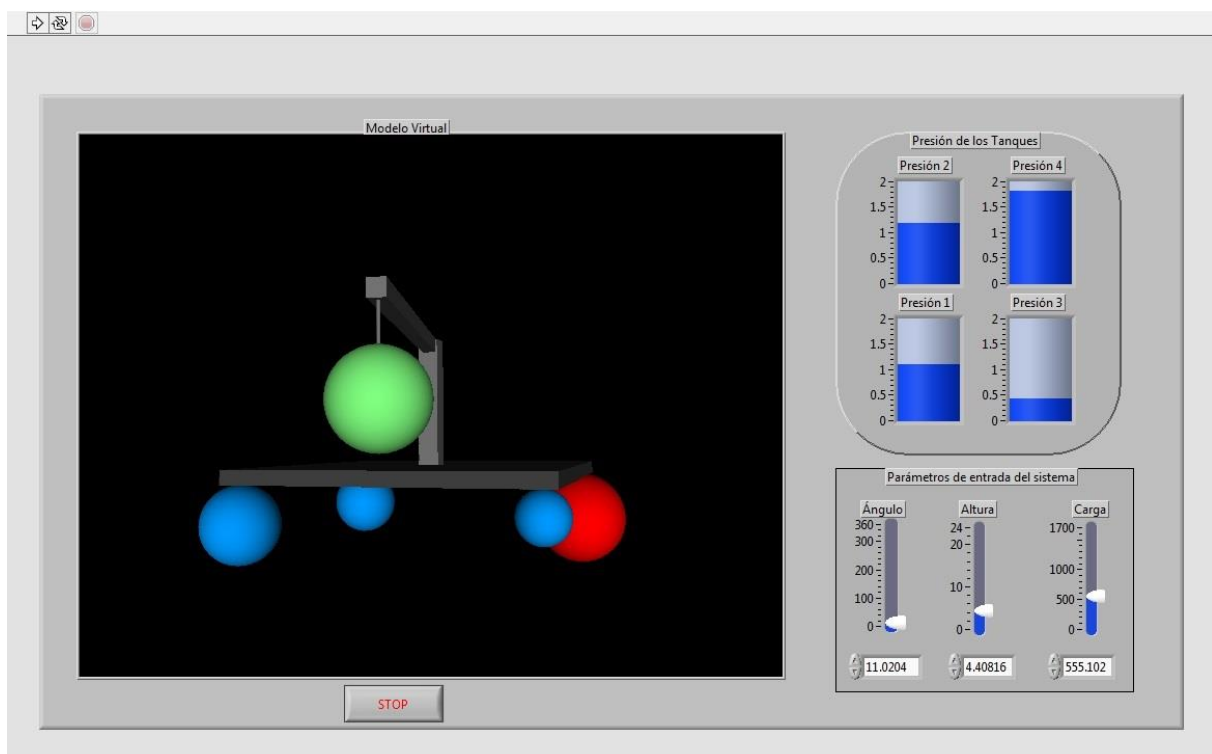


Figura 1. Interfaz Principal



## DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

En primer lugar, se encuentra la ventana en la que se representa el modelo virtual del sistema a controlar, esta ventana está etiquetada con el nombre “Modelo virtual”. EL control de este modelo se realiza mediante las barras de control “Carga”, “Ángulo” y “Altura”.

El control de la carga varia el tamaño de la carga transportada por la grúa, y el control del ángulo se encarga del ángulo girado del brazo de la grúa. Por otro lado, el control de altura determina la distancia que hay entre la carga transportada y el brazo de la grúa, visto de otra forma, controla la longitud del cable de la grúa.

En los indicadores etiquetados como “Presión en los tanques” se representa el nivel de presión en cada tanque, estos indicadores están distribuidos en la interfaz para simular su posición en el sistema con respecto al modelo representado. Se ha instalado una alarma, la cual cambia el color de la representación de la presión en el modelo virtual de azul a rojo, al superar ésta los 1.8 bares, alarma de alta presión en los tanques.

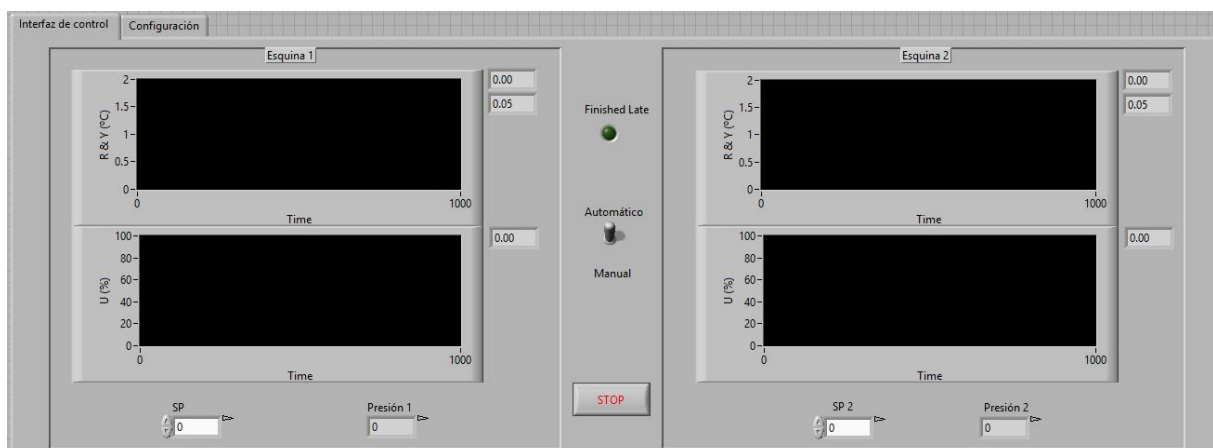
Se puede observar el funcionamiento de la alarma en la Figura 1. Interfaz Principal, donde la presión 4 ha superado los 1.8 bares, por lo que se representa con una esfera roja.

Por último, el inicio y la parada de la aplicación se realizan mediante los botones , situado en la parte superior izquierda de la pantalla, y , situado debajo del modelo virtual de la plataforma, respectivamente. Esta combinación de botones utilizados para el inicio y parada de la aplicación se cumple para los tres programas presentes en el software.

Con respecto al control de usuarios, el acceso a la interfaz principal está permitido a cualquier usuario, con la excepción del control de la cámara del modelo virtual que solo puede modificarse por el grupo de Técnicos.

### **2.2 Programa de control.**

El uso del programa de control está reservado al grupo de Técnicos, ya que se encarga en exclusiva del control de prototipos, el grupo Usuarios puede visualizar las pantallas que componen el programa de control pero no manipularlas. El programa tiene dos partes: la interfaz de control y la pantalla de configuración. La interfaz de control se puede ver en la Figura 2.



**Figura 2. Interfaz de control**

## DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

La mayoría de elementos son indicadores, y los controles presentes reciben información del programa de generación de referencias mediante variables compartidas, por lo que no se permite su manipulación.

Por otro lado, la pantalla de configuración, la cual se presenta en la Figura 3. Interfaz de configuración del control, permite variar los parámetros de los controladores al igual que la amplitud de las zonas de trabajo, esto se realiza en los campos “Parámetros del PID” y “Zonas de trabajo”, respectivamente. También permite variar los límites del rango de la referencia y de la variable manipulada mediante los campos “Rango SP” y “Rango VM”.

Se han colocado dos columnas de parámetros para los controladores, cada una hace referencia a una esquina controlada por el programa. Esto se ha hecho para dar la posibilidad de usar controladores diferentes dependiendo del prototipo, resolviendo el problema de comportamiento excesivamente dispar entre los prototipos.

Por último, se ha introducido el control de la amplitud de las zonas de trabajo para dar la posibilidad al técnico de variar las zonas en las que trabaja cada controlador, si fuera necesario.

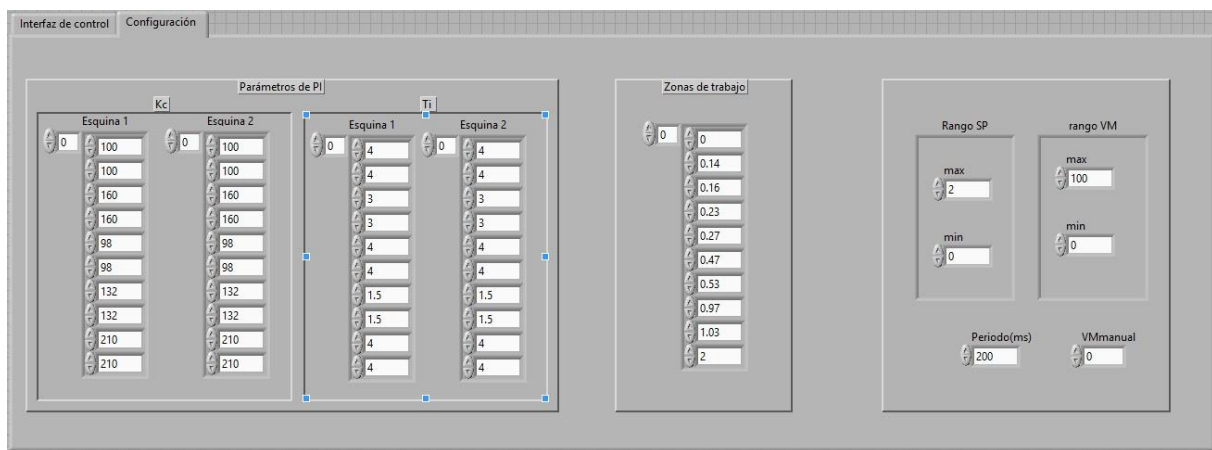


Figura 3. Interfaz de configuración del control

### 3. Instalación de la aplicación.

La aplicación necesita para su uso la herramienta “Run in Time” de LabVIEW, por lo que necesita de la instalación previa de LabVIEW versión 13.0. Por otro lado no es necesario mayor instalación, únicamente iniciar las aplicaciones correspondientes a los programas utilizados y controlarlo todo desde la aplicación principal en la que se encuentra el modelo virtual.



DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN  
TANQUE MEDIANTE LABVIEW

---



# DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

---

Documento N°5: Presupuesto

**AUTOR: Roberto Tabet Aleixandre**

**TUTOR: Juan Manuel Herrero Durá**

**Curso Académico: 2014**

## **Contenido**

1. Introducción.....	2
2. Presupuesto.....	2
2.1 Unidades de obra.....	2
2.2 Cuadro de precios.....	2
2.2.1 Mano de obra.....	2
2.2.2 Materiales.....	3
2.2.3 Precios unitarios.....	4
2.2.4 Precios descompuestos.....	4
2.3 Presupuesto de ejecución material.....	5
2.4 Presupuesto de ejecución por contrata.....	5

## 1. Introducción.

En este documento se va a realizar el estudio económico del proyecto realizado. Al ser un proyecto que trata de la realización de un programa informático, se planteará de forma diferente a estudios económicos realizados para proyectos de otras áreas, como puede ser la construcción.

Para la estimación del presupuesto se va a tener en cuenta que el proyecto ha sido realizado por un Graduado de Ingeniería en Tecnologías Industriales, trabajando en una empresa dedicada a la producción de softwares informáticos.

Se tendrá en cuenta también, que el programa se ha desarrollado empleado un modelo específico de tarjeta de adquisición de datos (AD-Link PCI-9112), la cual ha sido proporcionada por la empresa, al igual que los prototipos necesarios para el desarrollo del proyecto, por lo que no se incluirá el coste de dichos elementos en el presupuesto.

Por último, se tendrá en cuenta que el proyecto se realiza como un Trabajo Fin de Grado, por lo que no se tendrá en cuenta el IVA en los precios estimados, pero si se incluirán, tanto los el beneficio industriales como los gastos generales en el precio final de proyecto.

## 2. Presupuesto.

En este apartado se definirán las unidades de obra, los cuadros de precios, tanto unitarios como descompuestos, el presupuesto de ejecución material y presupuesto de ejecución por contrata.

### 2.1 Unidades de obra.

El proyecto se ha dividido en dos unidades de obra, las cuales se definirán a continuación:

- **UO.1 Montaje y mantenimiento de equipos:** en esta unidad están incluidos el montaje, transporte, revisión y puesta a punto de los elementos necesarios para la realización de los ensayos, tanto softwares informáticos (LABVIEW, Matlab, Windows y Microsoft Office) como prototipos, tarjeta de adquisición de datos, ordenador y fuente de alimentación.
- **UO.2 Desarrollo del software:** se incluyen el tiempo utilizado para la programación de a aplicación, la identificación del sistema y el diseño de controladores, al igual que la búsqueda de información en fuentes, uso de software y hardware necesario.

### 2.2 Cuadro de precios.

A continuación se presentaran los cuadros de precios de los siguientes apartados:

- **Mano de obra:** jornal de la mano de obra implicada en el proyecto, tanto mano de obra directa como indirecta.
- **Materiales:** amortización del software y hardware utilizado.

#### 2.2.1 Mano de obra.

En el proyecto realizado se tiene como mano de obra directa a un Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, y como mano de obra indirecta se tienen dos técnicos que, aunque realizan el mismo trabajo, uno cubre el turno de mañanas y el otro el turno de tardes.

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

---

El cuadro de precios asociado a la mano de obra indirecta, teniendo en cuenta que los técnicos se valoran como técnicos de mantenimiento es que se muestra en la Tabla 1:

COSTES	TOTAL (€)
Salario base (220 días/año)	14000
Pluses(transporte, herramientas, etc.)	1500
Seguridad social	4650
Extras (Vacaciones)	4000
Otros (días y horas extra)	1000
Total al año	25150
Total por jornada (8 horas)	114.3
Total por hora	14.28

**Tabla 1. Coste de mano de obra indirecta.**

En montaje, revisión y mantenimiento de software y equipos necesarios cada técnico emplea dos horas de su horario semanal, al tratarse de un proyecto de un mes y medio (12 semanas) se obtienen 24 horas de trabajo en el proyecto por parte de la mano de obra indirecta.

Por otra parte, el cuadro de precios asociado a la mano de obra directa esta descrito en la Tabla 2:

COSTES	TOTAL (€)
Salario base (220 días/año)	20000
Pluses(transporte, herramientas, etc.)	1500
Seguridad social	6660
Extras (Vacaciones)	5050
Otros (días y horas extra)	1250
Total al año	34460
Total por jornada (8 horas)	156.63
Total por hora	19.6

**Tabla 2. Coste de mano de obra directa.**

Teniendo en cuenta que el Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales trabaja 8 horas al día durante el mes y medio de duración del proyecto, y teniendo en cuenta que cada mes tiene 22 días laborables, el tiempo empleado por la mano de obra directa es:

$$Tiempo invertido = 1.5 * 22 * 8 = 246.4 \text{ horas}$$

### **2.2.2 Materiales.**

En cuanto a los materiales utilizados se pueden dividir en dos partes: software (programas) y hardware (equipos); si los cuales no habría sido posible la realización del proyecto. El coste de software se refiere a la amortización de las licencias, las cuales se suponen amortizables en un año, aproximadamente 1800 horas., por lo que el precio de cada software se calcula como:

$$Precio(€/h) = \frac{Licencia(€/año)}{1800(h/año)},$$

## DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE MEDIANTE LABVIEW

En la Tabla 3 se pueden observar el precio de cada software, junto a su respectiva licencia, destacando que la licencia de Matlab se renueva cada dos años y la de Windows 7 cada tres.

Software	Licencia (€)	Precio (€/h)
LabView	1080	0.6000
Matlab	1000	0.5500
Microsoft Office	70	0.0389
Windows 7	100	0.0555

**Tabla 3. Cuadro de precios de software.**

Se tiene en cuenta solo una licencia de cada software, ya que solo es necesaria la licencia para el ordenador del desarrollador de la aplicación, al igual que como equipo solo tendremos en cuenta el ordenador del desarrollador, ya que se considera que el resto de componentes necesarios son propiedad de la empresa y se facilitan al inicio del proyecto.

Por lo tanto, como cuadro de precios de amortización de hardware obtenemos la Tabla 4:

Hardware	Precio (€)	Precio a amortizar(€/h)
Ordenador y periféricos	800	0.91

**Tabla 4. Cuadro de precios de hardware.**

En el caso del hardware, la amortización se produce en el periodo de 4 años (880 horas laborales), ya que la empresa se dedica a desarrollo de software y, por lo tanto, debe tener los equipos actualizados. Por lo que la amortización del hardware se realiza mediante la expresión siguiente:

$$\text{Precio a amortizar(€/h)} = \frac{\text{Precio(€)}}{880(h)};$$

### **2.2.3 Precios unitarios.**

Para obtener el precio unitario de cada unidad de obra se han sumado los recursos específicos de cada unidad de obra, y después multiplicando por la medición en horas trabajadas se obtiene el importe final de cada unidad de obra. Estos tres datos pueden verse en la Tabla 5.

Unidad de obra	Precio (€/h)	Medición (h)	Importe final (€)
<b>UO.1 Montaje y mantenimiento de los equipos</b>	28.56	24	685.44
<b>UO.2 Desarrollo del software</b>	21.75	246.4	5359.2

**Tabla 5. Tabla de precios unitarios**

### **2.2.4 Precios descompuestos.**

En la Tabla 6 se presentan los precios descompuestos, en los que se incluyen los recursos de cada unidad de obra.

Descripción	Importe (€/h)
<b>UO.1 Montaje y mantenimiento de los equipos</b>	
1.1 Técnico de mantenimiento de mañanas	14.2800
1.2 Técnico de mantenimiento de tardes	14.2800
<b>UO.2 Desarrollo del software</b>	
2.1 Amortización de LabView	0.6000
2.2 Amortización de Matlab	0.5500
2.3 Amortización de Microsoft Office	0.0389
2.4 Amortización de Windows 7	0.0555
2.5 Amortización de ordenador y periféricos	0.9100
2.6 Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	19.6000

Tabla 6. Cuadro de precios descompuestos

### 2.3 Presupuesto de ejecución material.

A continuación, se obtiene el presupuesto de ejecución por contrata aplicando la expresión siguiente:

$$\text{Precio de ejecución material} = P_{UO.1} + P_{UO.2} = 685.44 + 5359.2 = \mathbf{6044.64\text{€}}$$

### 2.4 Presupuesto de ejecución por contrata.

Al añadir al presupuesto de ejecución material el beneficio industrial y los gastos generales, 6% y 23% respectivamente, se obtiene el presupuesto de ejecución por contrata.

$$\text{Presupuesto de ejecución por contrata} = (1 + 0.06 + 0.23) * 6044.64 = \mathbf{7797.59\text{€}}$$