

---

# REDISEÑO DEL SISTEMA DE TANQUES EN CASCADA UBICADO EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

**Daniel Jaramillo Osorio\***

Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingenierías,  
Departamento de Ingeniería Mecánica,  
Medellín, Antioquia, Colombia  
Octubre-2012

\*Danieljaramillo62@hotmail.com

## Resumen

Con este artículo se pretende mostrar los inconvenientes del sistema actual y se desglosa elemento por elemento mostrando su condición actual y si puede ser reutilizado o no. Además de esto se muestran los resultados del rediseño del sistema de tanques en cascada, exponiendo las propuestas de rediseño o estrategias de control, con costos finales y elementos necesarios para su montaje.

**Palabras clave:** Sistema de tanques en cascada, propuestas de rediseño, estrategias de control, Costos, montaje.

## 1. Introducción

Este artículo se muestra cuáles fueron los resultados del proceso de rediseño del sistema de tanques ubicado en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad pontificia bolivariana, , este inicia por la necesidad de mejorar las condiciones del sistema, ya que durante las prácticas de laboratorio realizadas, se ven afectadas por algunos elementos que ya deben de ser reemplazados por los años de uso o por diferentes condiciones del equipo. Además de lo anterior surge la necesidad de implementar diferentes tipos de estrategias de control tales como: control digital, inteligente, entre otros, que con los elementos actuales no es posible, debido a que estos no poseen la suficiente tecnología para hacerlo.

## 2. Sistema de tanques en cascada

En esta parte del artículo se muestran cuáles fueron las oportunidades de mejoras identificadas y cuáles son las alternativas de solución propuestas.

### 2.1. Inconvenientes del sistema

El sistema de tanques presenta diferentes dificultades a la hora de trabajar en este sistema, debido al estado de alguno de los instrumentos que lo componen, en la Tabla 1 se muestran los instrumentos que no funcionan de forma correcta y cuál es el problema, en tal caso que no tengan ninguno, pero sea recomendable su cambio para mejorar el funcionamiento también se mencionan en la Tabla 1.

el sistema de tanques presenta limitantes en cuanto a las variables que se pueden controlar, solo se controla el nivel en los dos tanques y no permite la implementación de estrategias de control por computador

Tabla 1. Componentes con problemas de funcionamiento en el sistema de tanques en cascada

Instrumento o equipo	Dificultad	Comentario
Válvula de control	Histéresis/fugas en el cuerpo	Debe de ser remplazada, muchos años de uso.
Bomba	Histéresis	Debe de ser remplazada, muchos años de uso.
Motor de la bomba	Dificultad de arranque en algunos momentos.	Debe de ser remplazado, por un motor trifásico para implementar un variador de velocidad.
Manómetros	Afectados por vibraciones	Se recomienda que los que están más próximos a la bomba sean remplazados por manómetros con glicerina
convertidor/ posicionador	Error de cero	Se recomienda su cambio sí, se reemplaza la válvula. En caso contrario se recomienda su calibración.
tanques	Desnivel	Por estética y para poder implementar diferentes vertederos

investigación y no solo como proceso industrial a escala.

### 2.2.1. Selección de la configuración para el proceso

En sistemas automatizados se pueden tener varios tipos de estrategias de control según los elementos que estén instalados, las siguientes estrategias están basadas en diferentes elementos de control como lo son un PID (controlador industrial), control por computador y PLC.

#### 2.2.1.1. Propuesta A

Esta propuesta consiste en dejar el sistema como esta, pero reemplazando algunos equipos obsoletos y agregar el medidor/transmisor de flujo, como se puede ver en la Fig. 1.

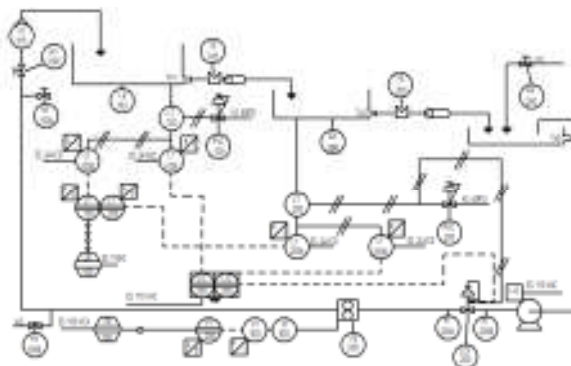


Fig. 1. Propuesta A

#### 2.2.1.2. Propuesta B

Esta propuesta consiste en conservar el principio de funcionamiento del sistema pero agregándole diferentes elementos como medidores de flujo y un variador de velocidad para la bomba, con el objetivo de realizar control de flujo y nivel, por medio del controlador, como se puede ver en la Fig. 2.

## 2.2. Alternativas de solución

En esta sección se define el tipo de instrumentación que va estar ubicada en el nuevo sistema con base en la estrategia de control. Los criterios de selección están establecidos buscando que el sistema de tanques cumpla con su labor como proceso utilizado para la docencia y la

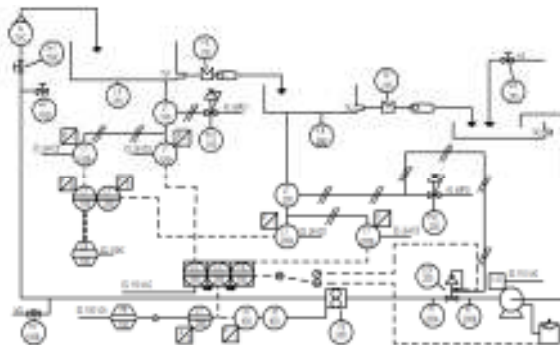


Fig. 2. Propuesta B

### 2.2.1.3. Propuesta C

Esta propuesta consiste en conservar el principio de funcionamiento del sistema pero agregándole diferentes elementos como medidor/transmisor de flujo, un variador de velocidad para la motobomba y con un aliciente que el control podría ser realizado con el PLC o con el computador como se ve en la Fig. 3.

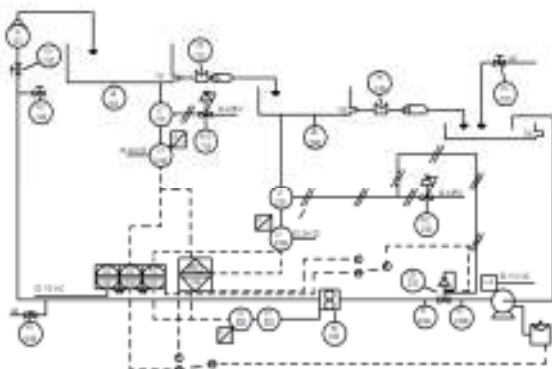


Fig. 3. Propuesta C

### 2.2.1.4. Selección de la propuesta más adecuada

En la Tabla 2 se muestra cuáles fueron los criterios de selección para la configuración más adecuada del sistema.

Se debe aclarar que el escalafón utilizado para la calificación de la propuesta es 1-insuficiente, 2-regular, 3-Aceptable, 4-bueno y 5-excelente, y la propuesta seleccionada será la que mayor valor obtenga después de sumar todos los valores de los criterios de selección.

Para evaluar las propuestas se definieron los siguientes criterios:

- Versatilidad: Posibilidad de realizar diferentes estrategias de control en el sistema.

- Tecnología: Consiste en evaluar cada una de las propuestas en términos tecnológicos, como sensores, tipos de elementos de control y posibilidades de implementación de nuevas estrategias.
- Facilidad de operación: Esto depende del usuario del sistema, pero se evalúa si se pueden realizar prácticas de pregrado, hasta prácticas de posgrado.

Tabla 2. Selección de la propuesta de instrumentación

Propuesta	A	B	C
Versatilidad	3	4	5
Tecnología	2	4	5
Facilidad de operación	4	5	5
Total	9	13	15

Según la tabla anterior para cumplir todas las especificaciones la propuesta más adecuada es la C.

## 3. Resultados

En este apartado se presenta la configuración final de cada propuesta, con tabla de costo. Además de esto se presentan las recomendaciones que se deben tener en cuenta a la hora del montaje.

### 3.1. Configuración del sistema

Luego de todos los estudios realizados el sistema de tanques queda conformado por los elementos que se ven en la Tabla 3 de forma detallada, además se presenta cuáles de estos pueden ser reutilizados del sistema actual y cuales deben de ser reemplazados.

Tabla 3. Elementos del sistema de tanques

Elemento	Cantidad	Puede ser reutilizado
Estructura	2	Si
Tanques	3	Si
Válvula de control	1	No
	1	No
Posicionador neumático		
Manómetro 1 Bar	2	Si
Manómetro 2 Bar	2	Si
Flujometro de turbina	1	No existe en el sistema actual
Rotámetro	1	Si
Transmisor de presión	2	No existe en el sistema actual
Regulador de presión	2	No
Convertidor	1	No
PLC	1	No existe en el sistema actual
Controlador	1	Si
Bomba centrífuga	1	No
Variador de velocidad	1	No existe en el sistema actual
Fuente	1	No existe en el sistema actual

## 4.2. Propuestas de rediseño

Las propuestas de rediseño son principalmente dos, las cuales consisten en tener una propuesta con todo el laboratorio nuevo eso quiere decir, tanques, estructura, toda la instrumentación, variador de velocidad, PLC y únicamente reutilizando el controlador PID que se encuentra en el laboratorio.

### 4.2.1. Estrategia 1

En la Tabla 4 se muestra todos los elementos y requerimientos para montar un sistema completamente nuevo, con su respectivo costo por ítem y costo total.

### 5.2.2. Estrategia 2

En la Tabla 5 se muestran todos los elementos y requerimientos para montar el sistema reutilizando elementos como tanques, estructura, controlador, manómetros, rotámetro.

Tabla 4. Estrategia 1

Instrumento	Proveedor	Cantidad	Costo	Costo total
Válvula + posicionador	Instruequipos	1	\$ 4.375.000	\$ 4.375.000
Transmisor de nivel	Instruequipos	2	\$ 388.512	\$ 777.024
Regulador de presión	Instruequipos	1	\$ 55.000	\$ 55.000
PLC	Coldecón (2)	1	\$ 4.508.400	\$ 4.508.400
Medidor de flujo	GIC ingeniería(1)	1	\$ 2.204.800	\$ 2.204.800
Bomba con variador de velocidad	Master	1	\$ 1.160.000	\$ 1.160.000
Fuente	GIC ingeniería	1	\$ 391.600	\$ 391.600
Manómetro (0-30 psi)	Instruequipos	1	\$ 31.800	\$ 31.800
Manómetro (0-15 psi)	Instruequipos	2	\$ 31.800	\$ 63.600
Estructura	Inversiones superior	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
TK1	Inversiones superior	1	\$ 900.000	\$ 800.000
TK2	Inversiones superior	1	\$ 800.000	\$ 800.000
Montaje	GIC ingeniería	1	\$ 4.600.000	\$ 4.600.000
			<b>Total</b>	<b>\$ 21.267.224</b>

Tabla 5 Estrategia 2

Instrumento	Proveedor	Cantidad	Costo	Costo total
Válvula + posicionador	Instruequipos	1	\$ 4.375.000	\$ 4.375.000
Transmisor de nivel	Instruequipos	2	\$ 388.512	\$ 777.024
Regulador de presión	Instruequipos	1	\$ 55.000	\$ 55.000
PLC	Coldecón (2)	1	\$ 4.508.400	\$ 4.508.400
Medidor de flujo	GIC ingeniería(1)	1	\$ 2.204.800	\$ 2.204.800
Bomba con variador de velocidad	Master	1	\$ 1.160.000	\$ 1.160.000
Fuente	GIC ingeniería	1	\$ 391.600	\$ 391.600
Montaje	GIC ingeniería	1	\$ 4.600.000	\$ 4.600.000
			<b>Total</b>	<b>\$ 18.071.824</b>

### 3.3. Recomendaciones

Para realizar un buen rediseño y concluir de forma exitosa el proyecto se recomienda implementar como mínimo los cambios mencionados en la segunda propuesta así el sistema mantendrá las condiciones actuales de operación, pero llevando mediciones y permitirá la implementación de una amplia gama de controles, además le agrega valor a las prácticas tanto de pregrado, como de posgrado.

Si por temas presupuestales no se puede implementar ninguna de las dos propuestas, al menos se recomienda cambiar el sistema de red de tuberías, la bomba y la válvula de control, ya que

están obsoletos y no funcionan de forma correcta afectando así los resultados de las prácticas realizadas en el laboratorio.

Se recomienda a la hora de implementar el sistema, volver a cotizar con los proveedores seleccionados, los instrumentos que se vayan a comprar, ya que por el paso del tiempo este valor pudo haber cambiado.

### 5. Conclusiones

Se realizó la identificación del sistema actual, ya que con base se analizó de una forma clara y detallada cada una de las oportunidades de mejora que tiene el proceso y además de esto se detectaron unas necesidades extras que le pueden dar un mayor valor agregado al sistema.

Se seleccionó la instrumentación, para esto fue necesario tener muy claro cuáles son las necesidades que tiene el proceso actualmente y

cuáles son las necesidades a futuro, para así presentar alternativas que no se excedan en costos y puedan cumplir con las necesidades actuales y posteriores del sistema.

Al generar alternativas de solución (Propuestas de rediseño) se tuvieron en cuenta las necesidades del cliente y las restricciones de diseño que posee el sistema, de esta manera se estableció un balance entre costo y beneficio.

La tecnología que se propone implementar es la que se está usando en la industria y acerca mucho más al estudiante al día a día de un proceso automatizado. También se debe observar la parte del costo total de la implementación aunque es un proyecto académico y no tiene retorno de inversión, las ganancias son netamente académicas.

Es de resaltar que la relación con los proveedores fue muy variable durante todo el proyecto, ya que cuando se cotiza como estudiante la respuesta fue mínima o nula y cuando se cotiza por medio de una empresa reconocida en el medio como Cristalería Peldar S.A. la respuesta por parte de algunos es casi inmediata y con una atención mucho más personalizada. Se debe aclarar que no todas las cotizaciones se realizaron por medio de Cristalería Peldar S.A., solo se tomó este camino cuando fue necesario para culminar el proyecto.

## 6. Referencias

- Creus Solé, A. (1997). *Instrumentación Industrial*. Barcelona: Marcombo.
- Dorf, R., & Bishop, R. (2005). *Sistemas de control moderno*. Madrid: Prentice Hall.
- Ferdinan, B., & Russell Johnston. (1994). *Mecánica de materiales*. Bogota: McGraw-Hill.
- Hoyos, M. (s.f.). *EAFIT*. Recuperado el 15 de Febrero de 2010, de [www.eafit.edu.co](http://www.eafit.edu.co)
- MATAIX, C. (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Madrid: Castillo.
- Murillo Hoyos, H. A. (s.f.). *Universidad EAFIT*. Recuperado el 15 de Febrero de 2010, de <http://www.eafit.edu.co/Eafit/Templates/CentroLaboratorios/Index.aspx?NRMODE=Published&NRORIGINALURL=%2fEafitCn%2fCentroLaboratorios%2fdocentes%2flaboratorios%2flab%2bControl%2bdigital.htm&NRNODEGUID={1A5E8CE1-FFB8-4A0C-9DCF-6208762B7ED9}&NRCACHEHINT=NoMo>
- Posada Restrepo, N. L. (2009). *Implementación de observadores en un sistema de tanques en cascada*. Medellín: UPB.
- Posada Restrepo, N. L. (2009). Ingeniería de control 1. *Instrumentación*. Medellín: UPB (Notas de clase).
- Universidad de León*. (s.f.). Recuperado el 15 de febrero de 2010, de [http://images.google.com.co/imgres?imgurl=http://arvc.umh.es/ceaRsc/doc/Maqueta4tanques.jpg&imgrefurl=http://arvc.umh.es/ceaRsc/&usq=\\_\\_5VNaNN3TjfCxnsgsoWNVjlUtyP8E=&h=1017&w=945&sz=188&hl=es&start=11&um=1&itbs=1&tbnid=G6Td\\_-8bd8hfiM:&tbnh=150&tbnw=139&prev](http://images.google.com.co/imgres?imgurl=http://arvc.umh.es/ceaRsc/doc/Maqueta4tanques.jpg&imgrefurl=http://arvc.umh.es/ceaRsc/&usq=__5VNaNN3TjfCxnsgsoWNVjlUtyP8E=&h=1017&w=945&sz=188&hl=es&start=11&um=1&itbs=1&tbnid=G6Td_-8bd8hfiM:&tbnh=150&tbnw=139&prev)