

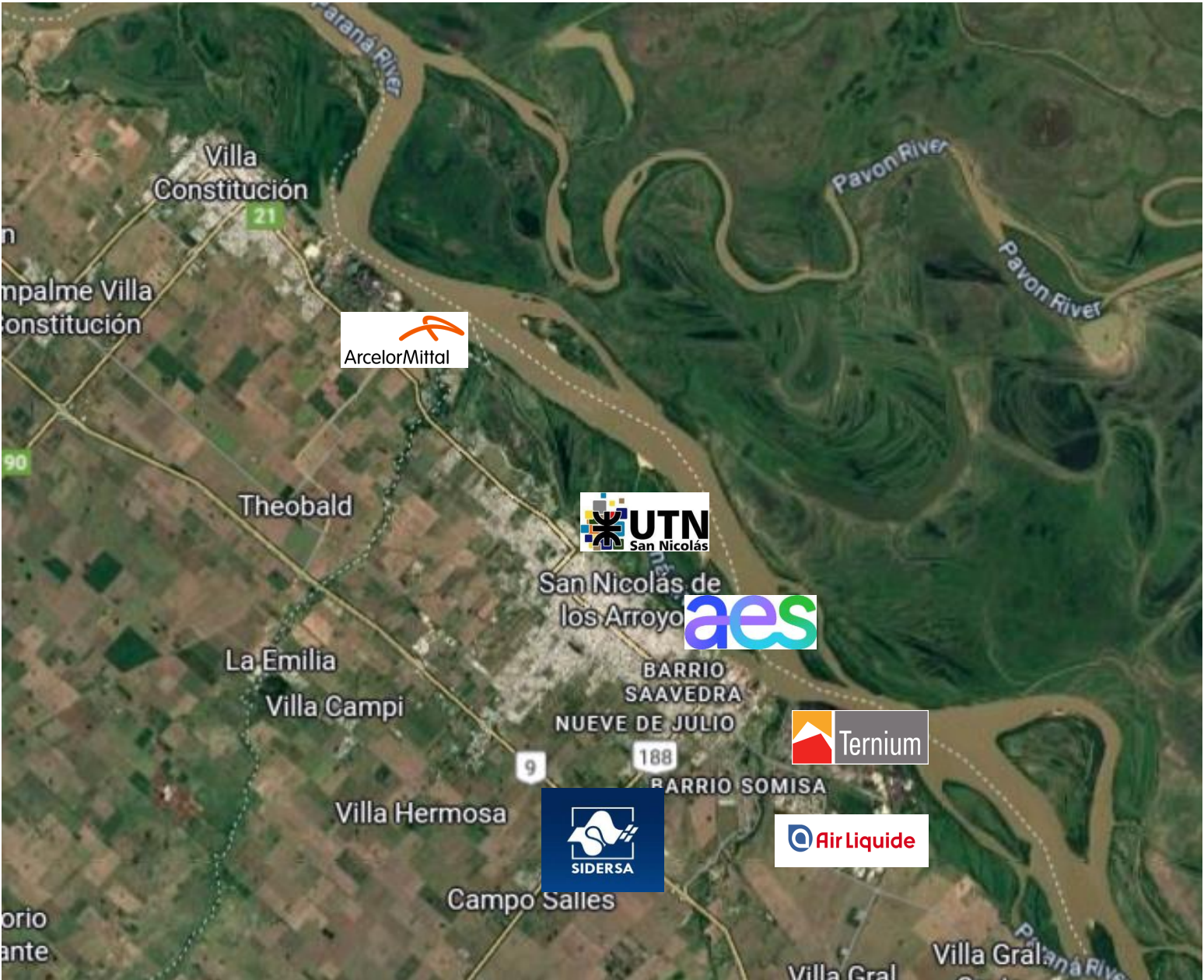
# Diseño de sistema de control de nivel de tanque doble

Alejandro Lucchesi, Guillermo Campomar, Hernán Herrera

Grupo de Estudios de Sistemas de Control (G.E.Si.C.)

Facultad Regional San Nicolás - U.T.N.

# Contexto

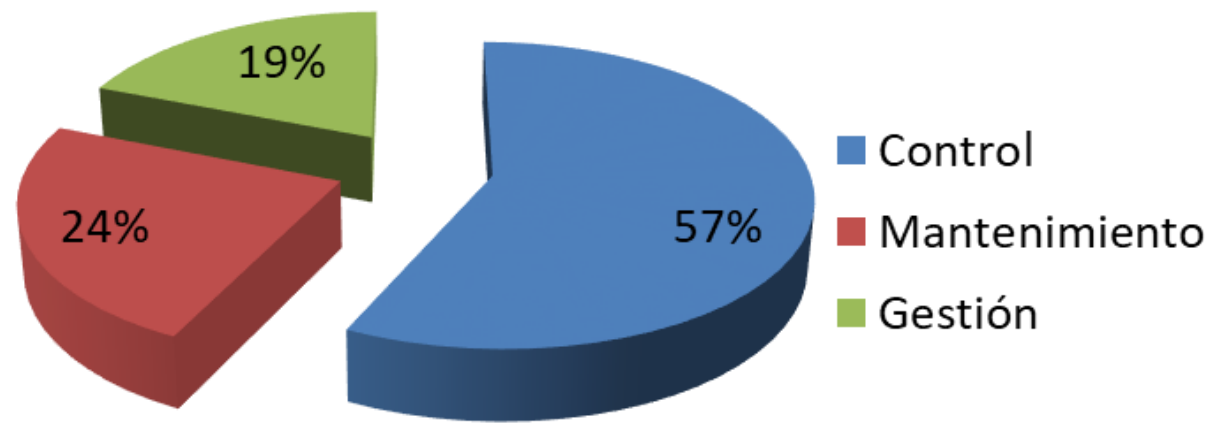
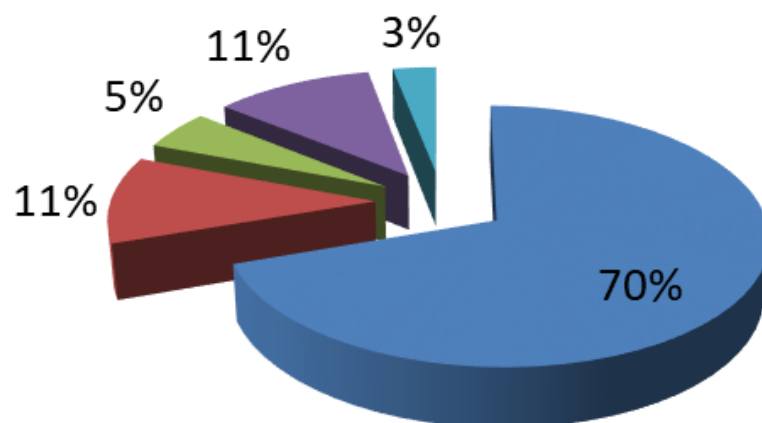


# Contexto

## Relevamiento Egresados Ing. Electrónica (2015)



- Industria
- Investigación y docencia
- Salud
- Empresa Propia
- Agroindustria



# Introducción

Laboratorio de Sistemas de Control



Objetivo: Formación de los alumnos basado en el Aprendizaje Activo

- Alumnos involucrados en las actividades.
- El énfasis esté en el desarrollo de las habilidades del alumno.
- Los estudiantes realicen análisis, síntesis y evaluación.
- Los alumnos exploren sus propias aptitudes

# Introducción

## Banco didáctico control de nivel de tanque doble



- Control mediante P.L.C.
- Entradas / salidas remotas mediante Ethernet.
- Medición de nivel mediante transmisores de presión manométricos.
- Bomba centrífuga accionada mediante variador de velocidad para trasvase tanque inferior a superior.
- Válvula automática tipo globo para purga de agua.
- Válvula manual de entrada de agua al tanque inferior.



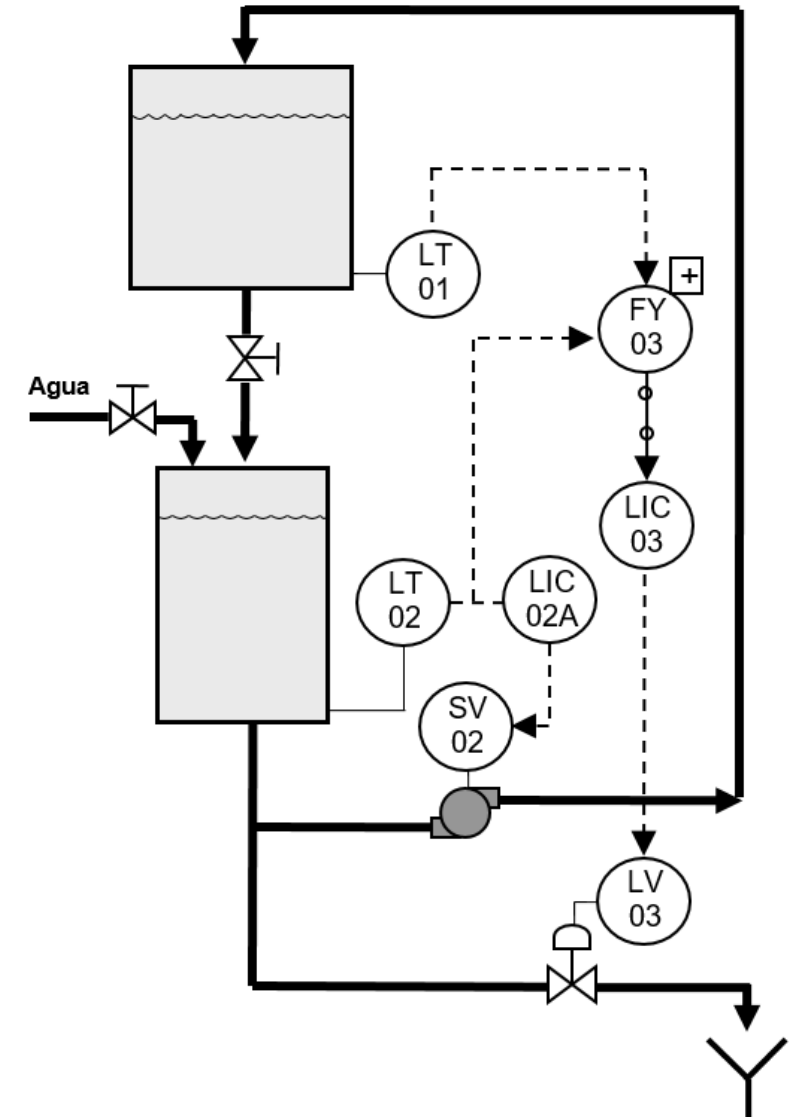


# Introducción

## Banco didáctico control de nivel de tanque doble



- Control mediante P.L.C.
- Entradas / salidas remotas mediante Ethernet.
- Medición de nivel mediante transmisores de presión manométricos.
- Bomba centrífuga accionada mediante variador de velocidad para trasvase tanque inferior a superior.
- Válvula automática tipo globo para purga de agua.
- Válvula manual de entrada de agua al tanque inferior.



# Desarrollo

## Modelización Matemática

$$A_1 \cdot h_{1(t)} = \int_0^t q_{21(t)} - q_{12(t)} dt$$

$$q_{12(t)} = k_1 \cdot \sqrt{h_{1(t)}}$$

$$A_2 \cdot h_{2(t)} = \int_0^t q_{12(t)} + q_{i(t)} - q_{21(t)} - q_{0(t)} dt$$

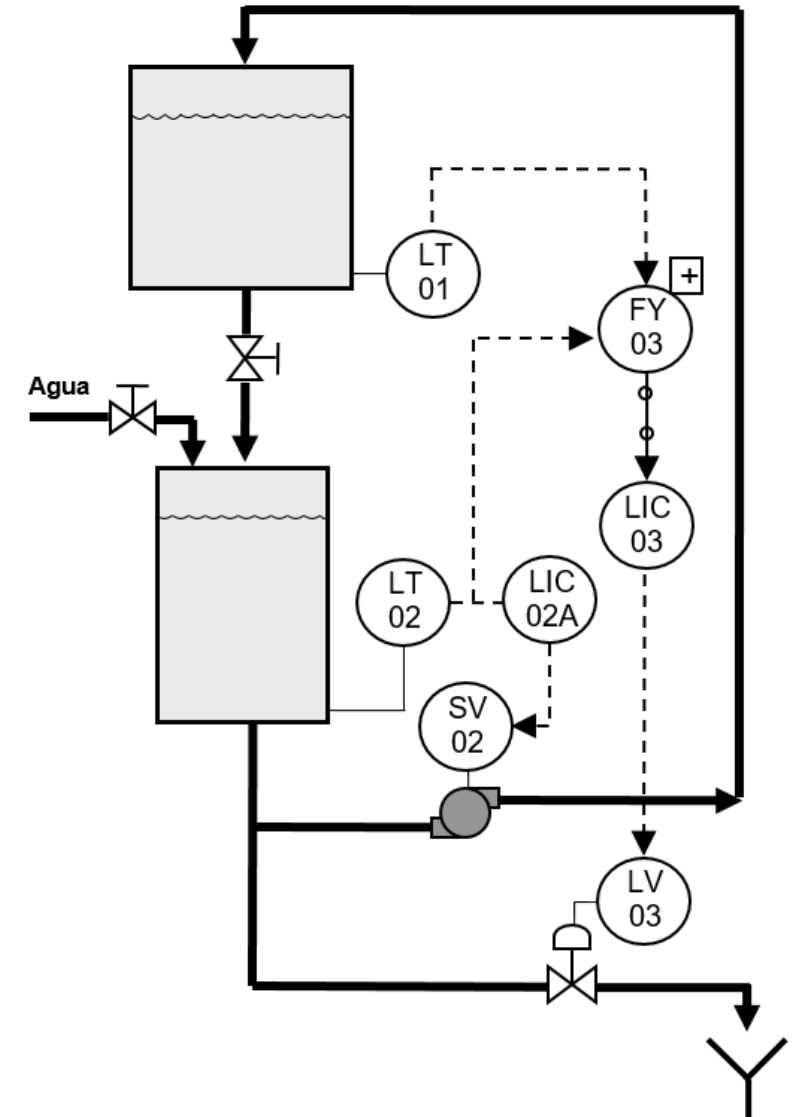
$$A_1 \cdot h_{1(t)} + A_2 \cdot h_{2(t)} = \int_0^t q_{i(t)} - q_{0(t)} dt$$

$A_1$  el área del tanque superior  
 $A_2$  el área del tanque inferior  
 $h_{1(t)}$  nivel del tanque superior (LT-01)  
 $h_{2(t)}$  nivel del tanque inferior (LT-02)  
 $q_{i(t)}$  caudal de agua de entrada  
 $q_{0(t)}$  caudal de agua de descarga  
 $q_{12(t)}$  caudal de agua desde tanque superior a tanque inferior (gravedad)  
 $q_{21(t)}$  caudal de agua desde tanque inferior a tanque superior (bomba)

LT-01+LT-02

Controlado con  
Caudal de Salida.

LT-02 Controlado  
con velocidad de  
la bomba.



## Desarrollo

### Controlador PID

La ecuación en diferencias que implementa el P.L.C. es la siguiente:

$$CV_n = CV_{n-1} + K_c \left[ (e_n - e_{n-1}) + \frac{1}{60.T_i} e_n \cdot t_s + 60.T_d \frac{e_n - 2.e_{n-1} + e_{n-2}}{t_s} \right]$$

$CV_n$  la salida del controlador en el instante n

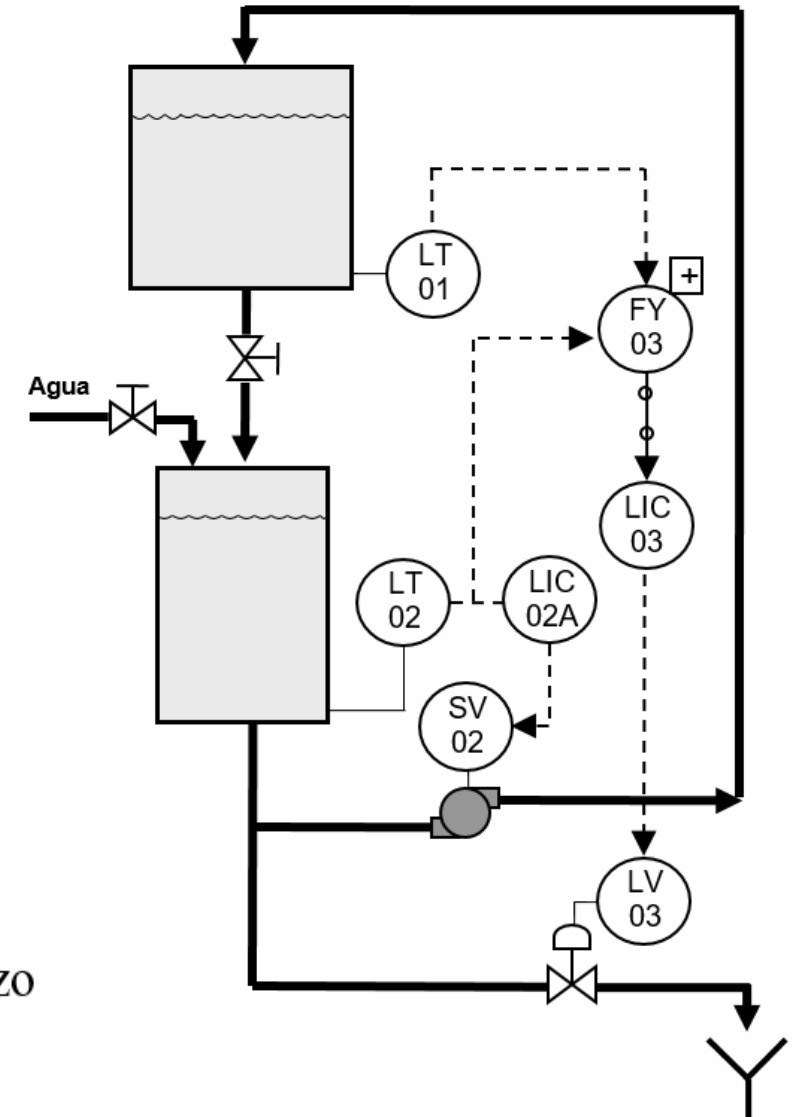
$e_n$  el error en el instante n

$K_c$  la ganancia proporcional

$T_i$  el tiempo integral

$T_d$  el tiempo derivativo

$t_s$  tiempo de muestreo del lazo





## Desarrollo

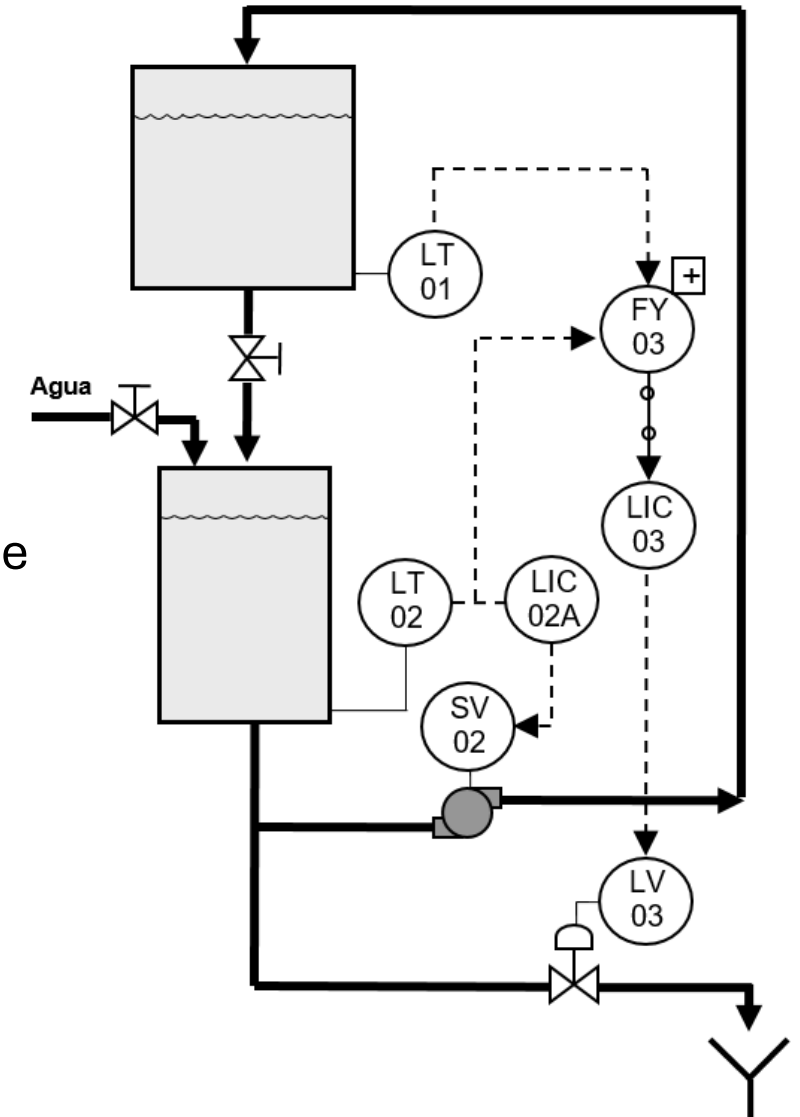
### Controlador PID

Con Controlador LIC02A en modo “Manual”, se realizó un ensayo al escalón de 20% a 30% (de 18Hz a 22Hz). Se identifica Planta IPDT (Integral con retardo)

$$G_{LIC02A(s)} = \frac{K_{v02A} \cdot e^{-\theta_{02A}s}}{s} = \frac{-0,0164 \cdot e^{-6,36s}}{s}$$

Con Controlador LIC03 se realizó un ensayo al escalón de la válvula de purga de 5% a 20%.

$$G'_{LIC03(s)} = \frac{K'_{v03} \cdot e^{-\theta_{03}s}}{s} = \frac{-0,0335 \cdot e^{-0,8s}}{s}$$



## Desarrollo

### Controlador PID

En el algoritmo PID que ejecuta el PLC, el error está dado en % del rango de la variable de Proceso, y en la identificación se realizó en unidades de ingeniería. Se recalcula la ganancia de la Planta como %.

$$K_{v03} = K'_{v03} \cdot \frac{100\%}{300l} = 0,0112$$

Con las funciones de transferencia de ambos sistemas, se puede encontrar un juego de parámetros de ajuste de PI mediante método AMIGO (Astrom / Hagglund).

$$K_c = \frac{0,35}{K_v \cdot \theta}$$

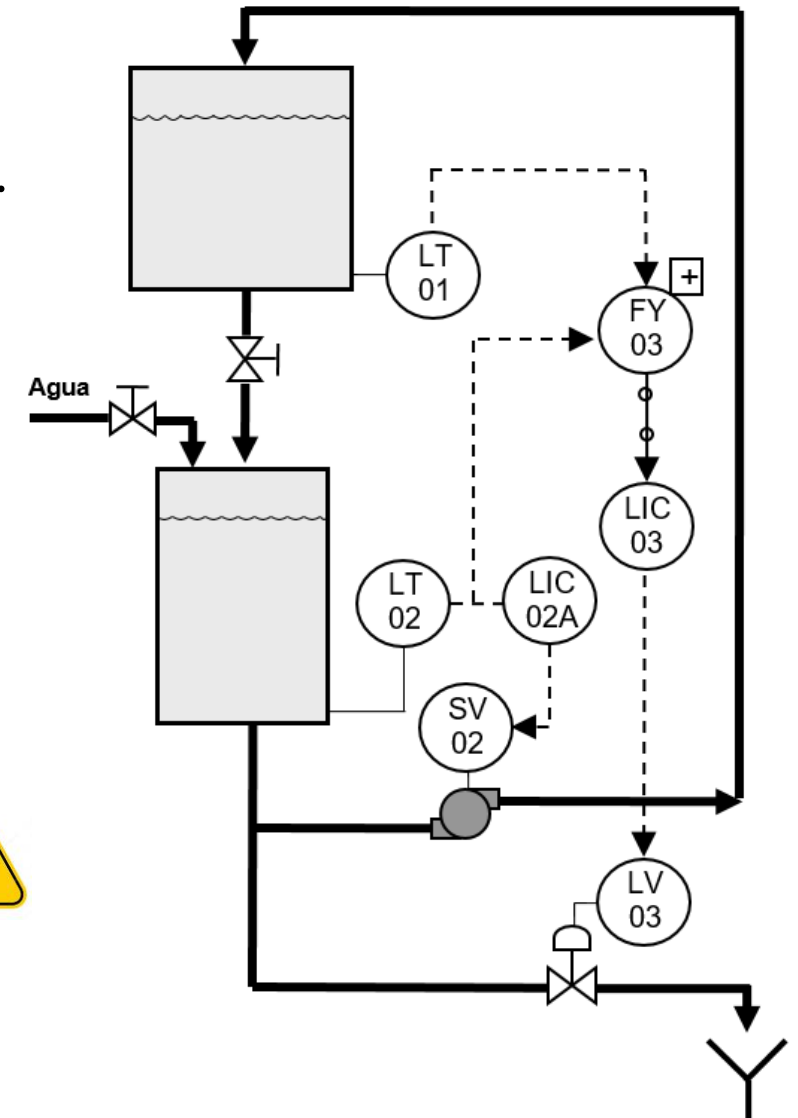
$$T_i = 13,4 \cdot \theta$$

$$K_{c02A} = 3,36$$

$$T_{i02A} = 85,22s$$

$$K_{c03} = 39,06$$

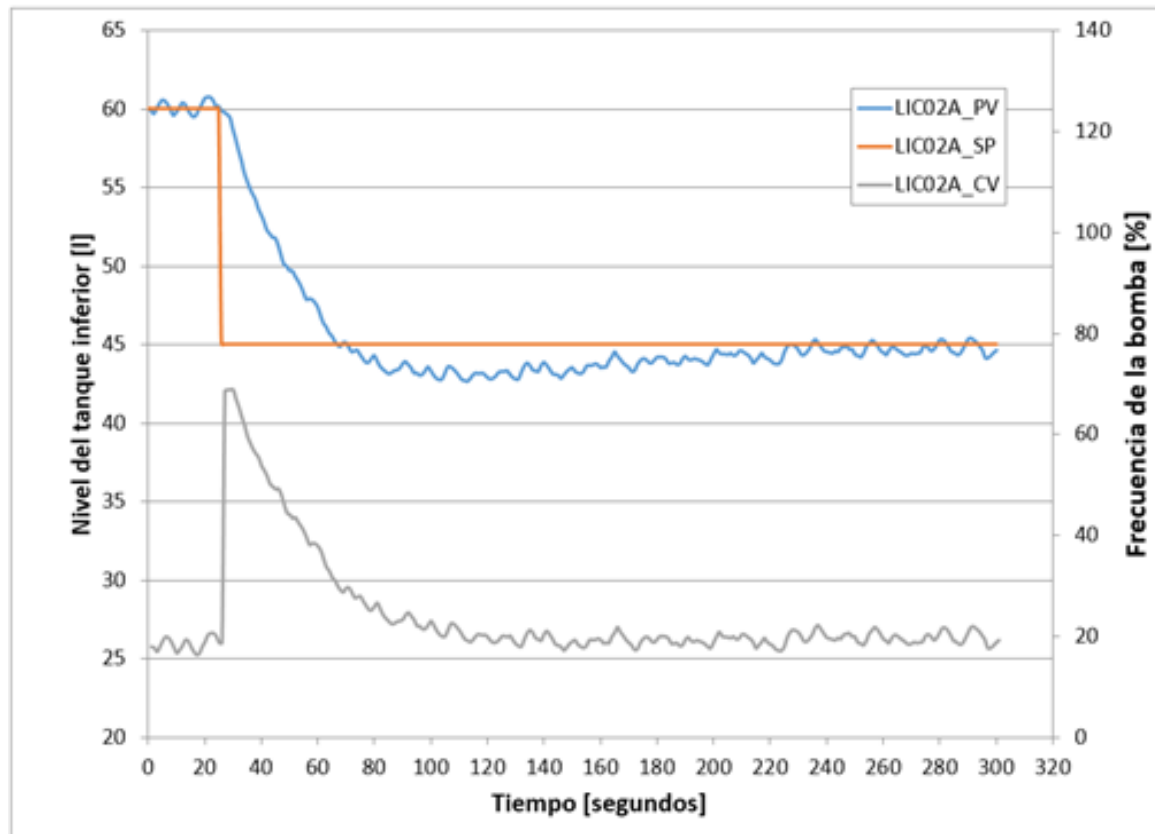
$$T_{i03} = 10,7s$$



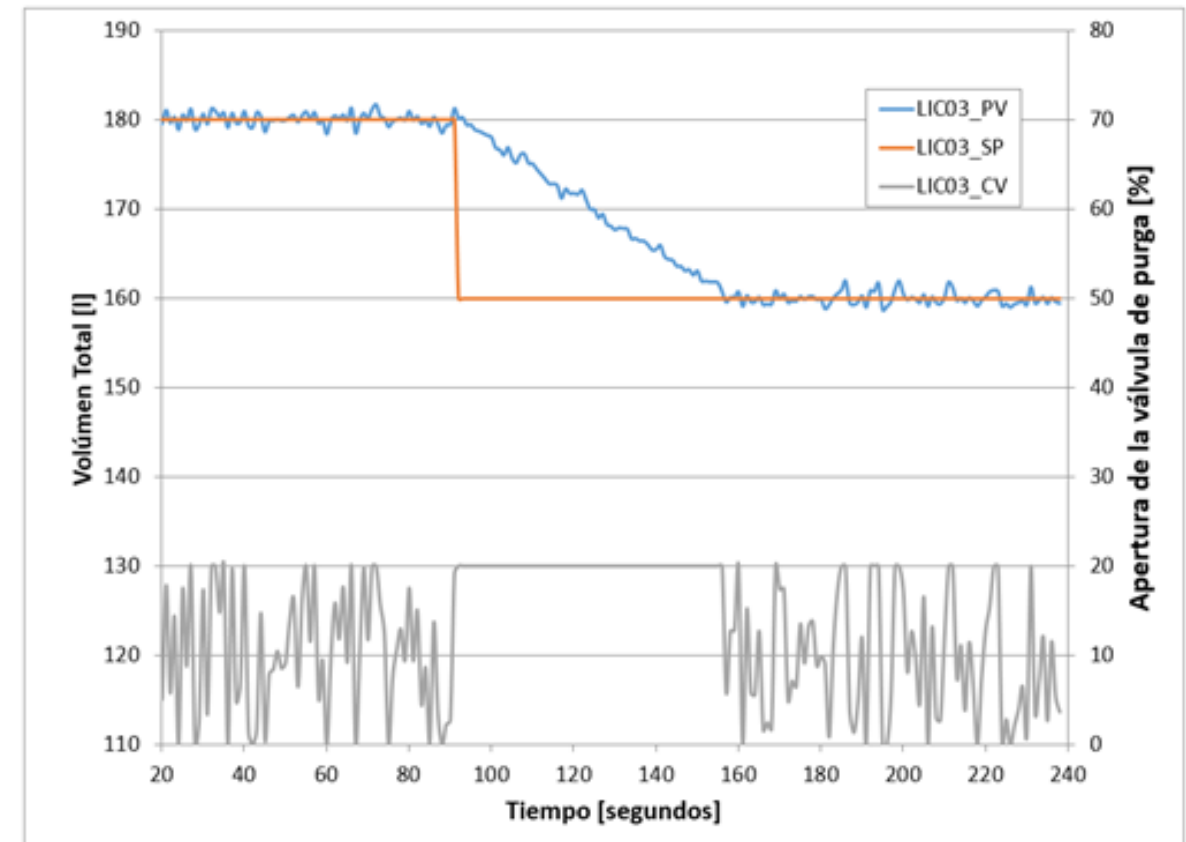
# Resultados

## Respuesta al escalón de Referencia

Controlador LIC-02 (nivel tanque inferior controlando la velocidad de la bomba)



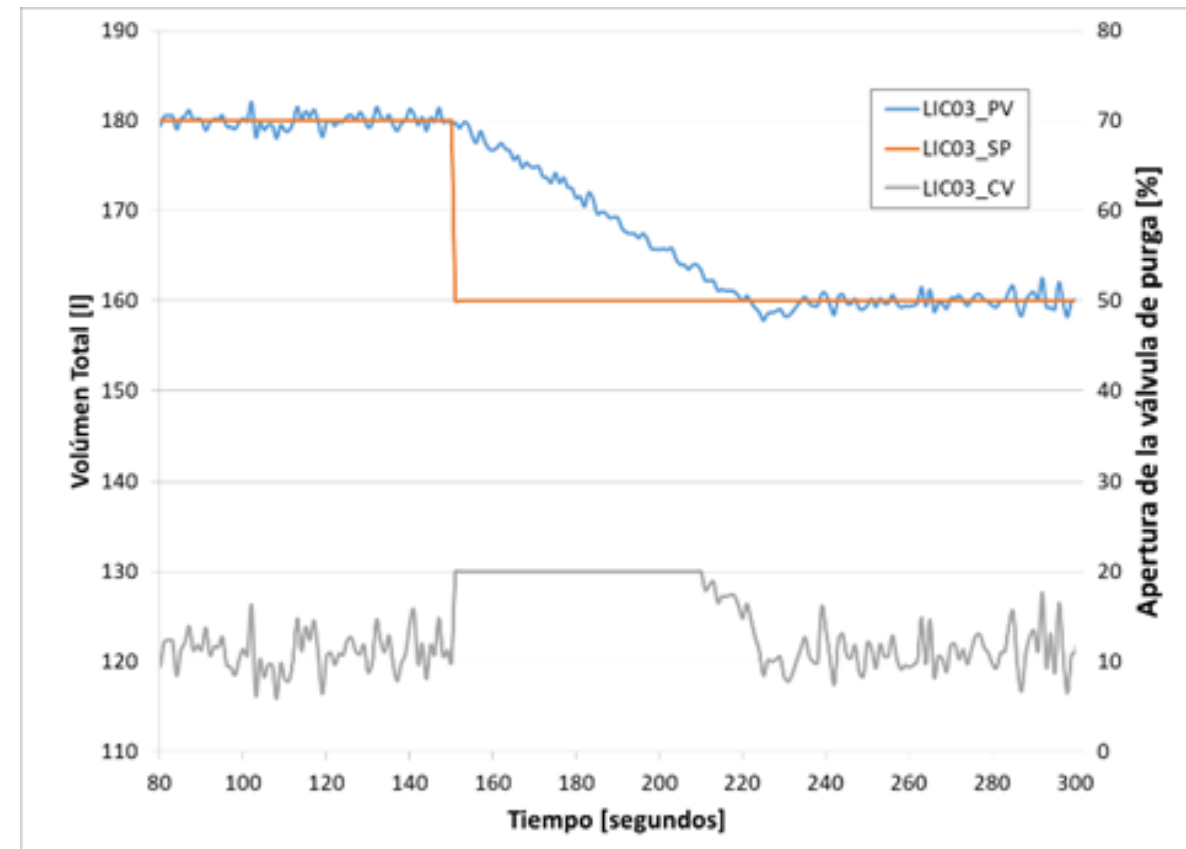
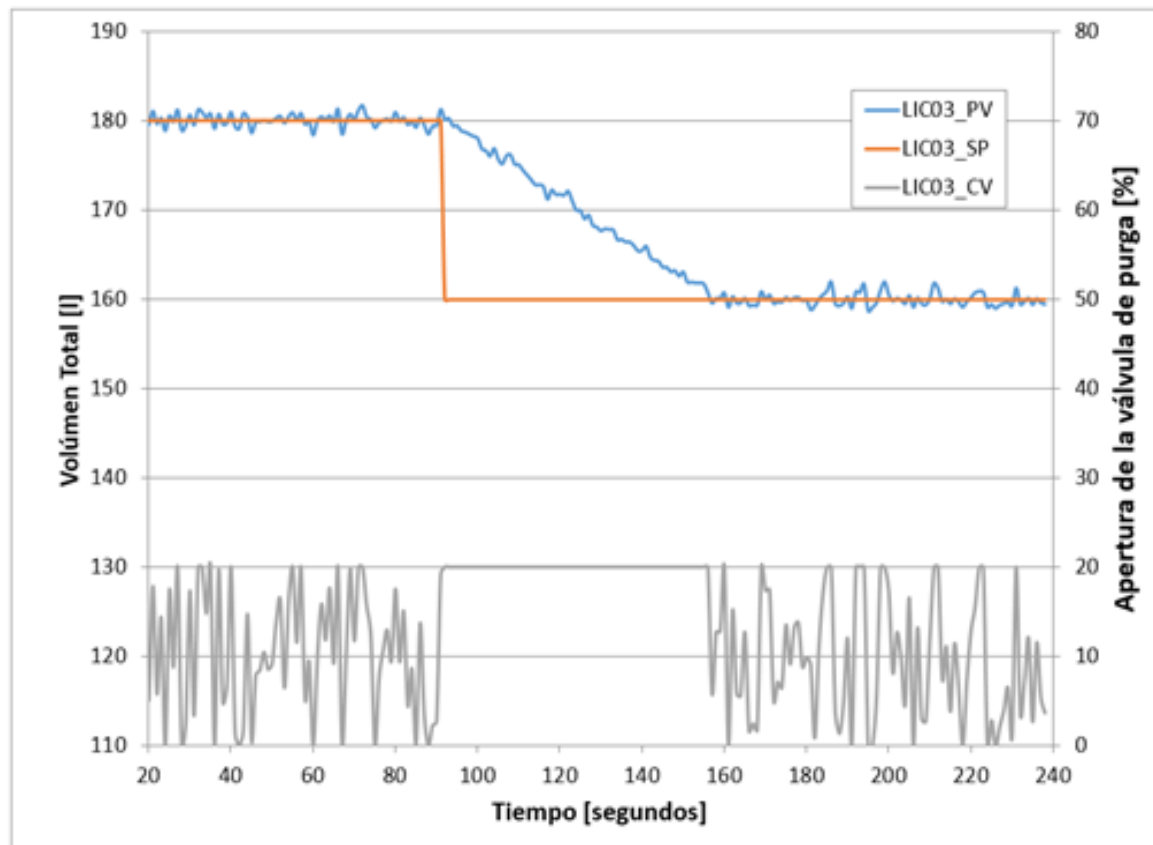
Controlador LIC-03 (volumen de agua total controlando la válvula de purga)



# Resultados

## Modificación del ajuste del Controlador PI

Controlador LIC-03 con acción proporcional demasiado agresiva, y variable de proceso con ruido de medición. Se reduce ganancia proporcional a 7,83 (20% del valor original).

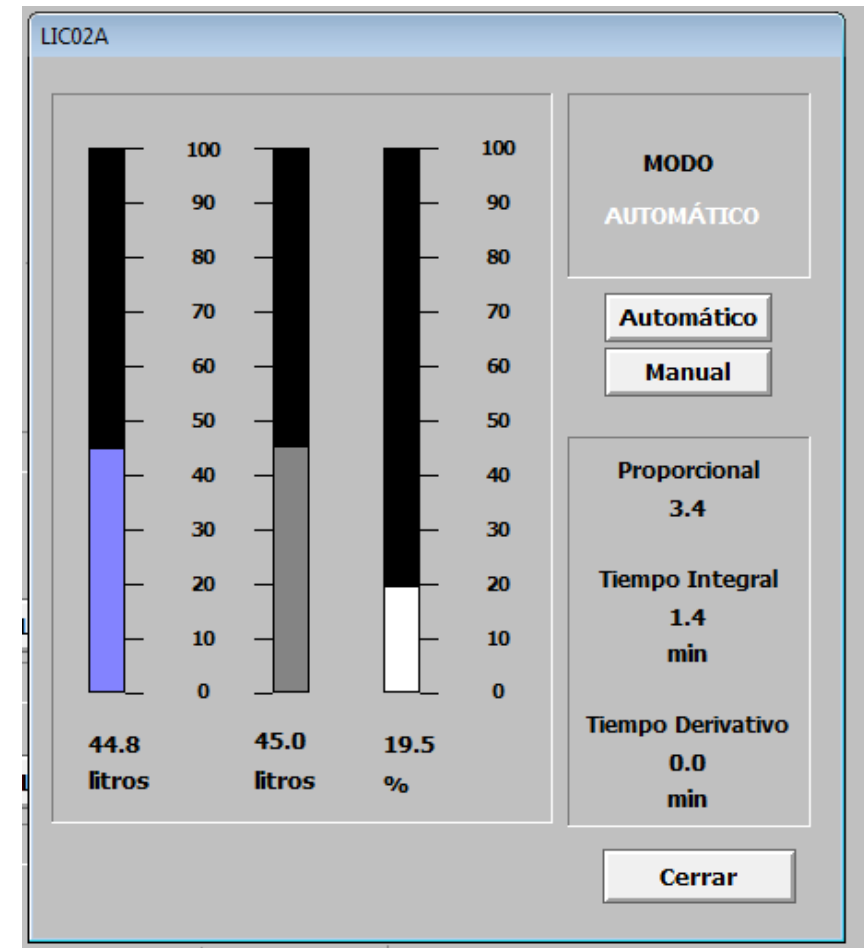
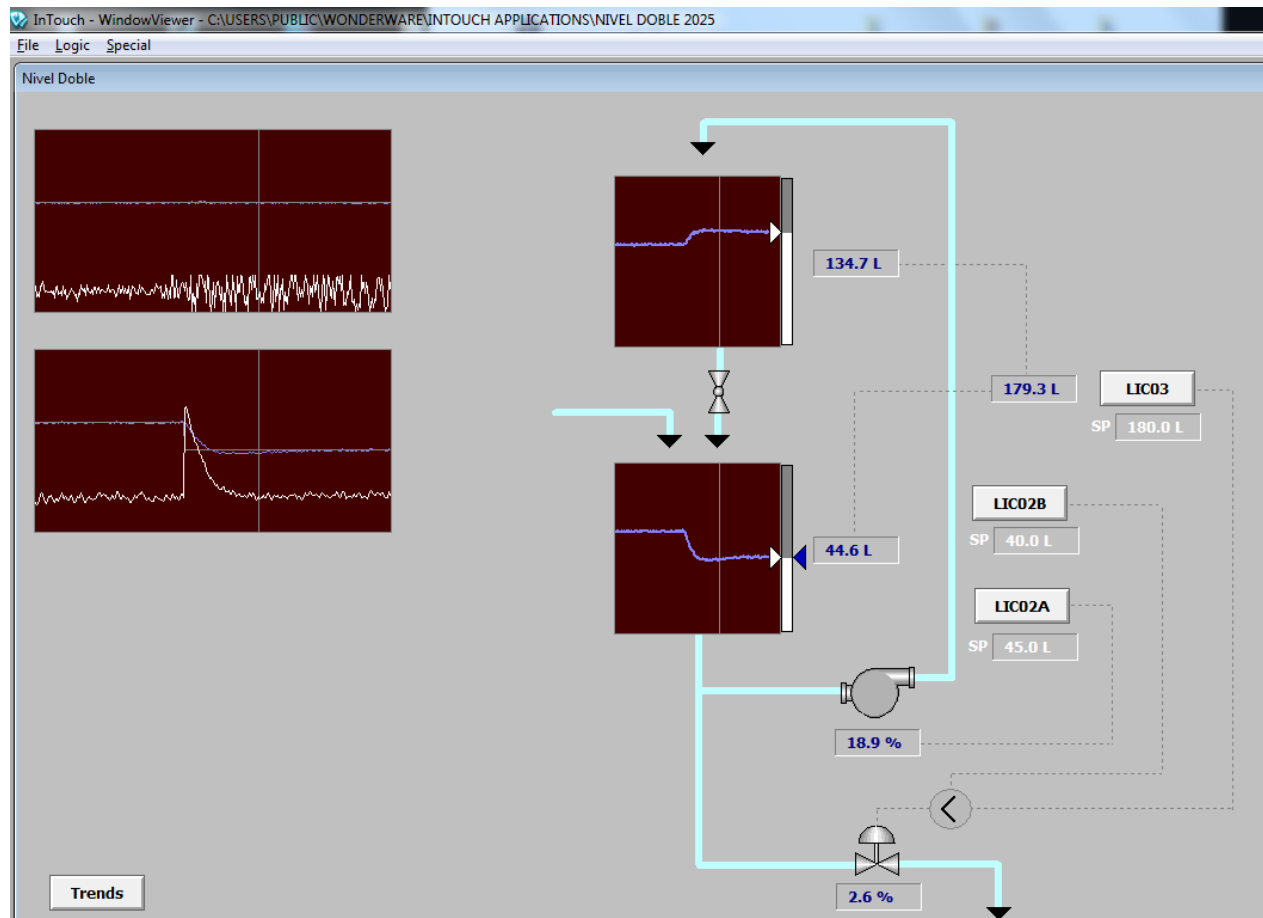


# Anexo

## Pantallas HMI



Se utilizó el Software HMI Wonderware InTouch. Se desarrollaron pantallas de operación y adquisición de variables.



## Conclusiones



- Se presentó un sistema de control de tanque doble con equipamiento industrial, en el cuál los alumnos pueden desarrollar estrategias de control, implementarlas en un P.L.C., diseñar pantallas de operación H.M.I. y ajustar Controladores PID.
- Se verificó la necesidad de evaluar los resultados presentados por los métodos de ajuste, ya que en determinados casos (sistemas con bajo retardo de transporte), pueden presentar ganancias proporcionales demasiado altas y tener un impacto en el funcionamiento del actuador.

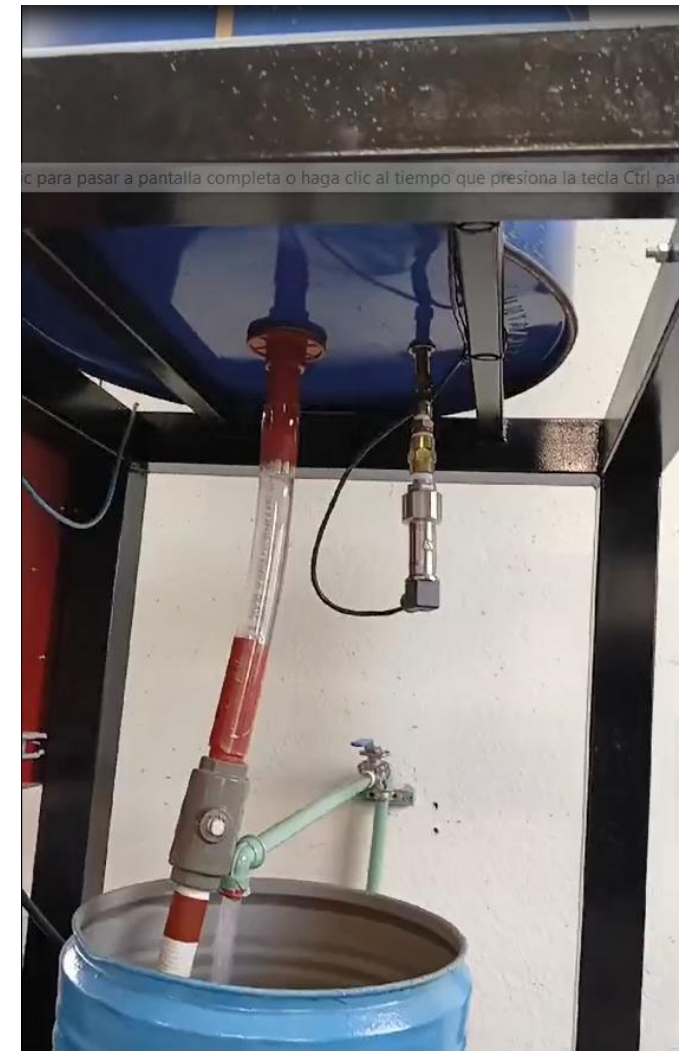


## Trabajo a futuro



- Modelización matemática completa del sistema, y comparación de los resultados en simulación con los arrojados por el sistema real.
- Implementación de estrategias de control que generen un rechazo al disturbio que existe entre ambos lazos de control.
- Estudio e implementación de las propuestas de Astrom y Hagglund para atenuar el efecto de la alta ganancia proporcional que arroja el método AMIGO.

## Fotos del sistema



**¡Gracias!**