

**DESARROLLO DE UNA PLANTA CON CONTROL PID DE TEMPERATURA,  
NIVEL Y PESO PARA LA SIMULACIÓN DE VARIABLES DE PROCESOS  
INDUSTRIALES CON AUTÓMATAS PROGRAMABLES**

**ALAN ALEJANDRO SARDOTH REDONDO  
DARWIN ANDRÉS CRUZ RUEDA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PAMPLONA – NORTE DE SANTANDER  
2019**

**DESARROLLO DE UNA PLANTA CON CONTROL PID DE TEMPERATURA,  
NIVEL Y PESO PARA LA SIMULACIÓN DE VARIABLES DE PROCESOS  
INDUSTRIALES CON AUTÓMATAS PROGRAMABLES**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
MECATRÓNICO**

**Director**  
**LUIS ERNESTO NEIRA ROPERO**  
**Ingeniero en Mecatrónica**

**Codirector**  
**PhD. ALDO PARDO GARCÍA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PAMPLONA – NORTE DE SANTANDER  
2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A NUESTRO DIOS PADRE CELESTIAL**

A MIS PADRES, HERMANOS Y NOVIA:

ENSITO SARDOTH Y NUBIA REDONDO.

ANGELO SARDOTH Y AISKELLY SARDOTH.

YANELIS GUERRERO.

---

A MIS PADRES, HERMANOS, TIOS Y ABUELOS:

NEPOMUSENO CRUZ Y DIANA RUEDA.

CRISTIAN CRUZ, NEPOMUSENO CRUZ Y ANGIE CRUZ.

ALBA NUBIA CRUZ, RUBIELA CRUZ Y LUIS RUEDA.

LUIS ALFONSO RUEDA FLORES Y OLINDA SUAREZ.

---

Profesor PhD. ALDO PARDO

Profesor: ING. LUIS E. NEIRA R.

Profesor: PhD. CHRISTIAN DURAN.

Amigo: JOSE ARMANDO MORENO.

## **DEDICATORIA**

### **A MI DIOS PADRE CELESTIAL**

Por la salud, la protección, por no dejarme desfallecer en los momentos más difíciles de mi vida, y por mi linda familia y mi novia que siempre estuvieron ahí, de la mano junto a tí.

A mis Padres **ENSITO SARDOTH** y **NUBIA REDONDO**, por su gran amor, sus excelentes consejos y porque nunca perdieron la FE en mí y me apoyaron hasta el día de hoy, lo que me hizo un hombre perseverante.

A mis hermanos **ANGELO SARDOTH** y **AISKELLY SARDOTH**, por su amor, su apoyo incondicional y de auténtica hermandad.

A mi novia **YANELIS GUERRERO**, por su amor incondicional, paciencia y comprensión.

Atte.: **ALAN ALEJANDRO SARDOTH REDONDO.**

Doy gracias a **DIOS** por el entendimiento y sabiduría dada para llevar a cabo la tesis con fundamentos. A mis padres **NEPOMUCENO CRUZ MEDELLÍN** y **DIANA XIMENA RUEDA SUAREZ**, por apoyarme incondicionalmente durante toda la formación Profesional.

Le doy gracias a mi tía por su apoyo incondicional **ALBA NUBIA CRUZ MEDELLÍN** y **RUBIELA CRUZ MEDELLÍN.**

A mi abuelo **LUIS ALFONSO RUEDA FLÓREZ** por sus consejos, charlas y su apoyo incondicional para seguir a delante, por su motivación, aunque no esté en este mundo nunca

olvidare esas palabras sabias, que me dijeron fortaleza para seguir adelante y nunca dejarme decaer por personas negativas.

## **TABLA DE CONTENIDO**

### **1. Contenido**

1. Contenido.....	1-5
1. Introducción .....	1-9
1.1 Generalidades.....	1-10
1.1.1 Antecedentes.....	1-10
2. Planteamiento del problema .....	2-12
3. Objetivos .....	3-13
3.1 Objetivos generales.....	3-13
3.1.1 Objetivos específicos.....	3-13
4. Justificación .....	4-14
5. Marco referencial.....	5-15
5.1.1 Marco teórico.....	5-15
5.1.2 Introducción a sistemas de control .....	5-15
5.1.3 Sistema de control lazo cerrado.....	5-15
5.1.4 Sistema de control lazo abierto.....	5-16

5.1.5	Señales de pruebas.....	5-17
5.1.6	Estabilidad absoluta, estabilidad relativa y error en estado estacionario. ...	5-17
5.1.7	Respuesta Transitoria .....	5-18
5.1.8	Reglas de Ziegler-Nichols para la sintonía de controladores PID.....	5-20
5.1.9	Control Proporcional .....	5-23
5.1.10	Control derivativo.....	5-23
6.	Sistema SCADA .....	6-23
6.1.1	Introducción.....	6-23
6.1.2	EtherNet/IP .....	6-24
6.1.3	OPC .....	6-25
6.1.4	Aplicaciones y Servicios .....	6-26
6.1.5	Interfaz HMI.....	6-27
7.	Elección de componentes electrónicos.....	7-27
7.1.1	Válvula proporcional .....	7-32
7.1.2	Resistencia calefactora Tubular.....	7-35
7.1.3	Electrovalvula y valvula manual .....	7-36
7.1.4	Sensor de temperatura .....	7-37
7.1.5	Sensor de peso .....	7-38
7.1.6	Sensor de nivel .....	7-40

7.1.7	Transmisor para celda de carga .....	7-42
7.1.8	SSR.....	7-43
7.1.9	PLC (programmable logic controller). ....	7-45
8.	Resultados .....	8-65
8.1.1	Control de nivel utilizando sensor de peso .....	8-66
8.1.2	Control de Temperatura.....	8-80
8.1.3	Control de nivel usando sensor Infrarrojo .....	8-90
9.	Conclusiones.....	9-102
10.	Bibliografía.....	10-104

## **RESUMEN**

Se desarrollará una planta para la simulación de procesos industriales, la cual permitirá por medio de un autómata (PLC, Programmable Logic Controller) controlar distintas variables tanto digitales como analógicas (nivel, peso, temperatura); estas variables pueden tener diferentes tipos de control, como son on/off, PWM, PID, Fuzzy, etc. Permitiendo de esta manera que los estudiantes de diversos programas puedan poner en práctica sus conocimientos en programación y control de procesos industriales y afiancen sus conocimientos en programación (ladder, diagrama de funciones, etc).

El sistema de control está compuesto por tres tanques, estableciendo que no hay un tanque de almacenamiento, lo que permite que el llenado de los tanque es por medio de la llave de la pluma, que va almacenar líquido a estos, el tanque de mayor altura se le implementara una válvula proporcional y una en serie manual, ya que dicha válvula es el actuador para hacer control en el tanque 1 y 3, en el primero tendremos un sensor de peso lo que nos permitirá controlar el nivel de este y el tercero se utilizara un sensor de nivel análogo, para el tanque dos se utilizara un sensor digital de nivel flotador, una electroválvula que nos permite el llenado del tanque, el sensor de temperatura (PT 100) y la resistencia térmica de 200 W.

Para el monitoreo de estas variables se desarrolla un sistema SCADA para poder observar el comportamiento de las variables manipuladas, por medio de una interfaz gráfica se

otorgará al usuario interactuar en tiempo real implantando un control PID en los autómatas S7 1200 y TWIDO.

## 2.1. Palabras claves:

Sensor, autómatas, válvula proporcional, control fuzzy, control PID.

### 1. Introducción

El control industrial y la automatización hoy en día son la base para todo ingeniero ya que están abarcando al mundo, por lo novedoso y muy esencial en las industrias. El ingeniero de hoy debe centrar una base en la automatización y el control industrial, por lo que al llegar a cualquier industria éstas se priorizan a la hora de laborar. El modelo de economía e industrialización se está basando en autómatas programables y controladores para modificar la forma de trabajo, lo que agilizan, y dogmatizan el tiempo de respuesta a la hora de laborar.

La preparación de un buen ingeniero debe comenzar en el pregrado, adquiriendo conocimientos para asentar las bases para su futuro, ya sea como ingeniero independiente, trabajador en una industria, profesor o para postgrado, porque sería la base principal para desenvolverse en su entorno. El control industrial y la automatización es una base que todo estudiante de ingeniería al graduarse como profesional debe tener para desempeñarse en el mundo laboral.

La idea de diseñar una planta con control PID (Controlador Proporcional, Integral y Derivativo) de variables de temperatura, nivel y peso, para simular procesos industriales por medio de autómatas programables, viene con el fin de sembrar esa base en la nueva

generación de futuros ingenieros para generar confianza y experiencia en su intelecto sigiloso, lleno de curiosidades y expectativas.

La planta consta de tres tanques en acrílico, soportados en bases metálicas respectivamente, los cuales dependen de una válvula proporcional alimentada a 20v y accionada de 4mA a 20mA, la que regularía el flujo del líquido para mantener ciertos niveles en cada uno de los tanques. Para el tanque 1 la válvula proporcional regularía el llenado de éste para poder medir el líquido por mililitros y calcular su peso en gramos por medio de una celda de carga, la cual manda un pulso de corriente de 4mA a 20mA o 0v a 10v al PLC por medio de un transmisor, de esta forma se simularía la variable de peso. Una electroválvula off/on de 12v decide el paso del líquido a los tanques 2 y 3. En el tanque 2 accionando una válvula manual para el llenado inmediato del tanque, se simularía la variable de nivel por medio de un sensor infrarrojo emisor/receptor emitiendo un haz de luz censando la distancia y mandando una señal análoga de voltaje al PLC para medir y simular la variable de nivel del líquido. Y para el tanque 3 también accionada por una válvula manual para el fluido del líquido, tendríamos un sensor de nivel off/on, que por medio de una señal digital al PLC desactive la electroválvula para obstaculizar el fluido del líquido al tanque, una resistencia eléctrica de 110v VA para generar una temperatura oscilante entre 30° y 45° en el líquido aproximadamente, y tomar las medidas de la variable de temperatura por medio de un termopar para de esta forma mandarle una señal análoga al PLC.

## 1.1 Generalidades

### 1.1.1 Antecedentes

Muchos de los sistemas diseñados para el control de niveles de tanques en los procesos industriales, su comportamiento depende del caudal que le llega de los otros tanques, esto

puede considerar una estrategia de control para que cada parámetro pueda mostrar una gran dependencia, de esta forma la respuesta ante un mejor desempeño es inesperado.

Tenemos un claro ejemplo en un sistema de control de nivel de líquidos con amplia difusión en medios industriales. Todo proceso que necesite almacenar sustancias en cualquiera de sus estados requiere realizar registros sobre el nivel de depósito de las mismas. Algunos de los sectores en los que es de gran importancia mantener el nivel de líquido entre parámetros previamente establecidos son: la industria petroquímica, la producción de papel, el tratamiento de aguas y procesos químicos, en los que por el grado de riesgo por contacto humano se requieren procedimientos automatizados.

En la Universidad Católica de Colombia se implementó un control de nivel de tanques acoplados, utilizando un sensor ultrasónico el cual mide el nivel del tanque y por medio de una interfaz gráfica de LabView, se puede supervisar lo que está pasando en el proceso, en esta planta se utilizó una tarjeta Arduino para recibir y enviar la información obteniendo un control óptimo del proceso de llenado de tanques. <sup>[1]</sup>

A nivel educativo se realizó una simulación y modelamiento de control de una planta de nivel de tanque obteniendo el sistema de modelo dinámico, implementándolo en la herramienta de Simulink de Matlab y aplicando la física de balance de masa y balance de energía, en este estudio no se utilizó Laplace ya que el sistema no era lineal. <sup>[2]</sup>

En la universidad tecnológica de Pereira se realizó un control de llenado y vaciado de tanque, donde se realizó la toma de datos del sensor diferencial de presión por medio de un autómatas programable Siemens, donde se halló la función de transferencia de primer grado, aplicando el modelado dinámico de la planta y por último se implementó un control PID. <sup>[3]</sup>

En la escuela Politécnica Nacional se desarrolló un módulo didáctico para el laboratorio de procesos industriales, el objetivo fue la construcción de una planta de nivel con un sistema Scada HMI, con un control en la aplicación que permitía agregar el set point deseado. <sup>[4]</sup>

A nivel educativo en la Universidad distrital en el año 2018 en el laboratorio de PPA (Planta de Procesos Análogos) se implementó un control de mezclado y agua caliente con un sistema Scada HMI utilizando un PLC RS logis 5000 para la programación de la planta y toma de datos para el diseño de control de temperatura y nivel. <sup>[5]</sup>

En la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima – Perú se implementó un control no lineal BACKSTEPPING para planta piloto tanque con agua, en este proceso se realizó un control BACKSTEPPING virtual con la tarjeta de adquisición de datos DAQ PCI 6259 de National Instruments y un sistema Scada de supervisión en el software labview implementando un control PID mimo para el control de nivel y temperatura utilizando el modelo dinámico de LaGrange ya que el sistema no es lineal. <sup>[6]</sup>

## 2. Planteamiento del problema

Analizando el mundo de la industria, nos damos cuenta que diariamente se está evolucionando en los sistemas de control y automatización tanto así que ya estamos en la cuarta revolución industrial; lo que nos conlleva a realizar una planta que cuente con tres variables tales como (temperatura, peso, nivel), manipuladas en procesos industriales tales como: (pasteurización de leche, química, farmacéutica, llenado de un tanque, etc ), para que profesores y sobre todo el gremio del estudiantado interactúen en los respectivos

laboratorios, para que así se obtenga una mejor capacitación base a los conocimientos adquiridos durante toda carrera.

En el laboratorio de control y automatización tenemos los equipos tales como PLC S7 1200, Twido, Logo, Zelio, Allen Bradley 1000, estos son controladores lógicos programables, que permiten aplicar un control PID, pero la gran dificultad a la hora de querer aplicar estos conocimientos de control en estos controladores se hace evidente, ya que en el laboratorio no hay una planta robusta y óptima para implementar los diferentes tipos de control vistos durante la carrera, por eso se hace necesario el diseño e implementación de una planta industrial, donde docentes y estudiantes se verán beneficiados.

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivos generales

Implementar una planta para la simulación de procesos industriales con variables digitales y analógicas con fines académicos, utilizando un autómata programable.

##### 3.1.1 Objetivos específicos

- Diseñar e implementar la planta para la simulación de variables en procesos industriales con fines académicos.
- Implementar la planta para la simulación de variables den procesos industriales.
- Implementar control PID.
- Implementar un sistema Scada.

- Evaluar la planta de simulación en variables de procesos industriales.

#### 4. Justificación

El diseño de la planta fue realizado para suplir necesidades en el área de trabajo del laboratorio de control industrial y automatización, y así abastecer parte del déficit de plantas para pruebas de laboratorio en variables de procesos de control y automatización. Justamente el diseño de la planta ayudaría a adquirir conocimiento sobre procesos industriales al gremio estudiantil y a los profesores, reforzando su nivel de conocimiento hacia estos procesos y adquirir experiencia por medio de medición de variables, simulando algunos procesos industriales con los que nos encontramos en el día a día en la industria. De esta forma un estudiante de pregrado ya tendría bases y experiencia en controles autómatas, lo que le haría desempeñarse sin miedo a fracasar en el medio laboral y desenvolverse con más confianza en ello. Es muy importante que un estudiante de ingeniería salga bien preparado de la universidad, cuando en el medio laboral es complicado conseguir una oportunidad por el alto desempleo, y los pocos cupos que ofrecen las fábricas y empresas nacionales e internacionales. El aprender a controlar y automatizar variables de procesos es un plus hoy en día para desempeñarse en el medio individual o para optar una vacante en fábricas o industrias multinacionales, pero también es muy importante que un tutor o auxiliar de laboratorio, o profesor tenga el conocimiento del tema, ya que de esta forma instruirían de manera correcta a los alumnos y se fortalecería el tema del control y la automatización industrial en nuestro plantel universitario, preparando con propiedad, seguridad y justificación a los futuros ingenieros del país.

## 5. Marco referencial

### 5.1.1 Marco teórico

### 5.1.2 Introducción a sistemas de control

La prioridad para analizar un sistema de control y desenvolverse en éste, es obtener un modelo matemático del mismo. Cuando se obtiene el modelo, hay muchos métodos para el análisis del comportamiento del sistema. Al realizar la práctica, en el sistema de control la señal de entrada no se conoce con anticipación, pero es de naturaleza aleatoria, y la entrada instantánea no puede expresarse de forma analítica. En algunos casos especiales se conoce con anticipación la señal de entrada y se puede expresar de forma analítica o mediante curvas; tal es el caso del control automático de herramientas de corte. Para analizar y diseñar sistemas de control, se debe tener una base de comparación del comportamiento de diversos sistemas de control. Esta base se configura especificando las señales de entrada de prueba particulares y comparando las respuestas de varios sistemas a estas señales de entrada. Muchos criterios de diseño se basan en tales señales o en la respuesta del sistema a los cambios en las condiciones iniciales (sin señales de prueba). El uso de señales de prueba se justifica porque existe una correlación entre las características de respuesta de un sistema para una señal de entrada de prueba común y la capacidad del sistema de manejar las señales de entrada reales. <sup>[7]</sup>

### 5.1.3 Sistema de control lazo cerrado

Un sistema de control realimentado se denomina también sistema de control en lazo cerrado. Al hacer una práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado

se usan sin que haya mucha diferencia. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. <sup>[7]</sup>

#### 5.1.4 Sistema de control lazo abierto

Un sistema de lazo abierto no tiene ningún efecto sobre la salida en una acción de control. Es decir, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa. En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Obsérvese que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo está en lazo abierto. Por ejemplo, el control de tráfico mediante señales operadas con una base de tiempo es otro ejemplo de control en lazo abierto. <sup>[7]</sup>

### 5.1.5 Señales de pruebas

En las señales de prueba se usan regularmente funciones escalón, rampa, parábola, impulso, etc. Con estas señales de prueba, es posible realizar con facilidad análisis matemáticos y experimentales de sistemas de control, ya que las señales son funciones del tiempo muy simples. La forma de la entrada a la que el sistema estará sujeto con mayor frecuencia en una operación normal determina cuál de las señales de entrada típicas se debe usar para analizar las características del sistema. Si las entradas para un sistema de control son funciones del tiempo que cambian en forma gradual, una función rampa será una buena señal de prueba. Asimismo, si un sistema está sujeto a perturbaciones repentinas, una función escalón será una buena señal de prueba; y para un sistema sujeto a entradas de choque, una función impulso será la mejor. Una vez diseñado un sistema de control con base en las señales de prueba, por lo general el comportamiento del sistema en respuesta a las entradas reales es satisfactorio. El uso de tales señales de prueba permite comparar el comportamiento de todos los sistemas sobre la misma base.<sup>[7]</sup>

### 5.1.6 Estabilidad absoluta, estabilidad relativa y error en estado estacionario.

Al implementar o diseñar un sistema de control, se debe ser capaz de predecir su comportamiento dinámico a partir del conocimiento de los componentes. Nos damos cuenta que la característica más importante del comportamiento dinámico de un sistema de control es la estabilidad absoluta, es decir, si el sistema es estable o inestable. Un sistema de control está en equilibrio si, en ausencia de cualquier perturbación o entrada, la salida permanece en el mismo estado. Un sistema de control lineal e invariante con el tiempo es estable si la salida termina por regresar a su estado de equilibrio cuando el sistema está sujeto a una condición inicial. Un sistema de control lineal e invariante con el tiempo es

críticamente estable si las oscilaciones de la salida continúan de forma indefinida. Es inestable si la salida diverge sin límite a partir de su estado de equilibrio cuando el sistema está sujeto a una condición inicial. En realidad, la salida de un sistema físico puede aumentar hasta un cierto grado, pero puede estar limitada por «detenciones» mecánicas, o el sistema puede colapsarse o volverse no lineal una vez que la salida excede cierta magnitud, por lo cual ya no se aplican las ecuaciones diferenciales lineales. Entre los comportamientos importantes del sistema (aparte de la estabilidad absoluta) que deben recibir una cuidadosa consideración están la estabilidad relativa y el error en estado estacionario. Como un sistema de control físico implica un almacenamiento de energía, la salida del sistema, cuando este está sujeto a una entrada, no sucede a la entrada de inmediato, sino que muestra una respuesta transitoria antes de alcanzar un estado estacionario. La respuesta transitoria de un sistema de control práctico, con frecuencia, muestra oscilaciones amortiguadas antes de alcanzar un estado estacionario. Si la salida de un sistema en estado estacionario no coincide exactamente con la entrada, se dice que el sistema tiene un error en estado estacionario. Este error indica la precisión del sistema. Al analizar un sistema de control, se debe examinar el comportamiento de la respuesta transitoria y el comportamiento en estado estacionario. <sup>[7]</sup>

#### 5.1.7 Respuesta Transitoria

La respuesta transitoria depende de las condiciones iniciales de un sistema para una entrada de escalón unitario. Por conveniencia al comparar respuestas transitorias de varios sistemas, es una práctica común usar la condición inicial estándar de que el sistema está en reposo al inicio, por lo cual la salida y todas las derivadas con respecto al tiempo son cero. De este modo, las características de respuesta se comparan con facilidad.

La respuesta transitoria de un sistema de control práctico muestra con frecuencia oscilaciones amortiguadas antes de alcanzar el estado estacionario. Al especificar las características de la respuesta transitoria de un sistema de control para una entrada escalón unitario, es común especificar lo siguiente:

1. Tiempo de retardo,  $t_d$ .
2. Tiempo de subida,  $t_r$ .
3. Tiempo pico,  $t_p$ .
4. Sobreelongación,  $M_p$ .
5. Tiempo de asentamiento,  $t_s$ .

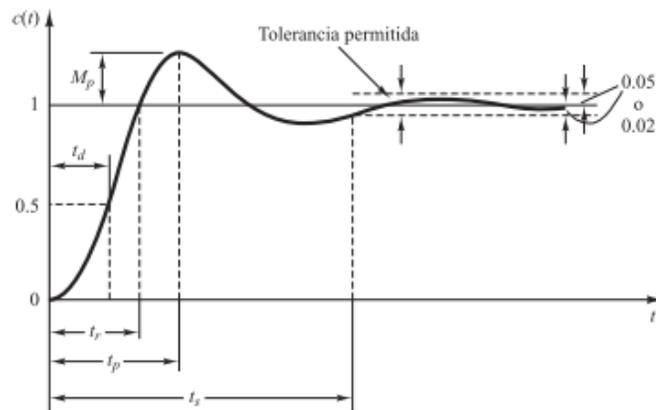
1. Tiempo de retardo  $t_d$ : es el tiempo requerido para que la respuesta alcance la primera vez la mitad del valor final.

2. Tiempo de subida,  $t_r$ : es el tiempo requerido para que la respuesta pase del 10 al 90%, del 5 al 95% o del 0 al 100% de su valor final. Para sistemas subamortiguados de segundo orden, por lo general se usa el tiempo de subida de 0 a 100%. Para sistemas sobreamortiguados, suele usarse el tiempo de levantamiento de 10 a 90%.

3. Tiempo pico,  $t_p$ : el tiempo pico es el tiempo requerido para que la respuesta alcance el primer pico de sobreelongación.

4. Sobreelongación máxima (porcentaje),  $M_p$ : la máxima sobreelongación es el máximo valor del pico de la curva de respuesta, medido a partir de la unidad. Si el valor final en estado estacionario de la respuesta es diferente de la unidad, es frecuente utilizar el porcentaje de sobreelongación máxima.

5. Tiempo de asentamiento,  $t_s$ : El tiempo de asentamiento es el tiempo que se requiere para que la curva de respuesta alcance un rango alrededor del valor final del tamaño especificado por el porcentaje absoluto del valor final (por lo general, de 2 o 5%). El tiempo de asentamiento se relaciona con la mayor constante de tiempo del sistema de control.



Grafica 1: Característica de una respuesta subamortiguada.

### 5.1.8 Reglas de Ziegler-Nichols para la sintonía de controladores PID.

#### Control PID de la planta

Para poder obtener un modelo matemático de la planta, lo más probable es aplicar varias técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones del transitorio y del estado estacionario del sistema en lazo cerrado. Si no es fácil obtener un modelo matemático en la planta por lo complicada que es, tampoco es posible un método analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, se debe recurrir a procedimientos experimentales para la sintonía de los controladores PID.

Seleccionar los parámetros del controlador es un proceso, y para que se cumplan con las especificaciones de comportamiento dadas se conoce como sintonía del controlador. Ziegler y Nichols sugirieron reglas para sintonizar los controladores PID (esto significa dar valores a  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$ ) basándose en las respuestas escalón experimentales o en el valor de  $K_p$  que produce estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional. Las reglas de Ziegler-Nichols, que se presentan a continuación, son muy convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas. (Por supuesto, estas reglas se pueden aplicar al diseño de sistemas con modelos matemáticos conocidos.) Tales reglas sugieren un conjunto de valores de  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  que darán una operación estable del sistema. No obstante, el sistema resultante puede presentar una gran sobreelongación en su respuesta escalón de forma que resulte no aceptable. En tales casos se necesitará una serie de ajustes finos hasta que se obtenga el resultado deseado. De hecho, las reglas de sintonía de Ziegler-Nichols dan una estimación razonable de los parámetros del controlador y proporcionan un punto de partida para una sintonía fina, en lugar de dar los parámetros  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  en un único intento.<sup>[7]</sup>

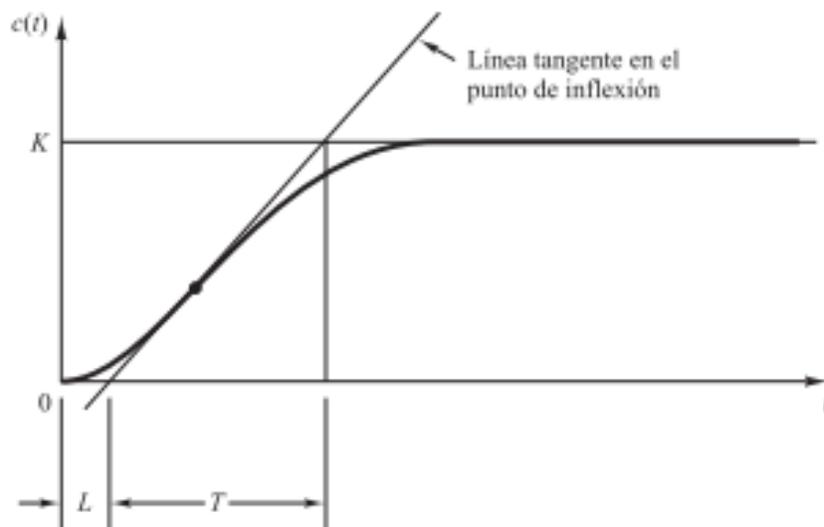
#### Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID

La propuesta de reglas que Ziegler y Nichols determinaron para los valores de la ganancia proporcional  $K_p$ , del tiempo integral  $T_i$  y del tiempo derivativo  $T_d$ , basándose en las características de respuesta transitoria de una planta dada. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o sintonía de controladores PID la pueden realizar los ingenieros mediante experimentos sobre la planta. Después de la propuesta inicial de Ziegler-Nichols han aparecido numerosas reglas de sintonía de controladores PID. Estas

reglas están disponibles tanto en publicaciones técnicas como de los fabricantes de estos controladores. [7]

### Primer método

La respuesta de la planta a una entrada escalón unitario en el primer método se obtiene de manera experimental. Cuando la planta carece de integradores y polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S. Este método se puede aplicar si la respuesta muestra una curva con forma de S. Tales curvas de respuesta escalón se pueden generar experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta. La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo  $L$  y la constante de tiempo  $T$ . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo. [7]



Grafica 2. Trazar tangente, para hallar Tiempo de retardo y Tiempo de constante.

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Tabla 1. Parametros para hallar el controlador

### 5.1.9 Control Proporcional

Un sistema de control proporcional sin integrador originará un error en estado estacionario frente a una entrada escalón. Se verá que tal error se puede eliminar si se incluye una acción de control integral en el controlador. <sup>[7]</sup>

### 5.1.10 Control derivativo

Cuando se agrega a un controlador proporcional una acción de control derivativa, aporta un modo de obtener un controlador con alta sensibilidad. Usar una acción de control derivativa es una ventaja que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Por tanto, el control derivativo prevé el error, inicia una acción correctiva oportuna y tiende a aumentar la estabilidad del sistema. <sup>[7]</sup>

## 6. Sistema SCADA

### 6.1.1 Introducción

El sistema SCADA o Supervisory Control and Data Acquisition (supervisión, control y adquisición de datos), se utiliza en la industria para dispositivos de campo a distancias

largas o cortas, para adquirir información del funcionamiento de la planta, de los sensores y actuadores, utilizando un autómatas o microcontrolador donde se visualizan en una pantalla observándose (recopilación de datos, monitoreo, control del sistema y visualización del proceso).

El sistema SCADA se encuentra en el III escalón de la pirámide de automatización, se utiliza una comunicación con un servidor OPC para transmitir la información de datos de la planta que es recopilada por un autómatas lógico programable, para que el operador pueda visualizar o monitorear las variables del proceso y actuadores. Este sistema SCADA nos permite observar daños o perturbaciones de la planta, donde la persona encargada pueda corregir el error en el tiempo menor posible, ya que este sistema nombrado anteriormente se puede visualizar los errores de nivel de campo de la pirámide de automatización.

#### 6.1.2 EtherNet/IP

EtherNet/IP es una red que brinda un conjunto completo de control de recolección de datos, configuración y servicios por capas el protocolo industrial común en los protocolos estándar utilizados por la Internet (TCP/IP y UDP). EtherNet/IP utiliza el protocolo TCP/IP para la mensajería en general/servicios de intercambio de información y UDP/IP de E/S de los servicios de mensajería para aplicaciones de control. <sup>[9]</sup>

CIP (Control Information Protocol), esta aplicación de protocolo seguro permite la transmisión simultánea de datos de seguridad y de control estándar y la información de diagnóstico más común en la red EtherNet/IP. <sup>[9]</sup>

La red EtherNet/IP es la más utilizada en estos tipos de configuraciones:

- Como una solución económica para la conexión de varios ordenadores.

- La mejor opción cuando se desea conectar muchos dispositivos
- Como el estándar de red para la conectividad con los sistemas empresariales.
- La opción menos costosa HMI cuando se usa con terminales Panel View Plus.
- En una topología en estrella cuando los nodos están agrupados muy juntos. <sup>[9]</sup>

Una red EtherNet / IP:

- Permite la configuración, la recolección de datos y control en una sola red de alta velocidad.
- Ofrece la empresa a la integración con la planta de producción.
- Soporta aplicaciones de tiempo crítico.
- Contribuye a la seguridad, el movimiento, las unidades de E/S, y las aplicaciones de sincronización de tiempo. <sup>[9]</sup>

### 6.1.3 OPC

OPC conocido como OLE para Control de Procesos, es un mecanismo de comunicación estándar creado por algunas compañías de control de proceso en consorcio con Microsoft para resolver este problema de interoperabilidad. El estándar OPC permite el intercambio de información en tiempo real entre clientes de PC que cuentan con sistemas operativos de Microsoft. <sup>[9]</sup>

- OPC Server: Esta es una aplicación que realiza la adquisición de datos de los dispositivos de campo y que sirven para ser utilizados por aplicaciones que consulten estos datos (OPC Client). <sup>[9]</sup>

- OPC Client: Es una aplicación que utiliza los datos adquiridos de cualquier proceso de se comunique en cualquier lenguaje, los clientes OPC se comunican directamente con el servidor OPC que manejan el mismo lenguaje. <sup>[9]</sup>

#### 6.1.4 Aplicaciones y Servicios

Un sistema Scada se encuentra encaminado como una herramienta que proporciona comunicación lo más clara y segura como sea posible, entre las prestaciones de esta herramienta se encuentran:

- Permite el monitoreo del proceso en tiempo real de cualquier tipo de dato vinculado al proceso y al sistema Scada, sin importar distancias ni accesibilidad.
- Se puede realizar la supervisión de variables con la capacidad de programar toma de decisiones en base a los cambios del proceso evitando la presencia continua de un supervisor, afianzando aún más el proceso productivo.
- Permite el registro y almacenamiento del valor de variables que cambian continuamente, esto para realizar tendencias, cuadros explicativos, etc.
- Logramos una mejor administración del sistema de alarmas al centralizar toda la información del proceso registrando tiempo de duración, hora de inicio, sistema de reconocimiento de eventos por parte del operador, toma de decisiones.
- Posibilidad de habilitar control y mando manual desde el servidor para operar remotamente los actuadores del proceso, ingreso de puntos de consigna, modificación de parámetros.
- Permite programar procesos y recetas que serán realizadas por el supervisor, por ejemplo: puede programar varias variables al dar un clic del mouse en una receta de producción en donde cada valor será guardado en las variables correspondientes.

- Todo el sistema de control, adquisición de datos, monitoreo y supervisión dependen de una comunicación la cual debe ser lo más clara y segura como sea posible y para esto se debe garantizarla de manera que no se tenga alteraciones en la información compartida y esta sea verdadera, en conjunto con el aseguramiento de la información se debe implementar un control de accesos pertinente el cual nos permita administrar esta información de una manera apropiada, monitoreando el acceso de usuarios, cuentas de supervisores, etc. <sup>[9]</sup>

#### 6.1.5 Interfaz HMI

HMI (Interfaz Hombre Maquina), abarca la representación de los datos de un proceso que permite la visualización a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso (máquina). Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el ordenador, Controlador Lógico Programable, PLC, Unidad Terminal Remota, RTU, etc. Todos estos deben manejar un lenguaje comprendido por el HMI. <sup>[9]</sup>

#### 7. Elección de componentes electrónicos

Para el diseño y construcción de la planta de control de variables de temperatura, nivel y peso para la simulación de procesos industriales con autómatas programables y control PID, se seleccionaron ciertos componentes y dispositivos aptos para la caracterización de ésta, de los cuales se escogieron los que más aplican a la idea de lo que se quiere realizar, y finalizar con un resultado óptimo y práctico para un buen desempeño en los laboratorios de control y automatización de variables de procesos.

La escogencia de una válvula que regule el fluido del líquido se realizó por sus características, de las cuales se seleccionaron:

Selección de válvulas proporcionales:

- (Rechazada). Válvula proporcional 24vac/dc 1/2 Modulante.<sup>[13]</sup>

Precio: \$693.000

Definición

Medio: agua fría / caliente, con 50% de glicol.

Temperatura del medio: 2~90°C.

Presión nominal: PN20.

Tipo de conexión: Hembra.

Temperatura ambiente rango: 5 a +60°C 0~90%HR.

Tamaños disponibles: 1/2 a 1~1/2.

Tipos de válvulas: 2 vías y 3 vías.

Características de flujo: porcentaje igual, encendido/apagado.

Material

Cuerpo de la válvula: latón forjado, Hpb59-1.

Sello: bola: EPDM+PTFE.

Bola: latón.

Empaque: EPDM.

- (Rechazada). Válvula Bola 1 Dn25 Actuador Proporcional 4-20mA 24Vdc.<sup>[13]</sup>

Precio: \$399.000

Descripción

Tamaño del producto: 1", DN25.

Válvula material del cuerpo: Bronce.

Funcionamiento: DC9V-24V.

Señal de control: 4-20mA opcional 0 a 10V o 0 a 5Vdc.

Tiempo de giro 90°: 7seg.

Presión máxima de trabajo: 150Psi.

Corriente de trabajo: 500mA.

Tiempo de vida: 100.000 ciclos.

Material del actuador: PPO.

Material de sello: FKM y PTFE.

Angulo de rotación: 2Nm.

Longitud del cable: 0,5M.

Temperatura ambiente: -15°C a 60°C.

Temperatura fluido: 1°C a 95°C

Accionamiento manual: Ninguno.

Con indicador de apertura visual.

Clase de protección: IP67.

Aplicación: Agua/Aire.

Selección de resistencia eléctrica

- (Rechazada). Calentador de agua 110V portátil 8 litros resistencia.<sup>[14]</sup>

Precio: \$21.900

Características

Tensión nominal: 110v.

Frecuencia nominal: 60Hz

Potencia: 480w

Resistencia: Hasta 8 litros aprox.

Sumergible: Cable de 70cm.

Calienta x 1 litro de agua: 8min. Aprox.

Selección de electroválvulas:

- (Rechazada). Electroválvula de plástico 12v 3/4" con presión.<sup>[15]</sup>

Precio: \$26.775

Características

Marca: FUDI

Medio de funcionamiento: Aire, agua.

Voltaje de operación: 12vdc.

Tipo de accionamiento: Normalmente cerrada

Diámetro nominal: 8mm.

Tamaño de puerto: G3/4".

Presión salida de agua: 0.03Mpa~0.8Mpa.

Temperatura de operación: -5°C ~+60°C.

- (Rechazada). Electroválvula de plástico 12v 3/4" sin presión.<sup>[15]</sup>

Precio: \$23.391

Características

Marca: FUDI

Medio de funcionamiento: Aire, agua.

Voltaje de operación: 12vdc.

Modo de operación: Acción directa.

Tipo de accionamiento: Normalmente cerrada.

Diámetro nominal: 8mm.

Tamaño de puerto: G3/4".

Presión salida de agua: 0.00Mpa~0.2Mpa.

Temperatura de operación: -5°C~+60°C.

Selección de sensor de temperatura

- (Rechazada). Rtd Pt100 ohm control de temperatura del sensor termopar.<sup>[16]</sup>

Precio: \$71.990

Termopar sonda L 50 mm pt npt 12 hilos con aislamiento alambre de plomo.

Peso del producto: 1 libra.

Terminal: 3ea aplicado 3 cables a bb.

Longitud total: 2080mm 682 pies.

Fijación rosca: pt1 2 rosca cónica.

Resistente al agua.

- (Rechazada). Pt100 sensor de temperatura Rtd de platino 3 hilos.<sup>[16]</sup>

Precio: \$56.900

Tubo de acero inoxidable: 4mm diám. x 30mm de largo.

Medida del cable: 1m de largo.

Sensor de temperatura: PT100.

Cantidad de cables: 3 cables con terminales.

Rango de temperatura: -200°C a 500°C (-328°F a +1,022°F).

Interfaz: 3 hilos.

Presión:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ .

### Selección de sensor de nivel

- (Rechazado). Sharp Gp2y0a41sk0f 0a41sk Sensor Distancia Analógico 4-30cm.<sup>[19]</sup>

Precio: 29.000

Entrada de voltaje: 5v

Ciclo de medición: Corto (16.5ms).

Distancia de medición: 4 a 30cm.

Tamaño del paquete (29.5x13.0x13.5mm).

Tipo de salida: Analógica

#### 7.1.1 Válvula proporcional

Las válvulas proporcionales son válvulas de infinitas posiciones, en las que la magnitud (presión, caudal, etc.) es proporcional a la señal de entrada.

Podemos clasificar las principales válvulas proporcionales:

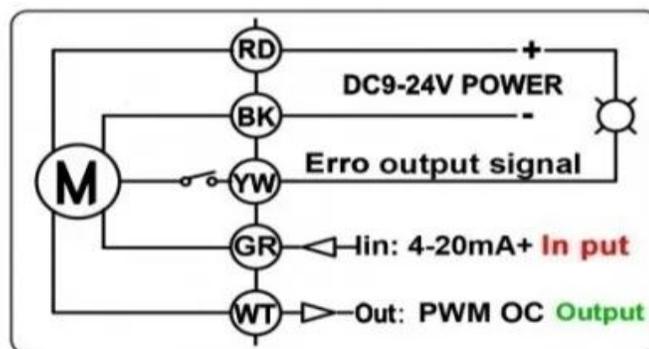
- Válvulas direccionales.

- Válvulas de caudal.
- Válvulas de presión.<sup>[12]</sup>

El funcionamiento de esta válvula es aplicarle una corriente de entrada de 4mA – 20mA para que esta cambie de posición, observando un cambio de flujo del agua, la idea principal al elegir este tipo de válvula es para implementar un control PID utilizando un autómata programable y sensor de entrada de peso o nivel, entre más exacto sea las mediciones el controlador se comportara más óptimo, la válvula nos permite regular el flujo en condiciones del muestreo en la toma de datos del sensor y el diseño del controlador.



*Imagen 1. Valvula Proporcional.*<sup>[13]</sup>



*Imagen 2. Conexiones electricas de Valvula Proporcional.*<sup>[13]</sup>

Características de la válvula proporcional:

Válvula Bola Dn8 1/4" Actuador Proporcional 4-20mA

Tamaño del producto	1 ", DN8
Válvula material del cuerpo	BRONCE
Funcionamiento	DC9V-24V
Señal de control	4-20mA opcional 0 a 10V o 0 a 5VDC
Tiempo de giro 90°	7 Seg.
Presión máxima de trabajo	150 Psi
Corriente de trabajo	500MA
Tiempo de vida	100,000 ciclos
Material del actuador	PpO
Material de sello	FKM y PTFE
Angulo de rotación actuador	90°
Fuerza de par de torsión	2Nm
Longitud del cable	0.5 M
Temperatura ambiente	-15°C a 60°C
	Ni

Accionamiento Manual	Ninguno
Clase de protección	IP67
Temperatura ambiente	-15 ° a 60 °C
Temperatura del líquido	1 ° a 95 °C
Aplicación	Agua / Aire

*Tabla 2. Características de la Valvula Proporcional. <sup>[13]</sup>*

### 7.1.2 Resistencia calefactora Tubular

Se adaptó una resistencia calefactora tubular metálica de 8 pulgadas de largo, 110v CA, a un tanque de acrílico, para calentar el líquido suministrado al tanque y aplicar la corriente adecuada por medio de un SCR (Relé de Estado Solido), para graduar la temperatura (calor) adecuada al líquido.

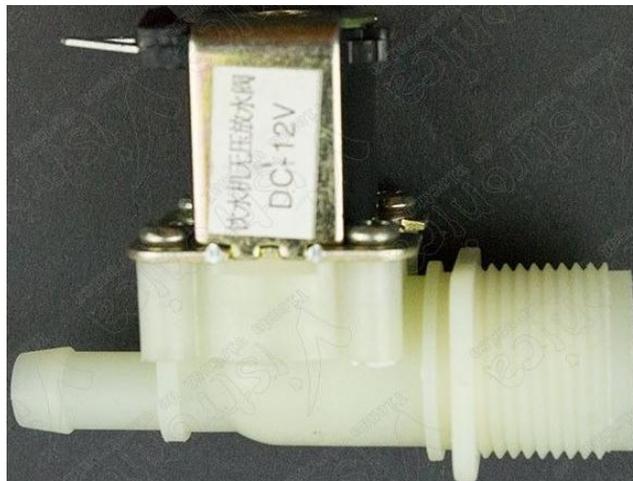


*Imagen 3. Resistencia calefactora tubular. <sup>[14]</sup>*

### 7.1.3 Electrovalvula y valvula manual

La electroválvula es una válvula solenoide de plástico que funciona con gravedad, permitiendo una apertura de 8mm, compatible con rosca 3/4 pulgadas a 10,5mm, se encuentra normalmente cerrada, se utiliza para controlar automáticamente el flujo de agua, trabaja con un voltaje de 12V. La electroválvula tiene una disposición de junta interior, por lo que no es requisito una presión mínima de 0,01Mpa. Además el líquido puede fluir solo en una dirección.

La válvula manual es metálica (latón) rosca 3/4 pulgadas, normalmente cerrada a 90°.



*Imagen 4. Electrovalvula solenoide .<sup>[15]</sup>*

Voltaje de operación	12V DC ~ 320mA
Medio de funcionamiento	Aire, agua
Tiempo de respuesta (abierta)	≤ 0,15seg.
Tiempo de respuesta (abierta)	≤ 0,3seg.

Diámetro de boquilla	10,5mm
Tamaño de puerto	G 3/4"
Presión de trabajo	0,00Mpa ~ 0,01Mpa
Temperatura de operación	1°C ~ 75°C
Vida útil	≥ 50 millones de ciclos

*Tabla 3. Características de la electroválvula solenoide. <sup>[15]</sup>*



*Imagen 5. Valvula manual.*

#### 7.1.4 Sensor de temperatura

El sensor de temperatura PT100 de tres hilos, es un tipo de sensor de temperatura RTD (detector de temperatura por resistencia). Está fabricado en platino con una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0°C.



*Imagen 6. Sensor de temperatura pt100. <sup>[16]</sup>*

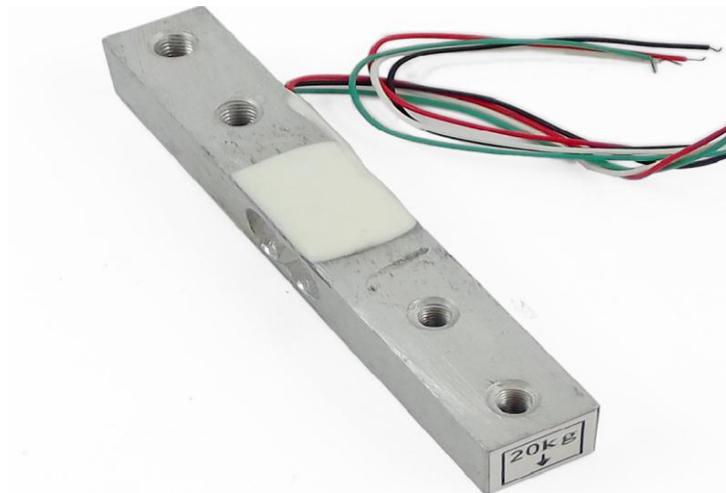
Modelo	RTD platino PT100
Resistencia platino	100 ohm a 0°C
Variación de resistencia por temperatura	0.385 O/°C nominal
Rango de temperatura utilizable	-200 a 550°C (-328°F a + 1.022°F)
Interfaz de	3 hilos
Precisión	± 0,5°C de -10°C a +85°C
Peso del sensor	19,3gr/0,7oz

*Tabla 4. Características del sensor de temperatura pt100. <sup>[16]</sup>*

#### 7.1.5 Sensor de peso

La celda de carga o sensor de peso está fabricado en aluminio, es un transductor que soporta cargas de compresión, tensión y flexión y las convierte en una magnitud eléctrica

proporcional a la carga. Dentro de la celda de carga se identifican dos partes principales con galgas extensiométricas, una parte mecánica y una parte eléctrica. La parte mecánica viene a ser el elemento resorte que soporta la fuerza externa aplicada sobre la celda de carga. La parte eléctrica viene a ser una o más galgas extensiométricas que traducen la fuerza aplicada en un cambio de resistencia eléctrica, esto basado en el principio físico que todo conductor sufre una variación en su resistencia eléctrica proporcional a la deformación causada por una fuerza. Las celdas de cargas poseen normal mente 4 galgas extensiométricas conectadas en una configuración de puente de Wheatstone. Esta configuración permite leer de forma precisa las variaciones de resistencia en las galgas.



*Imagen 7. Sensor de peso. <sup>[17]</sup>*

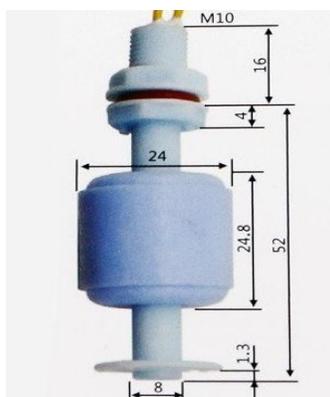
Modelo	FZ1439
Capacidad de carga nominal	20Kg
Salida de cero	0.02%FS
Precisión-Temperatura	0.02%FS

Temperatura de trabajo	-10°C a 50°C
Salida	4 cables (puente wheatstone)
Dimensiones	80x12.7x12.7mm
Agujeros (4)	D3.4mm
Longitud cables	16cm
Material	Aluminio
Peso	31g

*Tabla 5. Características del sensor de peso. <sup>[17]</sup>*

#### 7.1.6 Sensor de nivel

Sensor de nivel de líquido con flotador vertical off/on: este sensor de nivel es un interruptor de flotador diseñado en ángulo recto utilizado para detectar el nivel del líquido en un tanque. Este sensor es de alta precisión, alto rendimiento y alta estabilidad. Puede ser fácilmente convertido de normalmente abierto a normalmente cerrado invirtiendo la posición del flotador.

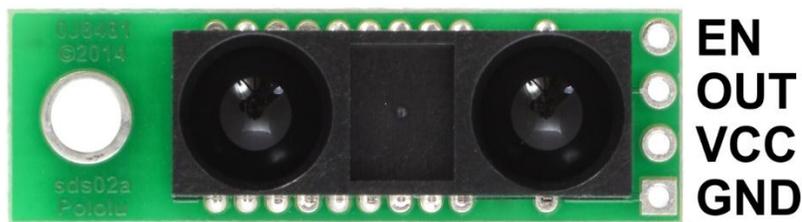


*Imagen 8. Sensor de nivel off/onl. <sup>[18]</sup>*

Voltaje	100 VDC (máx.)
Corriente	0,5 A (máx.)
Resistencia de contacto	100M $\Omega$ (máx.)
Material del flotador	Polipropileno (PP)
Material del cuerpo	Polipropileno (PP)
Temperatura de trabajo	-10°C a 85°C
Longitud del cable	40cm

*Tabla 6. Características del sensor de nivel off/onl. <sup>[18]</sup>*

Sensor infrarrojo GP2Y0A41SK0F SHARP es una unidad de medición de distancia, compuesta por una combinación integrada de PSD (detector sensible a la posición), LED de infrarrojos (diodo emisor de infrarrojos) y circuito de procesamiento de señal. La variedad de la reflectividad del objeto, la temperatura ambiental y la duración de la operación no se influencia fácilmente en la detección de la distancia debido a la adopción del método de triangulación. Este dispositivo emite la tensión correspondiente a la distancia de detección. Por lo tanto, este sensor también se puede utilizar como un sensor de proximidad.



*Imagen 9. Sensor infrarrojo de nivel Sharp. <sup>[19]</sup>*

Tipo de sensor	LED infrarrojo (PSD)
Ciclo de medición corto	16.5 ms
Distancia de medición	10cm a 150 cm (4" a 60")
Dimensiones	33x10.4x10.2 mm (1.3"x0.41"x0.4")
Entrada de voltaje	4.5V a 5.5V~6V
Consumo de energía (valor nominal)	33mA
Tipo de salida	Analógica

*Tabla 7. Características del sensor infrarrojo de nivel Sharp. <sup>[19]</sup>*

#### 7.1.7 Transmisor para celda de carga

El transmisor de escala de puente de carga de célula de carga de 5V a 10V, 24 VDC JY-S60 0-5V a 0-10V 4-20mA sensible 2,0 mV/v. Se aplican múltiples filtros a la fuente de alimentación para asegurar la estabilidad del voltaje de la fuente de alimentación. La señal de entrada se filtra a alta frecuencia y el ruido de la señal de alta frecuencia se filtra de forma estable y fiable.



*Imagen 10. Transmisor para celda de carga. <sup>[20]</sup>*

Referencia	JY-S60
Alimentación	18V DC ~ 26V
Impedancia de entrada	2Kohms máx.
Sensibilidad entrada	1,5mV ~ 2,1mV/V
Tensión de excitación	5V DC
Salidas	0 a 10V y 4mA a 20mA
Capacidad para trabajar	Hasta 4 celdas en paralelo
Capacidad de carga	87ohms (4 celdas de 350ohms en paralelo)
Precisión	0,3% FS
Temperatura de trabajo	0°C ~ 50°C
Peso	90gramos
Dimensiones	115x80x35mm

*Tabla 8. Transmisor para celda de carga. <sup>[20]</sup>*

#### 7.1.8 SSR

El relé de estado sólido SSR (Solid State Relay), lo utilizamos para poner en funcionamiento dispositivos eléctricos o electrónicos mediante una señal de control.

Una de las principales características de un relé de estado sólido es que entre la corriente del circuito de control y la corriente del circuito de potencia no existe ningún punto donde se conecten, se unan o interfieran una con la otra. Esto es de suma importancia para independizar el circuito de control del de potencia.

La serie SR1 es un disipador térmico extraíble SSR. Esta serie presenta un tablero de cerámica que maximiza la eficiencia de la protección contra el calor y un diseño delgado y universal que mejora la experiencia del usuario. Además, la resistencia dieléctrica excepcionalmente alta de 4.000 VCA ofrece un rendimiento altamente confiable y seguro. Las áreas de aplicación incluyen cargas de calentadores, dispositivos de semiconductores, máquinas industriales y controles de motores.

El SSR AUTONICS srph1-a220 SSR, entrada analógica, Single Phase, 4 – 20 mA de entrada, 100 – 240 VAC, carga 20 A.



*Imagen 11. Relé de estado solido SSR. <sup>[21]</sup>*

#### Características

- Frecuencia: 50/60 HZ
- Fuente de alimentación: 100-240 VCA
- Nombre de la marca: Autonics

- Grado actual: 20 amperios
- Función: giro cruzado cero
- Peso del artículo: aproximadamente 410 gramos
- Rango de temperatura: temperatura ambiente: -20 a 70 grados C
- Número de artículos: 1
- Detalles de la entrega: 15
- Temperatura de almacenamiento: -20 a 100 grados C
- Tipo de producto: Disipador térmico separado
- **Especificaciones:** Rigidez dieléctrica: 4000VAC 50 / 60Hz por 1min. (Entrada-Salida, Entrada / Salida-Caso), Conexión de terminal de entrada Mín. 10.5 mm<sup>2</sup> (1AWG20) Máx. 11,5 mm<sup>2</sup> o 21,5 mm<sup>2</sup>, conexión de terminal de salida mín. 1x1.5mm<sup>2</sup>, Max.1x16mm<sup>2</sup> o Max. 2X6mm<sup>2</sup>
- **Serie:** SRPH1
- **Fase:** monofásica
- **Texto del modelo:** SRPH1-A220
- **Rango de resistencia:** resistencia de aislamiento: mho in 100 mho

#### 7.1.9 PLC (programmable logic controller).

El PLC (programmable logic controller), también conocido como autómatas programables es un dispositivo electrónico que se programa para realizar acciones de control automáticamente. Es básicamente una computadora industrial la cual procesa todos los datos de una máquina, como pueden ser sensores, botones, temporizadores y cualquier señal de entrada. Para posteriormente controlar los actuadores como pistones, motores,

válvulas, etc. Y así poder controlar cualquier proceso industrial de manera automática. Un PLC es un cerebro que activa componentes de máquinas para que ejecuten tareas que pudieran ser peligrosas para el ser humano.

El proveedor que suministra y/o programa un PLC personaliza el equipo como un sistema con funciones que se activan según las necesidades de control, registro, recetas, monitoreo con acceso remoto, etc.

Gracias a los PLC las fábricas se han ahorrado problemas de operaciones riesgosas y una significativa cantidad de dinero en mantenimiento, logrando también aumentar considerablemente la vida útil de sus maquinarias y equipos e incrementando la velocidad de producción, optimización el uso de la materia prima y elevando la calidad de la manufactura terminada.

PLC TWIDO TWDLCAE40DRF, modulo lógico Schneider Electric, comunicación Ethernet, 24 entradas tipo digital, 16 salidas tipo relé, transistor.



*Imagen 12. PLC Twido. <sup>[22]</sup>*

*Tabla 8. PLC TWIDO. <sup>[22]</sup>*

Rango de producto	Twido
Tipo de producto o componente	Controlador base compacto
Concepto	Listo transparente
Numero de E/S discreto	40
Número de entrada discreta	24
Voltaje de entrada discreto	24V
Tipo de voltaje de entrada discreto	Corriente continua
Número de salida discreta	14 para relé 2 para transistor
[Us] Tensión de alimentación nominal	100 ... 240 V CA
Número máximo de módulo de expansión de E / S	77
Uso de ranura	Cartucho de memoria
Datos respaldados	RAM interna batería externa TSXPLP01, 3 años de autonomía
Tipo de conexión integrada	Fuente de alimentación Mini DIN de enlace serie aislado, Modbus / modo de caracteres maestro / esclavo RTU / ASCII (RS485) semidúplex, 38.4 kbit/s

	<p>Adaptador de interfaz de enlace serie (RS232C / RS485)</p> <p>Ethernet TCP / IP RJ45, 10/100 Mbit/s, 1 par trenzado transparente listo clase A10</p>
Función complementaria	Procesamiento de eventos PID
Lógica de entrada discreta	Fregadero o fuente
Límites de voltaje de entrada	20,4 ... 26,4 V
Corriente de entrada discreta	<p>11 mA para I0.0 a I0.1</p> <p>11 mA para I0.6 a I0.7</p> <p>7 mA para I0.2 a I0.5</p> <p>7 mA para I0.8 a I0.23</p>
Impedancia de entrada	<p>2100 Ohm para I0.0 a I0.1</p> <p>2100 Ohm para I0.6 a I0.7</p> <p>3400 Ohm para I0.2 a I0.5</p> <p>3400 Ohm para I0.8 a I0.23</p>
Tiempo de filtro	<p>150 <math>\mu</math>s + tiempo de filtro programado para I0.6 a I0.23 en el estado 0</p> <p>35 <math>\mu</math>s + tiempo de filtro programado para I0.0 a I0.5 en el estado 1</p> <p>40 <math>\mu</math>s + tiempo de filtro programado para I0.0 a I0.5 en el estado 0</p> <p>40 <math>\mu</math>s + tiempo de filtro programado para</p>

	I0.6 a I0.23 en el estado 1
Aislamiento entre canal y lógica interna	1500 Vrms por 1 minuto
Resistencia de aislamiento entre canal	Ninguna
Carga mínima	0.1 mA
Resistencia de contacto	30000 $\mu$ Ohm
Corriente de carga	<p>2 A a 240 V CA de carga inductiva, velocidad de funcionamiento &lt;30 cyc / mn para salida de relé</p> <p>2 A a 240 V CA de carga resistiva, velocidad de funcionamiento &lt;30 cyc / mn para salida de relé</p> <p>2 A a 30 V CC de carga inductiva, velocidad de funcionamiento &lt; 30 cyc / mn para salida de relé</p> <p>2 A a 30 V DC carga resistiva, velocidad de funcionamiento &lt;30 cyc / mn para salida de relé</p>
Durabilidad mecánica	20000000 ciclos para salida de relé
Durabilidad eléctrica	100000 ciclos para salida de relé
Consumo actual	<p>128 mA en 24 V CC en estado 1</p> <p>128 mA en 24 V CC estado 1 + entrada</p>

	<p>ENCENDIDA</p> <p>170 mA en 5 V CC en estado 0</p> <p>240 mA en 5 V CC estado 1 + entrada</p> <p>ENCENDIDA</p> <p>5 mA en 24 V CC en estado 0</p> <p>90 mA en 5 V CC en estado 1</p>
Conexión de E / S	Bloque de terminales de tornillo no extraíble
Número máximo de entrada / salida	<p>152 bloque de terminales de tornillo extraíble con módulo de expansión de E / S</p> <p>208 bloque de terminales de resorte con módulo de expansión de E / S</p> <p>264 conector HE-10 con módulo de expansión de E / S</p>
Frecuencia de red	50/60 Hz
Límites de tensión de alimentación	85... 264 V
Límites de frecuencia de red	47... 63 Hz
Corriente de salida de la fuente de alimentación	0.4 A para sensores de 24 V CC
Corriente de entrada	790 mA
Corriente de entrada	35 A

Tipo de protección	Protección de energía por fusible interno
Consumo de energía en VA	65 VA a 100 V 77 VA a 264 V
Resistencia de aislamiento	> 10 Mohm a 500 V, entre E / S y terminales de tierra  > 10 Mohm a 500 V, entre alimentación y terminales de tierra
Memoria de programa	3000 instrucciones
hora exacta para 1 Kinstruction	1 ms
Sobrecarga del sistema	0,5 ms
Descripción de la memoria	RAM interna, 128 contadores, no flotante, no  RAM interna trigonométrica , 128 temporizadores, no flotante, no  RAM interna trigonométrica , 256 bits internos, no flotante, no interna  RAM trigonométrica , 3000 palabras internas, no flotante, no interna  RAM trigonométrica , doble palabras, no flotante, no trigonométrico

	RAM interna, flotante, trigonométrico
Sitios libres	1
Reloj en tiempo real	Con reloj, deriva del reloj $\leq 30$ s / mes, tiempo de funcionamiento: 30 días
Puerto Ethernet	10BASE-T / 100BASE-TX
Servicio de comunicación	Cliente BOOTP, mensajería Ethernet TCP / IP Modbus, Ethernet TCP / IP
Funciones de posicionamiento	PWM / PLS 2 canal (es) a 7 kHz
Contando el número de entrada	2 entradas de conteo a 20000 Hz 32 bits 4 entradas de conteo a 5000 Hz 16 bits
Puntos de ajuste analógicos	1 punto ajustable de 0 a 511 puntos 1 punto ajustable de 0 ... 1023
LED de estado	1 LED (verde) PWR: 1 LED (verde) EN EJECUCIÓN : 1 LED por canal (verde) Estado de E / S: 1 LED (rojo) error del módulo (ERR): 1 LED luz piloto de usuario (STAT): 1 LED 10 o 100 Mbit / s tasa (LACT): 1 LED Estado de Ethernet (LAN ST):

Tabla 9: PLC TWIDO.

**PLC SIEMENS S7-1200, (SIMATIC S7-1200), CPU 1214C, CPU compacta, dc/dc/relés, e/s integradas: 14 di 24VDC, 10 do relés 2A, 2 AI 0 - 10v dc, alimentación: AC 20,4 -28,8 V DC, memoria de programa/datos 75 Kb.**



*Imagen 13. PLC S7-1200. [23]*

*Tabla 9. PLC Siemens S7-1200. [23]*

### Información general

Ingeniería con	
Paquete de programación	STEP 7 V11.0 SP2 o superior
Tensión de alimentación	
24 V DC	Sí
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Tensión de carga L+	
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	5 V
Rango admisible, límite superior (DC)	250 V

---

#### Intensidad de entrada

---

Consumo (valor nominal)	500 mA; típicamente
-------------------------	---------------------

---

Consumo máx.	1,2 A; 24 V DC
--------------	----------------

---

Intensidad de cierre, máx.	12 A; con 28,8 V
----------------------------	------------------

---

#### Alimentación de sensores

---

##### Alimentación de sensores 24 V

---

24 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V
------	--------------------------------

---

#### Intensidad de salida

---

Intensidad en bus de fondo (5 V DC), máx.	1600 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
---	-----------------------------------

---

#### Pérdidas

---

Pérdidas, típ.	12 W
----------------	------

---

#### Memoria

---

Memoria de usuario	75 Kbyte
--------------------	----------

---

#### Memoria de trabajo

---

Integrada	75 Kbyte
-----------	----------

---

Ampliable	No
-----------	----

---

#### Memoria de carga

---

Integrada	4 Mbyte
-----------	---------

---

#### Respaldo

---

Existente	Sí; (sin mantenimiento)
-----------	-------------------------

---

Sin pila	Sí
----------	----

---

#### Tiempos de ejecución de la CPU

---

Para operaciones de bits, típ.	0,085 $\mu$ s; /instrucción
--------------------------------	-----------------------------

---

Para operaciones de palabras, típ.	1,7 $\mu$ s; /instrucción
Para aritmética en coma flotante, típ.	2,5 $\mu$ s; /instrucción
CPU-bloques	
Nº de bloques (total)	DBs, FCs, FBs, contadores y temporizadores. El número máximo de bloques direccionables es de 1 a 65535. No hay ninguna restricción, uso de toda la memoria de trabajo
OB	
Cantidad, máx.	Limitada únicamente por la memoria de trabajo para código
Áreas de datos y su remanencia	
Área de datos remanentes total (incl. temporizadores, contadores, marcas), máx.	10 Kbyte
Marcas	
Cantidad, máx.	8 Kbyte; Tamaño del área de marcas
Área de direcciones	
Área de direcciones de periferia	
Total área de direccionamiento de periferia	1024 bytes para entradas/1024 bytes para salidas
Imagen del proceso	
Entradas, configurables	1 Kbyte
Salidas, configurables	1 Kbyte
Configuración del hardware	
Nº de módulos por sistema, máx.	3 Communication Module, 1 Signal Board, 8 Signal Module
Hora	

## Reloj

Reloj por hardware (reloj tiempo real)	Sí	
Desviación diaria, máx.	60 s/mes @ 25 °C	
Duración del respaldo	480 h; típicamente	
Entradas digitales		
Cantidad/entradas binarias	14; integrada	
De ellas, entradas usable para funciones tecnológicas	6; HSC (High Speed Counting)	
Canales integrados (DI)		14
de tipo M	Sí	
Número de entradas atacables simultáneamente		
Todas las posiciones de montaje		
Hasta 40 °C, máx.		14
Tensión de entrada		
Valor nominal, DC	24 V	
Para señal "0"	5 V DC, con 1 mA	
Para señal "1"	15 V DC con 2.5 mA.	
Intensidad de entrada		
Para señal "1", típ.	1 mA	
Retardo de entrada (a tensión nominal de entrada)		
para entradas estándar		
parametrizable	0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, y 12.8 ms, elegible en grupos de 4	
En transición "0" a "1", máx.	0,2 ms	

En transición "0" a "1", máx.	12,8 ms
para entradas de alarmas	
parametrizable	Sí
para contadores/funciones tecnológicas:	
parametrizable	Monofásica: 3 @ 100 kHz y 3 @ 30 kHz Diferencial: 3 @ 80 kHz 3 @ 30 kHz
Longitud del cable	
Longitud del cable apantallado, máx.	500 m; 50 m para funciones tecnológicas
Longitud de cable no apantallado, máx.	300 m; Para funciones tecnológicas: No
Salidas digitales	
Número/salidas binarias	10; Relé
Canales integrados (DO)	10
Funcionalidad/resistencia a cortocircuitos	No; a prever externamente
Poder de corte de las salidas	
Con carga resistiva, máx.	2 A
Con carga tipo lámpara, máx.	30 W con DC, 200 W con AC
Retardo a la salida con carga resistiva	
"0" a "1", máx.	10 ms; máx.
"1" a "0", máx.	10 ms; máx.
Frecuencia de conmutación	
De las salidas de impulsos, con carga óhmica, máx.	1 Hz

## Salidas de relé

Nº de salidas relé	10
Número de ciclos de maniobra, máx.	mecánicos: 10 millones, con tensión nominal de carga: 100000
Longitud del cable	
Longitud del cable apantallado, máx.	500 m
Longitud de cable no apantallado, máx.	150 m
Entradas analógicas	
Canales integrados (AI)	2; 0 a 10 V
Nº de entradas analógicas	2
Rangos de entrada	
Tensión	Sí
Rangos de entrada (valores nominales), tensiones	
0 a +10 V	Sí
Resistencia de entrada (0 a 10 V)	$\geq 100$ Kohmios
Longitud del cable	
Longitud del cable apantallado, máx.	100 m; trenzado y apantallado
Formación de valores analógicos	
Tiempo de integración y conversión/resolución por canal	
Resolución con rango de rebase (bits incl. signo), máx.	10 bit
Tiempo de integración parametrizable	Sí
Tiempo de conversión (por canal)	625 $\mu$ s
Sensor	

## Sensores compatibles

Sensor a 2 hilos	Sí
------------------	----

### 1. Interfaz

Tipo de interfaz	PROFINET
------------------	----------

Norma física	Ethernet
--------------	----------

con aislamiento galvánico	Sí
---------------------------	----

Detección automática de la velocidad de transferencia	Sí
---	----

Autonegociación	Sí
-----------------	----

Autocrossing	Sí
--------------	----

### Funcionalidad

PROFINET IO-Controller	Sí
------------------------	----

### Funciones de comunicación

#### Comunicación S7

Soporta servidor iPAR	Sí
-----------------------	----

como servidor	Sí
---------------	----

Como cliente	Sí
--------------	----

#### Comunicación IE abierta

TCP/IP	Sí
--------	----

ISO-on-TCP (RFC1006)	Sí
----------------------	----

UDP	Sí
-----	----

#### servidores web

Soporta servidor iPAR	Sí
-----------------------	----

Páginas web definidas por el usuario	Sí
--------------------------------------	----



entre los canales	No
Diferencia de potencial admisible	
entre diferentes circuitos	500 V DC entre 24 V DC y 5 V DC
CEM	
Inmunidad a perturbaciones por descargas de electricidad estática	
Inmunidad a perturbaciones por descargas de electricidad estática IEC 61000-4-2	Sí
Tensión de ensayo con descarga en aire	8 Kv
Tensión de ensayo para descarga por contacto	6 Kv
Inmunidad a perturbaciones conducidas	
por los cables de alimentación según IEC 61000-4-4	Sí
Inmunidad a perturbaciones por cables de señales IEC 61000-4-4	Sí
Inmunidad a perturbaciones por tensiones de choque (sobretensión transitoria)	
por los cables de alimentación según IEC 61000-4-5	Sí
Inmunidad a perturbaciones conducidas, inducidas mediante campos de alta frecuencia	
Inmunidad a campos electromagnéticos radiados a frecuencias radioeléctricas según IEC 61000-4-6	Sí
Emisión de radio interferencias según EN 55 011	
Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase A)	Sí; Grupo 1

Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase B)	Sí; Si se garantiza mediante medidas oportunas que se cumplen los valores límite de la clase B según EN 55011
---	---

---

Grado de protección y clase de protección

---

IP20	Sí
------	----

---

Normas, homologaciones, certificados

---

Marcado CE	Sí
------------	----

---

Homologación CSA	Sí
------------------	----

---

Homologación UL	Sí
-----------------	----

---

CULus	Sí
-------	----

---

C-TICK	Sí
--------	----

---

Homologación FM	Sí
-----------------	----

---

Homologaciones navales	Sí
------------------------	----

---

Condiciones ambientales

---

Temperatura de empleo

---

Mín.	-20 °C
------	--------

---

Máx.	60 °C
------	-------

---

Montaje horizontal, mín.	-20 °C
--------------------------	--------

---

Montaje horizontal, máx.	60 °C
--------------------------	-------

---

Montaje vertical, mín.	-20 °C
------------------------	--------

---

Montaje vertical, máx.	50 °C
------------------------	-------

---

Temperatura de almacenaje/transporte

---

Mín.	-40 °C
------	--------

---

Máx.	70 °C
------	-------

---

---

Presión atmosférica

---

En servicio mín. 795 hPa

---

En servicio máx. 1080 hPa

---

Almacenamiento/transporte, mín. 660 hPa

---

Almacenamiento/transporte, máx. 1080 hPa

---

Humedad relativa

---

En servicio máx. 95 %; sin condensación

---

Vibraciones

---

Vibraciones Montaje en pared 2 g; perfil DIN, 1 g

---

En servicio, según DIN IEC 60068-2-6 Sí

---

Ensayo de choques

---

ensayado según DIN IEC 60068-2-27 Sí; IEC 68, parte 2-27; semisinusoide: fuerza de choque 15 g (valor de cresta), duración 11 ms

---

Condiciones climáticas y mecánicas para el almacenamiento y el transporte

---

Condiciones climáticas de almacenamiento y transporte

---

Caída libre

---

Altura de caída máx. (en el embalaje) 0,3 m; Cinco veces, en embalaje de envío

---

Temperatura

---

Rango de temperatura permitido -40 °C a +70 °C

---

Condiciones mecánicas y climáticas en servicio

---

Condiciones climáticas en servicio

---

Temperatura

---

Mín. -20 °C

---

Máx.	60 °C
Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
Presión atmosférica permitida	De 1080 a 795 hPa
Altitud de servicio permitida	De -1000 a 2000 m
Concentraciones de sustancias contaminantes	
SO2 con HR < 60% sin condensación	SO2: < 0,5 ppm; H2S: < 0,1 ppm; HR < 60% sin condensación
Configuración	
programación	
Lenguaje de programación	
KOP	Sí
FUP	Sí
SCL	Sí
Vigilancia de tiempo de ciclo	
Configurable	Sí
Dimensiones	
Anchura	110 mm
Altura	100 mm
Profundidad	75 mm
Peso	
Peso, aprox.	435 g

## 8. Resultados

### 8.1. Diseño de la planta de control de variables (Peso, nivel y temperatura).

El diseño de la planta se ejecutó en base a la necesidad de prácticas en el laboratorio de control y automatización industrial. Debido a la deficiencia de plantas y módulos para las prácticas, implementamos una planta que suple al menos tres procesos de variables de control y automatización de forma simulada. Esta planta entregará a los estudiantes y profesores una versión simulada de un proceso industrial por medio de variables de control como lo son: temperatura, nivel y peso; entregando un resultado óptimo y eficiente por medio de un controlador PID.

La estructura de la planta consta de tres tanques T1, T2 y T3 en acrílico, establecidos sobre una base metálica cada uno; estos tanques tienen un tubo PVC adaptado en su fondo, para llenado y desagüe posteriormente. Para la entrada del líquido (agua, aceite, u otro fluido) por el tubo principal PVC, se le instaló una válvula proporcional VP de 24V que regulará y distribuirá el líquido hacia el tanque T1 de 35cm de alto x 20cm de diámetro y 10 litros de capacidad, el cual se llenará a la medida requerida en mililitros, y censada por una celda de carga en aluminio de 20kg de soporte para tomar el peso del tanque con el líquido en gramos, enviándole una señal al PLC por medio de un transmisor, mostrando el resultado en un sistema SCADA y simulándolo como animación en el programa INTOUCH.

Para el tanque T2 de 25cm de alto y 15cm de diámetro, el líquido se distribuirá dependiendo de una electroválvula solenoide EV off/on 12V de pasta a gravedad y 3/4 pulgadas de rosca, posteriormente una válvula manual VM2, 3/4 pulgadas de rosca para decidir la dirección del flujo del líquido, midiéndolo con un sensor de nivel infrarrojo

emisor-receptor enviando una señal análoga al PLC y regulando el líquido con la válvula proporcional VP.

En el tanque T3 de 25cm de alto y 15cm de diámetro, el líquido se distribuirá dependiendo de una electroválvula solenoide EV off/on 12V de pasta a gravedad y 3/4 pulgadas de rosca, posteriormente una válvula manual VM3, 3/4 pulgadas de rosca para decidir la dirección del flujo del líquido, igual que en el tanque T2. Para este tanque T3 el líquido llegará a un nivel requerido en el momento que la electroválvula EV cierre, cuando el sensor de nivel off/on le envíe la señal, al llegar al nivel requerido de líquido en el tanque T3, la resistencia eléctrica se enciende para así llegar a la temperatura requerida para calentar el líquido, y finalmente el sensor de temperatura pt100 toma las medidas de temperatura en los tiempos requeridos para enviar las señales al PLC para que haga el control PID.

#### 8.1.1 Control de nivel utilizando sensor de peso

En la planta de control se hicieron tomas de datos para caracterizar el sensor de celda de carga de 20 Kg que soporta este peso máximo, esta elección del sensor se hizo porque el peso del líquido es 9370 gramos cuando el tanque está casi lleno en su totalidad, se utilizó un transmisor de referencia JY-S60 con una salida de 4mA a 20mA o 0V a 10V, este transmisor tiene un Zero o spam de voltaje y corriente, que se utiliza para iniciar el sensor de peso en condiciones iniciales a la hora de hacer la toma de datos.

La toma de datos se hizo de la siguiente manera: la válvula proporcional se dejó totalmente abierta, se abre el grifo de la pluma con una apertura de 40 grados, para que la presión del caudal no sea tan alta y cada 500ml se cierra la válvula manual de la planta y así

secuencialmente se tomó la data de la señal, peso (gr), litros(ml), estos datos se digitan en Excel y después se grafican, dando como respuesta lineal al igual que la ecuación dando un  $R^2$  de 0.9972, utilizando un PLC TWIDO para leer la señal del sensor análogo con entrada de 4mA a 20mA como se muestra en imagen siguiente.

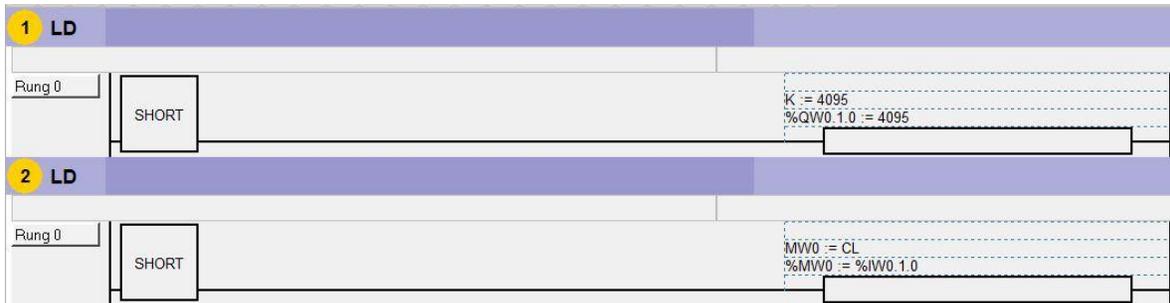


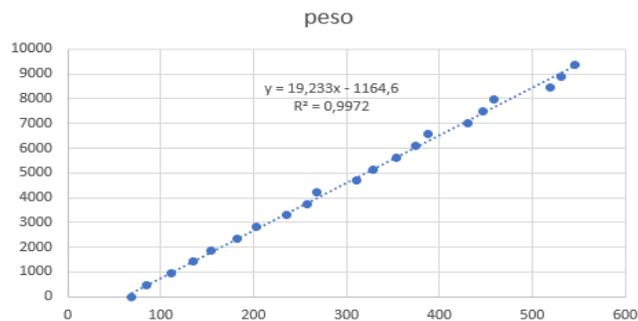
Imagen 14: Programación para la toma de datos

En la gráfica anterior se muestra la programación para la toma de datos, siendo K la variable de salida del módulo TM2AMM3HT que va conectada a la válvula proporcional y la entrada como se muestra anteriormente CL, conectada al transmisor, esta toma de datos se hizo cada 500ml utilizando un vaso de precipitado con capacidad de 1000ml y una báscula digital con referencia RW00-1220-020 tomando la data de 468,5gr. Después se marcó el tanque cada 500ml hasta llegar los 10000ml, permitiendo que la toma de datos fuera más precisa.

señal	peso	litros
69	0	0
85	468,5	500
112	937	1000
135	1405,5	1500
154	1874	2000
182	2342,5	2500
203	2811	3000
235	3279,5	3500
258	3748	4000
268	4216,5	4500
311	4685	5000
329	5153,5	5500
353	5622	6000
375	6090,5	6500
388	6559	7000
430	7027,5	7500
446	7496	8000
458	7964,5	8500
519	8433	9000
531	8901,5	9500
546	9370	10000

Tabla 11: Toma de datos del sensor de peso.

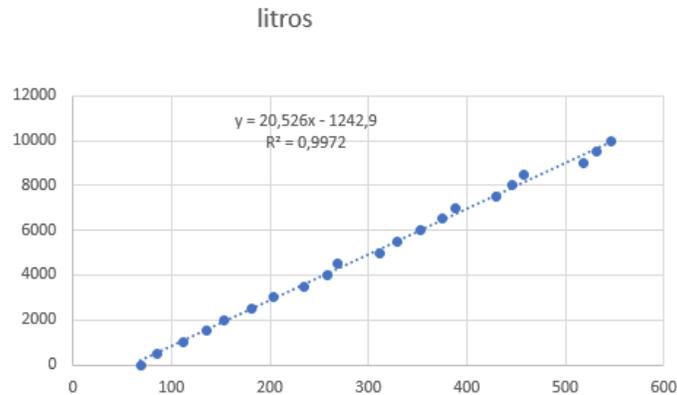
En la tabla que se muestra anteriormente se observa la toma de adquisición de datos, de la señal, peso (gr) cada 468.5gr y litros (ml) cada 500ml, graficando la entrada de señal y salida gramos y mililitros como se muestra en la grafica siguiente.



Grafica 3: Entrada de señal y salida de peso

En la grafica que se muestra anteriormente se observar la ecuación de salida de la caracterización del sensor, para hallar peso, se muestra que el  $R^2$  es de 0.9972 siendo lineal la ecuación.

$$y = 19.233X - 1164.6$$



Grafica 4: Señal vs Mililitros.

Como se observa en la grafica 4, se muestra que la toma de datos al graficarlos se muestra que el sensor se comporta casi ligeramente lineal utilizando el transmisor, el  $R^2$  es de 0.9972 al agregar la linea de tendencia y presentar la ecuacion del grafico, la mejor que se comporta es la ecuación lineal.

$$y = 20.526X - 1242.9$$

The image shows a screenshot of a MATLAB workspace window titled "SALIDA". The window displays a 21x1 double array. The first row contains the value "1". The subsequent rows contain values from 1000 to 10000 in increments of 500. The values are: 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500, 7000, 7500, 8000, 8500, 9000, 9500, and 10000.

	1
3	1000
4	1500
5	2000
6	2500
7	3000
8	3500
9	4000
10	4500
11	5000
12	5500
13	6000
14	6500
15	7000
16	7500
17	8000
18	8500
19	9000
20	9500
21	10000

Tabla 12: exportando datos Workspace.

En la tabla 3 se exportaron los datos de entrada y salida (señal y mililitros) utilizando la herramienta ident de matlab, se importa la data que fueron declaras en el workspace y se ingresa el tiempo de empesar y el tiempo de muestro para despues importarlos.

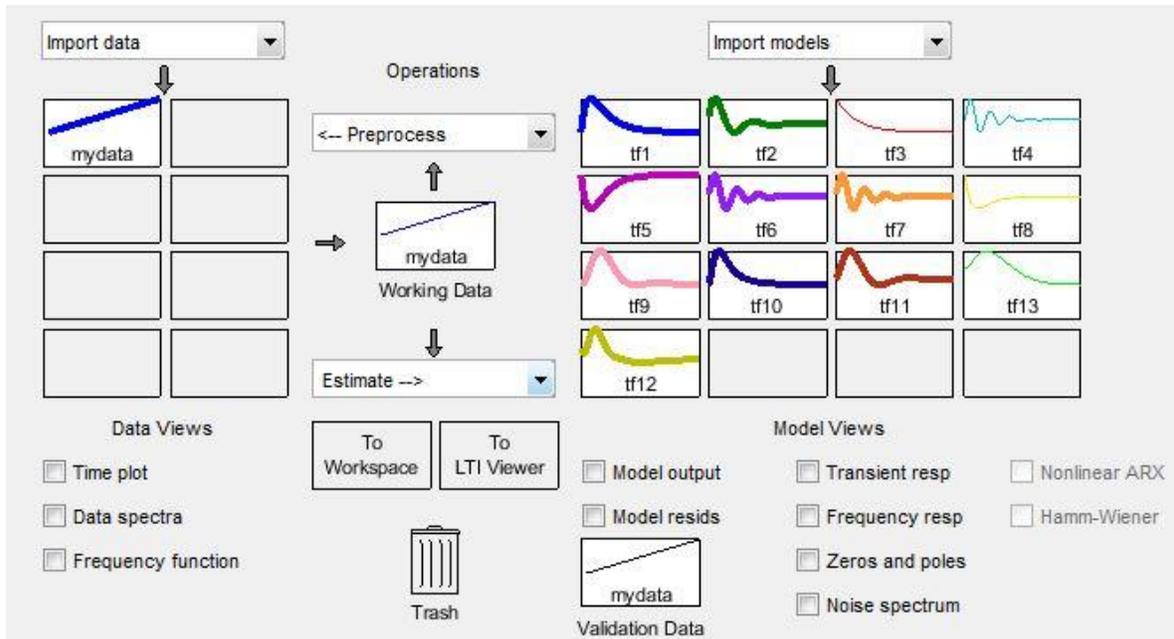


Imagen 15: Estimación del modelo de la planta

En la imagen 1 nos muestra el comportamiento de diferentes modelos matemáticos experimentales de la planta, algunos de 3,2 y 4 polos, en nuestro caso elegimos la mejor respuesta de la estimación de la planta, esta consta de dos polos y cero zeros, que al graficarlos quedan al lado izquierdo, comportándose establemente la planta, como se muestra en la ecuación siguiente:

$$Tf1 = \frac{114.2}{s^2 + 5.508s + 5.544}$$

En la ecuación anterior Tf1 muestra la función de transferencia de estimación de la planta del modelado matemático experimental, en la siguiente imagen se muestra un lazo abierto con un escalón unitario para graficar la respuesta de la planta, para implementar el primer método Ziegler-Nichols para poder diseñar el controlador adecuado.

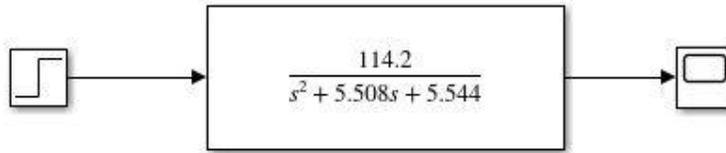
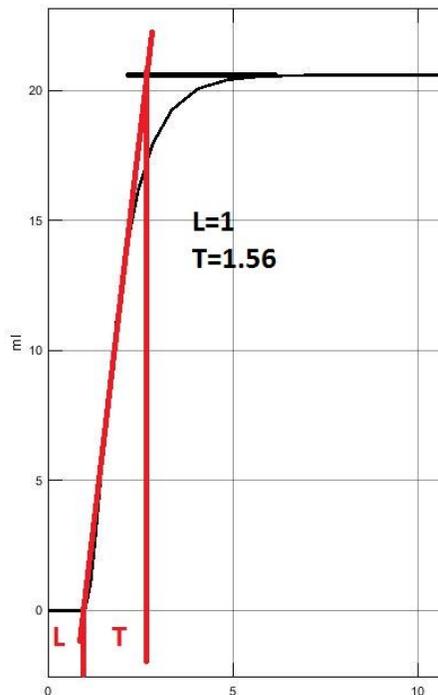


Imagen 16: Lazo abierto

La respuesta en lazo abierto, no tiene acción de control, esto quiere decir que la salida no es comparada con la entrada, ya que no tiene realimentación y su comportamiento es inestable, el objetivo es estabilizar la planta implementando un control PID.



Grafica 5: Respues en lazo abierto

En la imagen anterior se observa la respuesta de la salida de lazo abierto, se muestra que la planta se estabiliza en un set point de 22, con un escalon unitario de entrada 1, esto quiere decir que la planta es inestable, no tiene sobre pico y el tiempo de estabilización es de 6 segundos, la idea principal es aplicarle el primer método Ziegler-Nichols, trazando una

tangente como se muestra en la grafica, se halla el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T, al ser un control en lazo abierto, se hace necesario implementar un controlador optimo, ya que con las características de la respuesta de la planta es imposible estabilizarse si no se le aplica un control, a continuacion se aplicara los parametros Ziegler-Nichols:

Tipo	Kp	Ti	Td
PID	1.2(T/L)	2L	0.5L

Tabla 13: Parametros de Ziegler-Nichols

Tipo	Kp	Ti	Td
PID	1.872	2	0.5

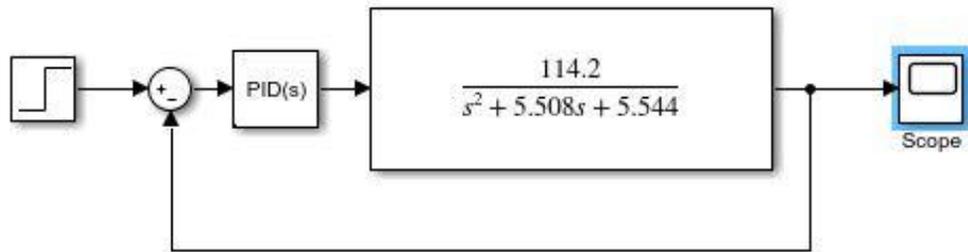
Tabla 14: Resultados

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

$$K_d = K_p * T_d$$

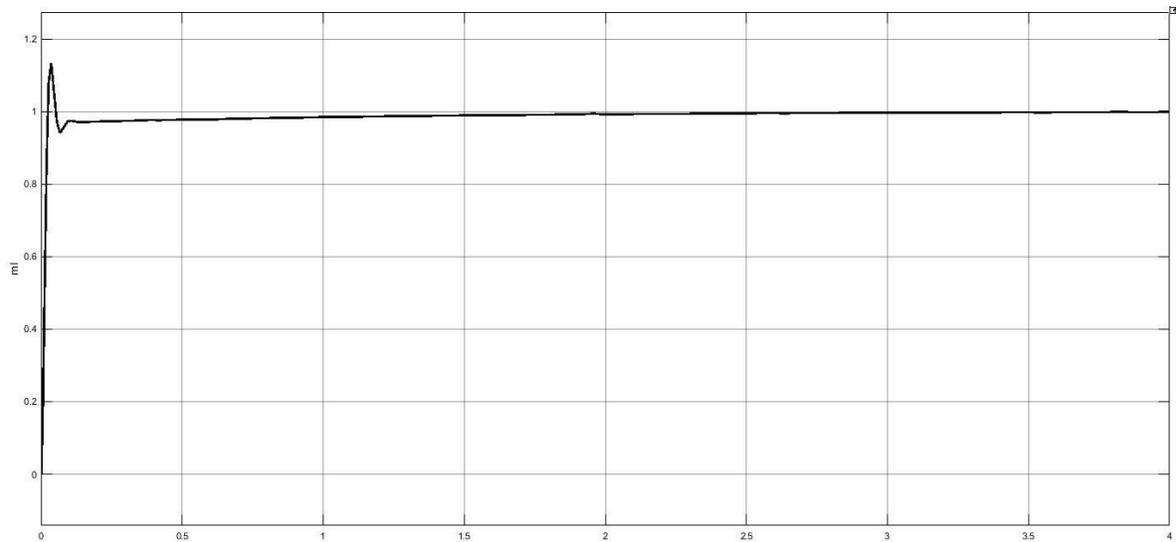
$$K_i = 0.936$$

$$K_d = 0.936$$



Grafica 17: Lazo cerrado

Como se muestra anteriormente, en el lazo cerrado con realimentación, se compara el error de la salida respecto a la entrada, implementando las ganancias halladas en los parámetros Ziegler-Nichols, el objetivo es que el sistema se estabilice en el set point propuesto, para implementarlo en el autómata Twido y así analizar la respuesta en tiempo real del controlador diseñado.



Grafica 6: Respuesta del controlador

En la gráfica 11 se puede decir que el controlador diseñado por parámetros de Ziegler-Nichols es óptimo, porque la planta se estabiliza en el set point propuesto, las

características de respuesta es la siguiente: se observa un sobre pico ligeramente, el tiempo de subida es pequeño en estado transitorio, la sobreelongación igual y el tiempo de estabilización es de 2.5 segundos en el estado estacionario, la respuesta de la planta para estabilizarse es rápida, el objetivo es implementarlo y observar la respuesta en tiempo real, para concluir la teoría con la práctica sí coinciden.

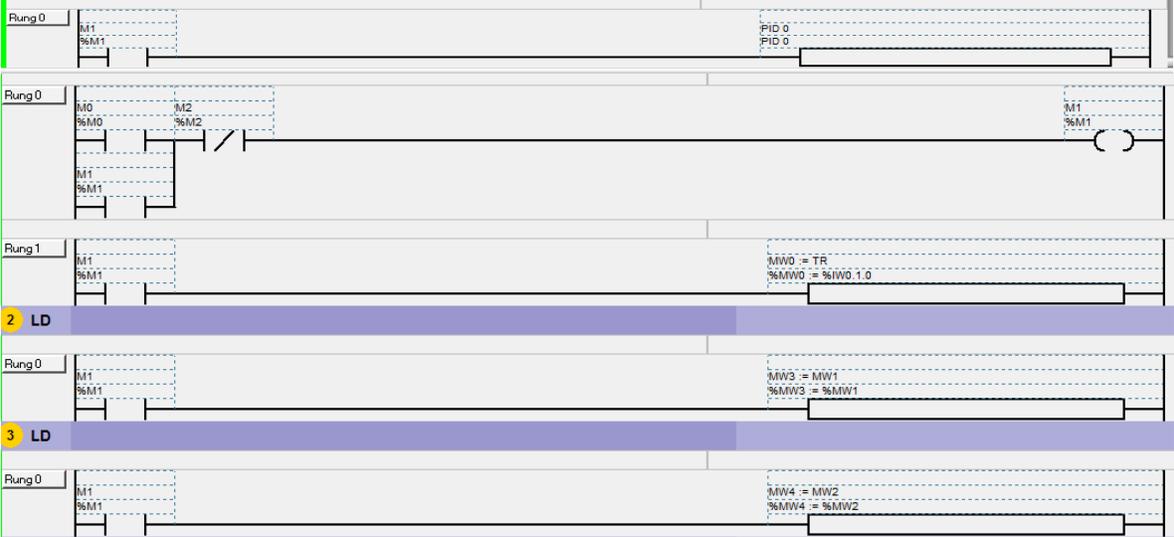


Imagen 18: Programación implementando controlador

El funcionamiento del programa es el siguiente, se inicia activándose la memoria (M0) por medio de un interruptor en el sistema SCADA llamado inicio, quedando enclavado la salida de la memoria (M1), activando las entradas IW0.1.0 que es la señal del sensor de peso, este valor queda guardado en la memoria análoga MW0, en la memoria MW3 se guarda los mililitros, después en la memoria MW4 se guarda el valor del peso (gr), secuencialmente se activa el controlador PID 0, para poder parar el proceso se activa la memoria (M2) por medio del sistema SCADA.

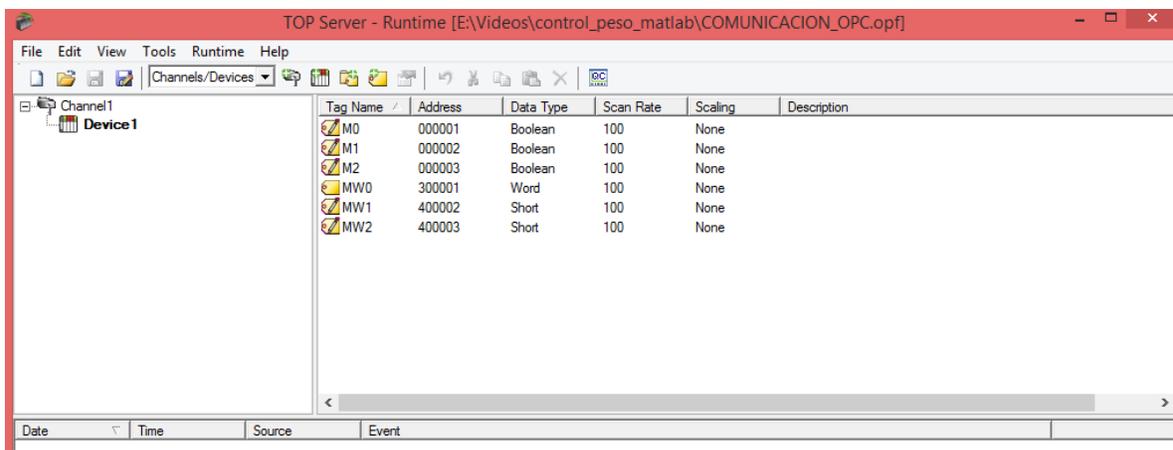


Imagen 19: Comunicación OPC

La comunicación realizada en el servidor OPC, con el software Twido Suite, Simulan de Matlab y Intouch se hace configurando el canal de entrada del controlador del dispositivo eligiendo la opción Modbus TCP/IP Ethernet, se le agrega la IP configurada en el protocolo de internet Versión 4 (TCP/IPv4) para no tener errores de comunicación, lo siguiente que se hace es agregar el dispositivo, en este caso la IP del Twido, el paso a seguir es agregar la

memorias digitales y análogas propuesta en programación, si dicha memoria no existe no habrá comunicación solo en esa variable.

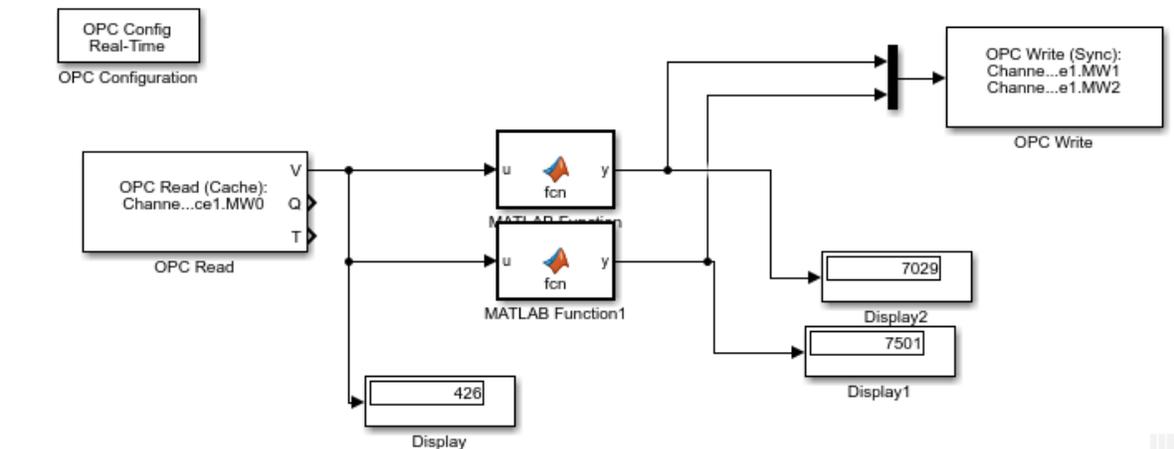


Imagen 20: Simulink de Matlab

En la imagen anterior se realizó la comunicación con un servidor OPC, para comunicarlo con Simulink de Matlab, para agregar la ecuación lineal, al obtener la señal de entrada del sensor de peso guardada en la memoria análoga MW0, se puede tener el nivel y el peso del tanque, utilizando la ecuación lineal aplicándola en el bloque de función de Matlab, como se observa en la imagen, en la salida OPC Write se guardara los valores en tiempo real del nivel (ml) en la memoria análoga MW1 y de la misma forma se guarda el peso del líquido (gr) obtenido del tanque en la memoria MW2, estos datos se podrán observar en TWIDO y INTOUCH en tiempo real.

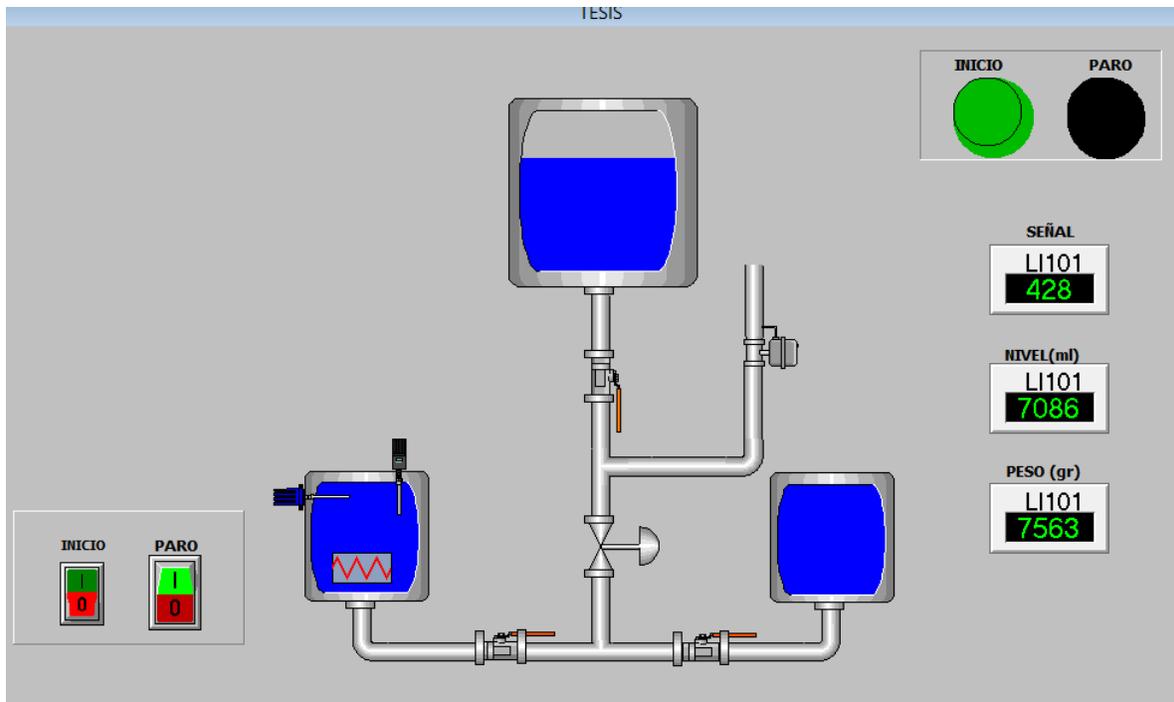


Imagen 21: Sistema SCADA

El sistema SCADA mostrado anteriormente se diseñó para simular la planta en tiempo real, se visualizan los datos de la señal, nivel (ml) y peso (gr) de la planta para el control de nivel de 10000ml, al igualmente se monitorea por medio de los interruptores de inicio y paro con sus respectivos indicadores, teniendo en cuenta que se implementó la comunicación con servidor OPC para la adquisición de datos para ser visualizados.

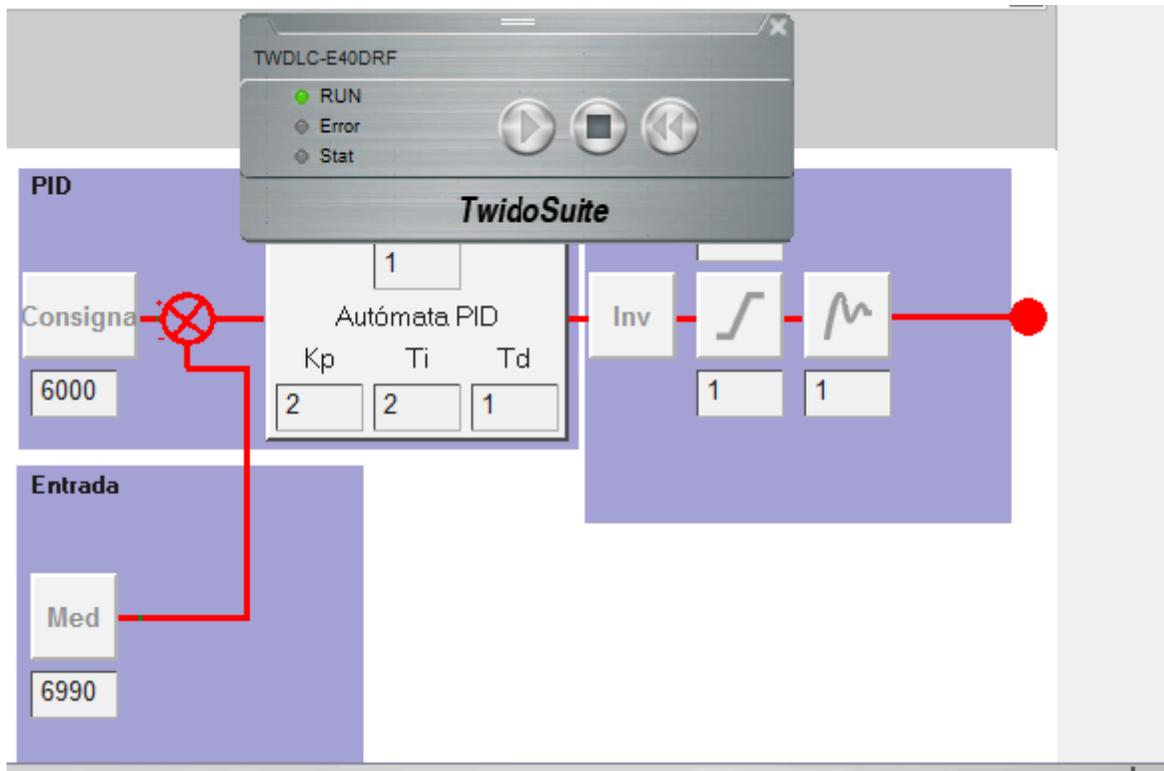


Imagen 22: Implementación de controlador

En la imagen anterior se implementó el diseño del controlador PID, con una consigna de 6000ml, ingresando la ganancia  $K_p$ , tiempo integral  $T_i$  y tiempo derivativo  $T_d$ , se observa que la planta no se estabiliza en el set point, unas causas es que el tiempo derivativo y ganancia  $K_p$  cambiaron, al igual que el tiempo de muestreo es muy lento, provocando que la salida del controlador sea lenta y no estabilice el sistema en el set point adecuado, para estabilizar la planta unas de las formas es cambiar el tiempo de muestreo, para que la salida del controlador sea más rápida y la planta se estabilice corrigiendo el error de salida, también se puede variar el tiempo integral para corregir el error en la respuesta en estado estacionario permitiendo estabilizar la planta más rápidamente.

### 8.1.2 Control de Temperatura

Para el diseño del control de temperatura, se calentó el líquido en un tanque de acrílico con dimensiones de 25 cm de altura y 15 cm de diámetro, utilizando una resistencia eléctrica tubular en lazo abierto, para la toma de temperatura se utilizó un sensor de temperatura PT 100 de tres Hilos, un autómata TWIDO y un módulo TM2ALM3LT que consta de dos entradas de termopar o PT 100 y una salida de corriente o voltaje, al igual se utilizó un relé de estado sólido para variar la intensidad de voltaje de la resistencia, luego de tener toda la planta conectada se hace la toma de datos para la variable de temperatura cada 30 segundos, para después digitarlos en Excel. Tener en cuenta que el muestreo de datos se hace en lazo abierto, ya que no se implementa ningún tipo de controlador, lo que se quiere hacer es tomar datos para ver el comportamiento de la planta, con el objetivo de sacar un modelado matemático experimental, para implementar el primer método de Ziegler-Nichols.

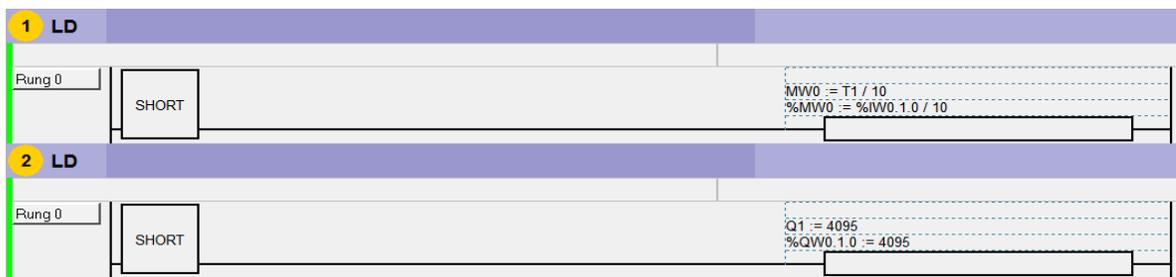


Imagen 23: Programación para la toma de datos

En la programación ejecutada para el software Twido Suite, se lee la variable de temperatura, utilizando el módulo nombrado anteriormente, el valor leído se guarda en una memoria analógica MW0, la salida QW0.1.0 es de corriente de 4mA a 20mA, para activar el SSR al voltaje máximo de la resistencia, en este caso el módulo enviaría una corriente de

20mA, provocando que la intensidad del voltaje sea de 120V, permitiendo que la resistencia caliente el líquido, para después hacer la toma de datos en lazo abierto.

Minutos	Temperatura
1	20
2	20
3	20
4	20
5	20
6	20
7	20
8	20
9	20
10	20
11	20
12	20
13	20
14	20
15	20
16	20
17	21
18	21
19	21
20	21
21	22
22	22
23	22
24	23
25	23
26	24
27	24
28	24
29	25
30	25
31	26
32	26
33	27
34	27
35	28
35	28
36	28

37	29
38	29
39	30
40	30
41	31
42	31
43	32
44	32
45	33
46	33
47	34
48	35
49	35
50	36
51	37
52	37
53	38
54	38
55	38
56	39
57	39
58	40
59	40
60	41
61	42
62	42
63	43
64	44
65	44
66	45
67	45
68	45
69	46
70	46
71	47
72	47
73	48
74	48
75	49

Tabla 15: Toma de datos

Los datos digitados en Excel se agregan en el Works pace, dándole clic en la variable nueva para ingrésalos en la tabla de estrada (Temperatura) y salida (Tiempo), se debe tener en cuenta que esta debe tener el mismo tamaño si no daría error. En este caso el tamaño es de 75\*1, habiéndose tomado 75 datos para poder sacar el modelo matemático aproximado de la planta.

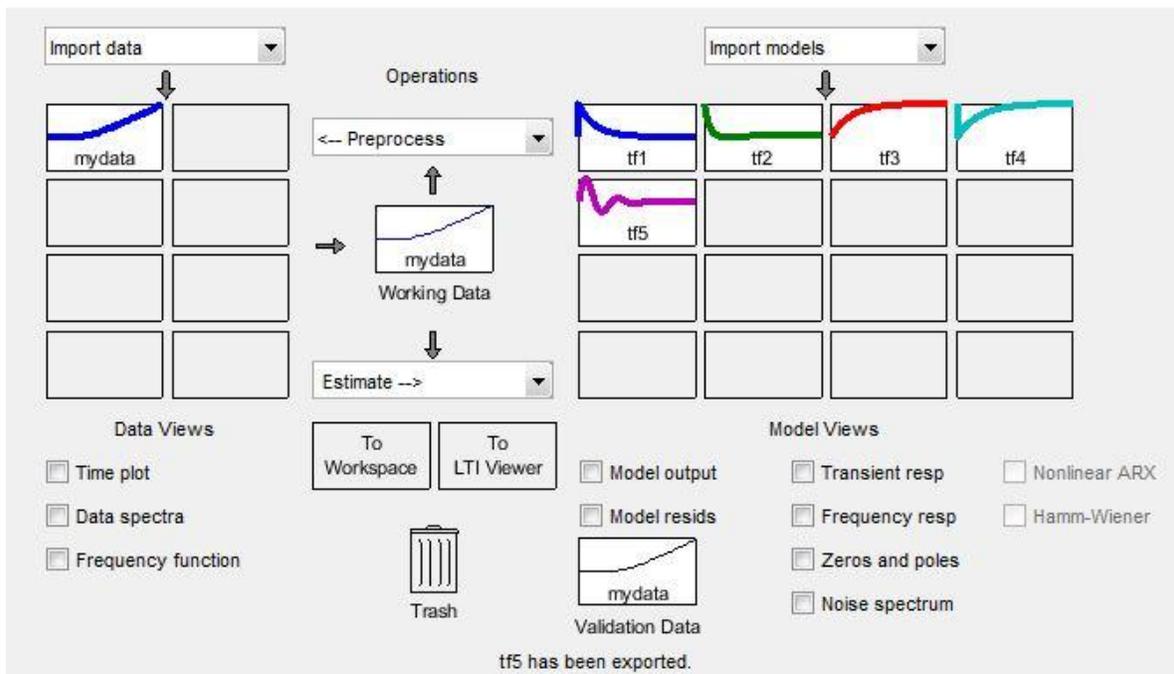


Imagen 24: Respuesta de modelos matemáticos experimental

En la imagen anterior se importó la data, para la estimación del modelo matemáticos experimental, la idea principal es elegir la mejor opción observando cada una de las respuestas del modelo matemático encontrado, teniendo en cuenta la ubicación de los polos, ya que este determina si la planta es estable o inestable, al elegir una respuesta en forma de S, y no una lineal se puede aplicar los parámetros de Ziegler-Nichols para estabilizar planta.

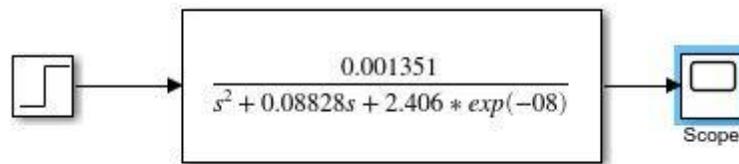
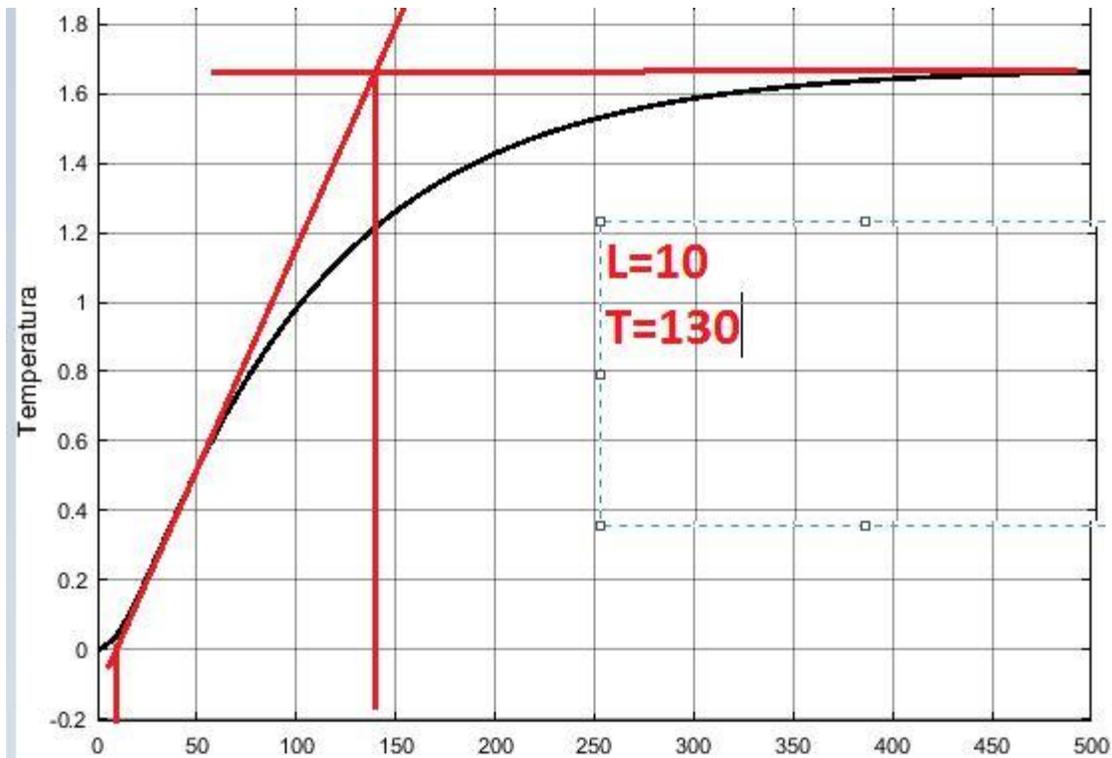


Imagen 25: Lazo Abierto



Grafica 7: Respuesta en lazo abierto

En la grafica anterior se observa el comportamiento de salida del modelo matematico hallado experimentalmente, se observar que al aplicarle un escalon unitario no se estabiliza, la respuesta transitoria es lenta, estabilizandocce en un tiempo estacionario de 500 segundos, siendo la respuesta sobreamortiguada , el sistema no se estabiliza porque esta en lazo abierto, esto quiere decir que a la salida no hay control porque no tiene realimentación de la

señal de entrada y salida, para estabilizar la planta se implementa el primer metodo de Ziegler-Nichols a continuación.

Tipo	Kp	Ti	Td
PID	$1.2\left(\frac{T}{L}\right)$	$2 * L$	$0.5 * L$

Tabla 16: Parametros de Ziegler-Nichols

Tipo	Kp	Ti	Td
PID	15.6	20	5

Tabla 17: Parametros de Ziegler-Nichols

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

$$K_d = K_p * T_d$$

$$K_i = 0.78$$

$$K_d = 78$$

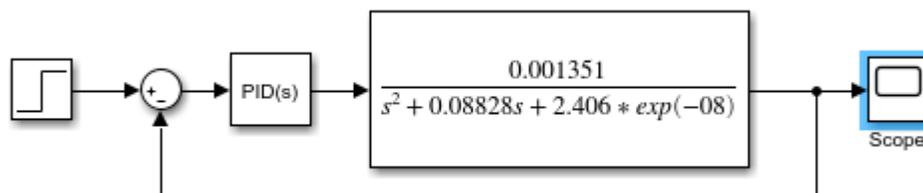
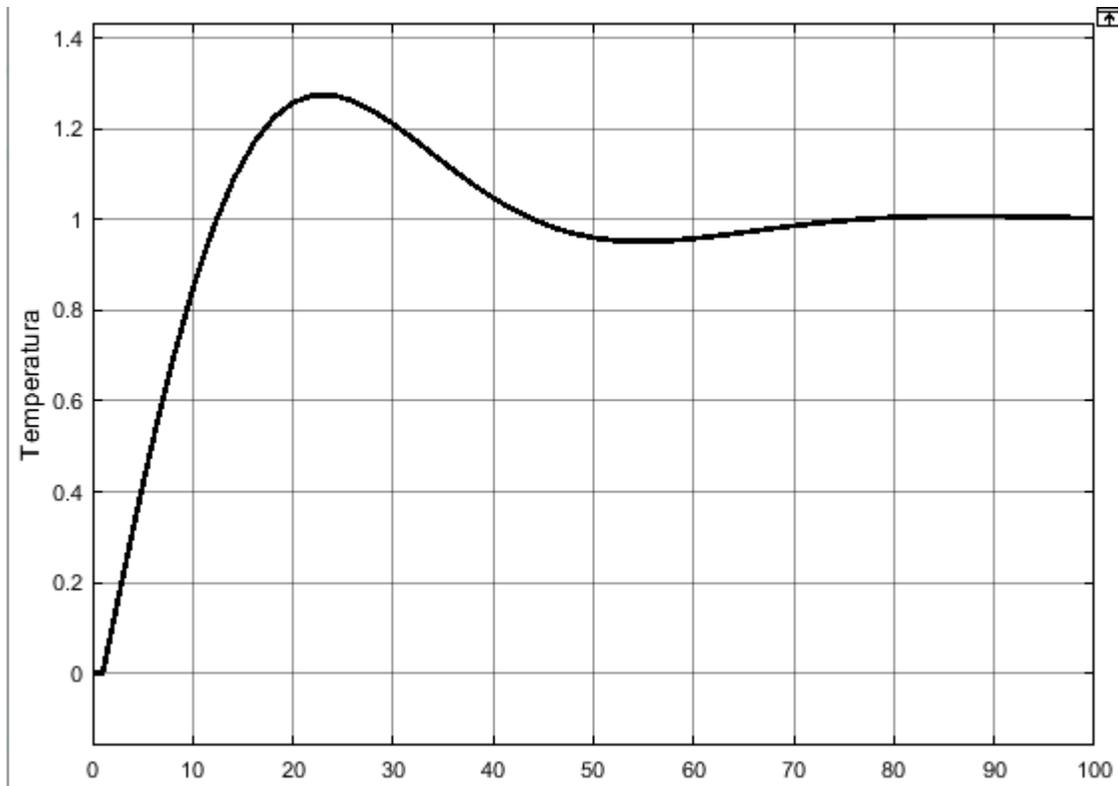


Imagen 26: Lazo Cerrado



Grafica 8: Respuesta del controlador en lazo cerrado

En lo anterior se observa que la respuesta es subamortiguada de segundo orden, la característica de esta grafica es la siguiente: el tiempo pico es de 22 minutos, el de subida es de 12 minutos y se observa una sobreelongación pequeña en la respuesta transitoria. En el estado estacionario de la planta se estabiliza en 80 minutos, al implementar el diseño del controlador en lazo cerrado, este corrige el error en estado estacionario, agregando las constantes halladas en los parámetros de Ziegler-Nichols aplicando el primer método, a continuación, se aplicará los datos teóricos en la práctica del control de temperatura en el autómata de TWIDO observado su respectiva respuesta.

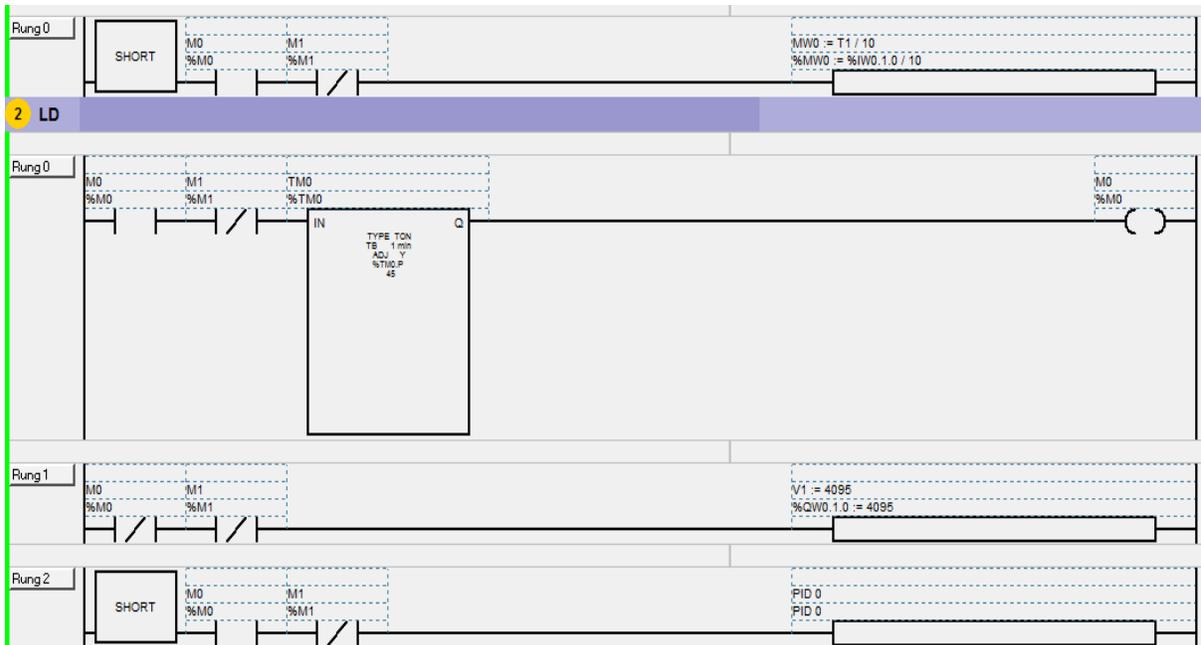


Imagen 27: Programación para el control PID

El funcionamiento de la programación en el software Twido Suite, se basa en lo siguiente, una memoria M0 para iniciar el proceso y la memoria M1 para pararlo, se implementó la comunicación con un servidor OPC, para activar las memorias de entradas, al iniciar el proceso se activa el Temporizador TMO y la salida V1, después de 45 minutos se activa el controlador PID, debido a que la resistencia eléctrica tubular de 200W, la respuesta es muy lenta, teniendo el controlador un set point de 35 centígrados.

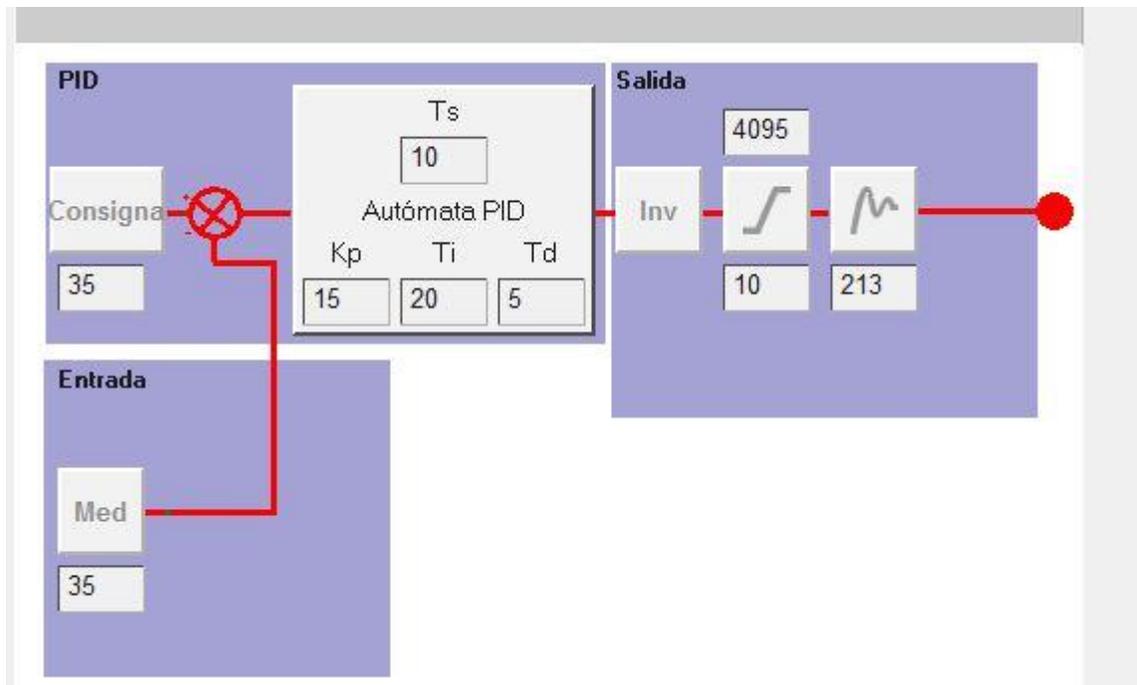
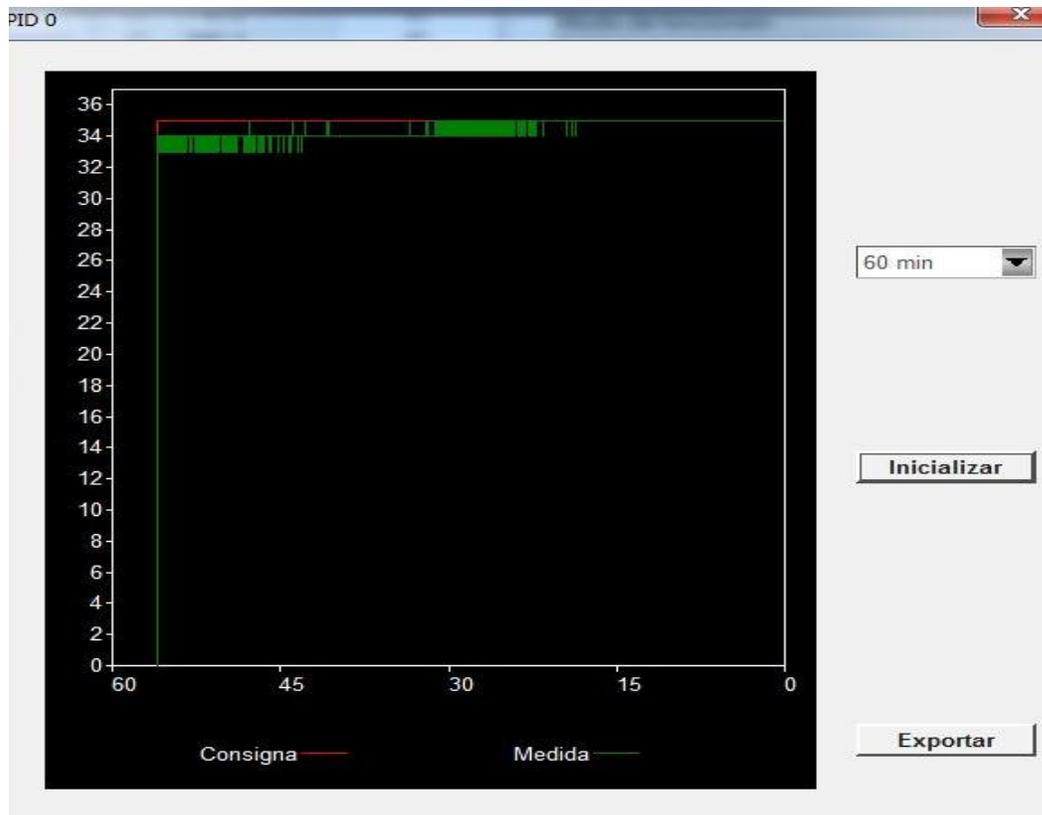


Imagen 28: Control en lazo cerrado en Twido

En la imagen anterior se muestra el control en lazo cerrado, aplicando las constante proporcional, tiempo integral y tiempo derivativo, halladas en el primer metodo de Ziegler-Nichols, observándose la respuesta del controlador de entrada y salida.



Grafica 9: Respuesta en tiempo del controlador

Al hallar el controlador de Ziegler-Nichols por el primer método, se observa que la respuesta del control es muy lenta, debido a que la resistencia tubular en lazo abierto es de respuesta baja, esto quiere decir que para llegar a una temperatura de 50°C se demora 70 minutos, observando que la respuesta de control es lenta; la resistencia no se cambió porque no hay un tiempo de estabilización requerido en la respuesta estacionaria, el objetivo ideal era el diseño de un controlador PID funcional, en la imagen anterior se puede decir que el diseño del controlador PID implementado en el autómata se estabiliza en la respuesta estacionaria, en un tiempo de 80 minutos.

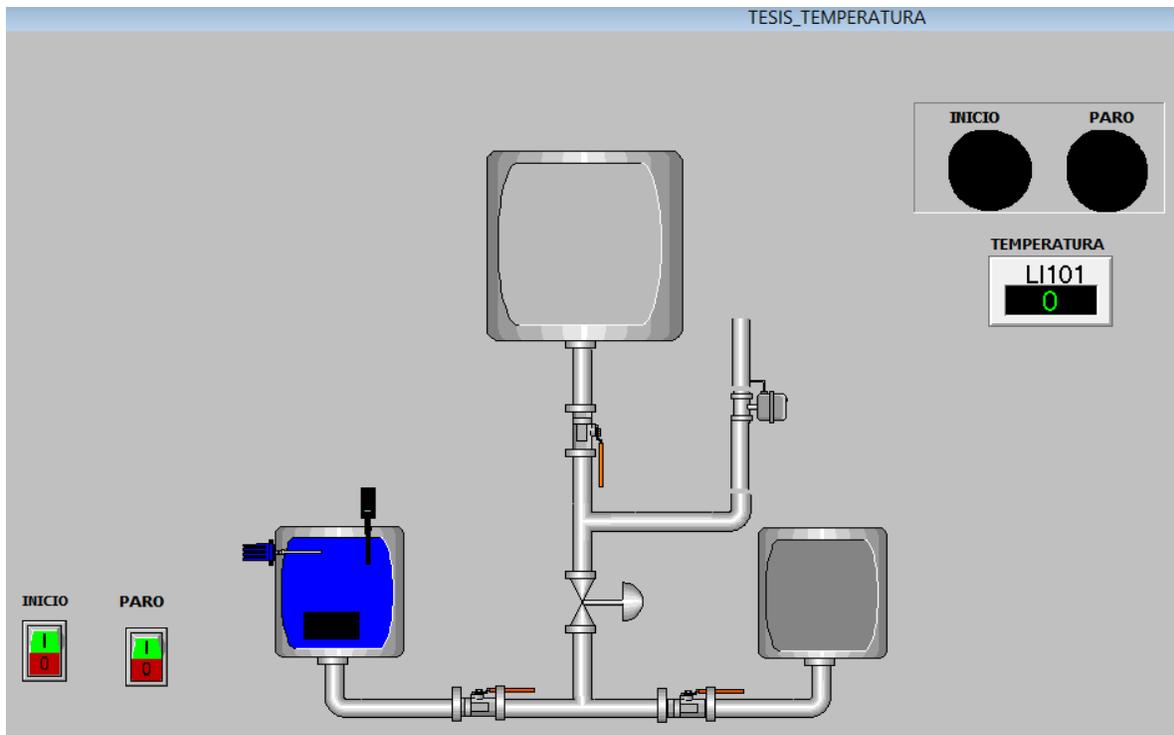


Imagen 29: Sistema SCADA para el control de temperatura.

El diseño del sistema SCADA está basado en la planta de simulación, consta de una pantalla donde se visualiza la temperatura en tiempo real, un indicador de inicio y paro, al igual se monitorea la planta desde la interfaz, esta comunicación se implementó con un servidor OPC.

### 8.1.3 Control de nivel usando sensor Infrarrojo

En la industria a nivel nacional, internacional o mundial se aplica diferentes tipos de controles, con la necesidad de suplir el control de variables de procesos industriales, el control más utilizado es el PID, aunque existen otros tipos de controles como el fuzzy, redes neuronales, control adaptativo y etc., hay que tener en cuenta que el usos de estos

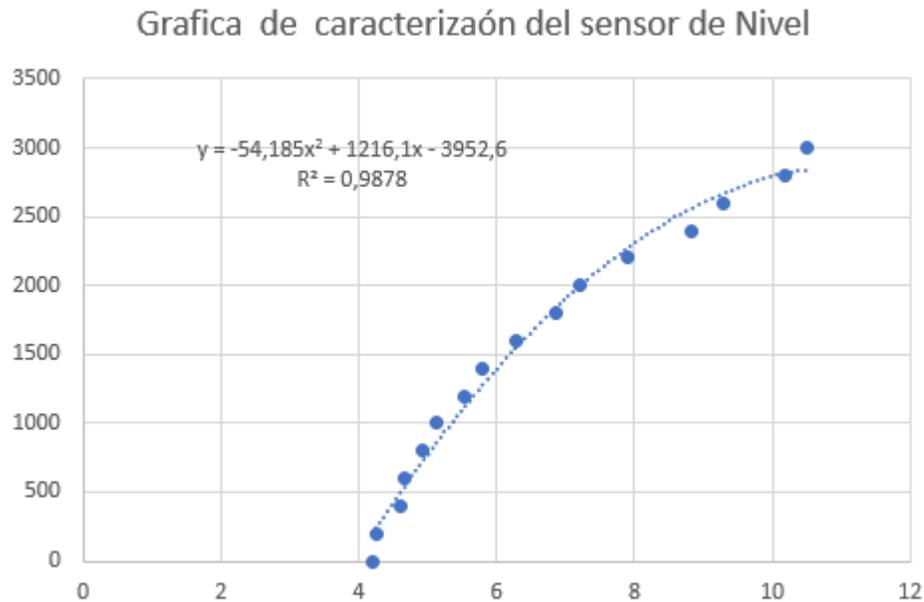
tipos de controles tienen un costo computacional elevado, esto no quiere decir que solo se utiliza en procesos industriales, también tiene aplicaciones en el control de aviones, submarinos, drones y etc.

El objetivo principal es controlar la variable de procesos industriales de Nivel, utilizando un sensor Sharp infrarrojo que mide una distancia de 80cm, en este proceso se controla el nivel de un tanque con las dimensiones de 25cm de alto y 15 cm de diámetro, se escogieron los siguientes dispositivos electrónicos como: válvula proporcional, válvula manual, electroválvula y sensor Sharp infrarrojo.

Para la caracterización del sensor de nivel se tomaron datos con la válvula proporcional totalmente abierta, al tanque se le marco con la nomenclatura de nivel en mililitros (ml), se eligió un autómata s7 1200 siemens para leer el sensor, la toma de data se hizo cada 200 mililitros, se tomaron de 16 datos, al igual se observa que el sensor tiene una zona muerta de 8 cm y el tanque tiene una capacidad de 4 litros.

SEÑAL	Mililitros(ml)
4,196	0
4,257	200
4,593	400
4,666	600
4,913	800
5,134	1000
5,522	1200
5,803	1400
6,298	1600
6,876	1800
7,208	2000
7,901	2200
8,841	2400
9,289	2600
10,187	2800
10,492	3000

Tabla 18: Toma de datos del sensor sharp.



Grafica 10: Respuesta de la caracterización del sensor Sharp

En el anterior resultado se le agrega una línea de tendencia polinómica de segundo grado, ya que los datos tomados se analizaron y esta es la mejor opción de respuesta del comportamiento que se obtuvo, teniendo un  $R^2$  al cuadrado del gráfico de 0.9878, a continuación se presenta la ecuación polinómica obtenida de los datos tomados con el automata s7 1200 siemens que fueron digitados en excel.

$$y = -54.185x^2 + 1216.1x - 3952.6$$

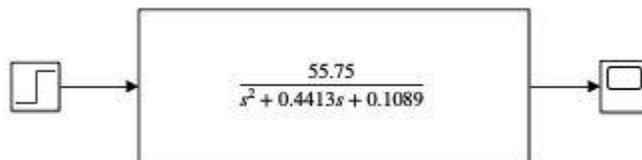


Imagen 30: Lazo abierto

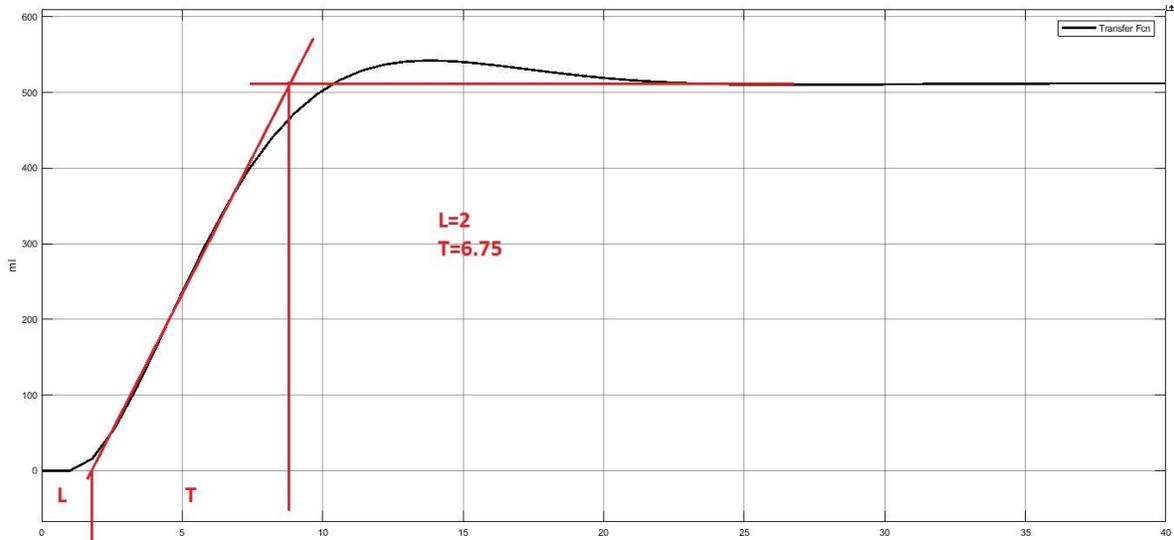


Imagen 11: Respuesta de la planta en lazo abierto

En la imagen anterior se observó el lazo abierto con su respectiva función de transferencia hallada en la herramienta `ident` de `matlab`, el uso de esta herramienta es exportar los datos de entrada y salida para la estimación de un modelo matemático de la planta, también se muestra la respuesta de salida del lazo abierto, la función de transferencia nos muestra dos polos, no tiene ceros, se identifica que la gráfica de salida tiene forma de S, lo que es ideal para aplicar el primer método de Ziegler-Nichols, la planta no se estabiliza porque no tiene realimentación, debido a esto la señal de entrada no es comparable con la de salida, el objetivo es hallar las constantes  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  del controlador para estabilizar el sistema, usando los parámetros de Ziegler-Nichols encontrando el tiempo de retardo y constante de tiempo como se muestra en la imagen anterior, a continuación se aplicará el primer método mencionado.

Tipo	$K_p$	$T_i$	$T_d$
PID	$1.2 \left( \frac{T}{L} \right)$	$2 * L$	$0.5 * L$

Tabla 19: Parametros de Ziegler-Nichols.

Tipo	Kp	Ti	Td
PID	4.05	4	1

Tabla 20: Parametros de Ziegler-Nichols.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

$$K_d = K_p * T_d$$

$$K_i = 1.0125$$

$$K_d = 4.05$$

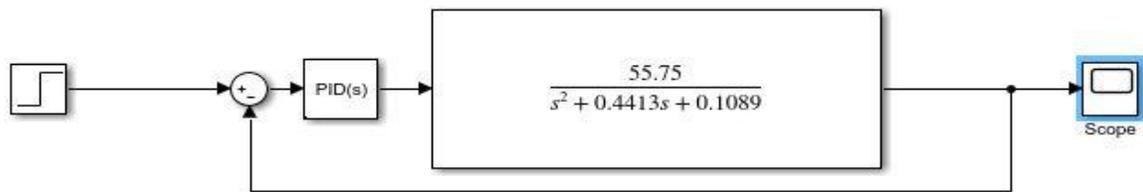
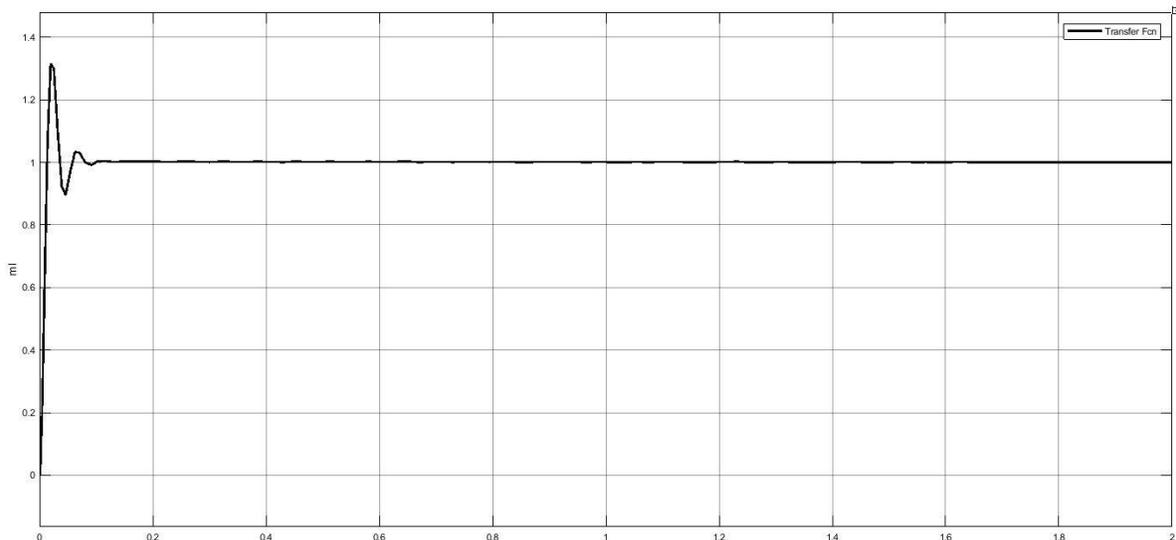


Imagen 31: Lazo cerrado.



## Grafica 12: Respuesta de lazo cerrado

En grafica anterior se muestre la respuesta de la estimación del modelado matemático de un sistema dinámico experimental hallado, se puede afirmar que al diseñar el controlador en lazo cerrado, este corrige el error de salida de la planta, aplicando las constantes halladas en los parámetros de Ziegler-Nichols y asignándolas al controlador PID, dando como resultado la gráfica que se muestra anteriormente, observándose un sobre pico y oscilaciones muy pequeñas, el tiempo de subida en estado transitorio es muy pequeño al igual que el tiempo de retardo, la respuesta del sistema es subamortiguado, teniendo un tiempo de asentamiento de 0.1 segundo en estado estacionario, este tiempo de estabilidad es muy pequeño, el objetivo de este controlador de estas características es implementarlo en tiempo real en autómeta s7 1200 para observar los resultado teóricos y prácticos.

Resultados Prácticos:

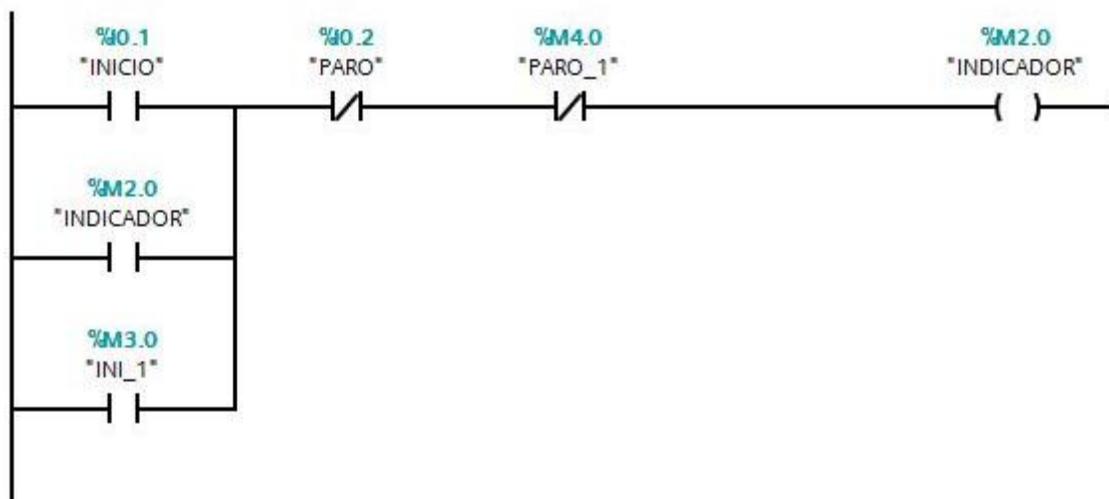


Imagen 32: Enclavamiento de inicio y paro de emergencias de entradas físicas y entradas virtual.



Segmento 3: .....

Comentario

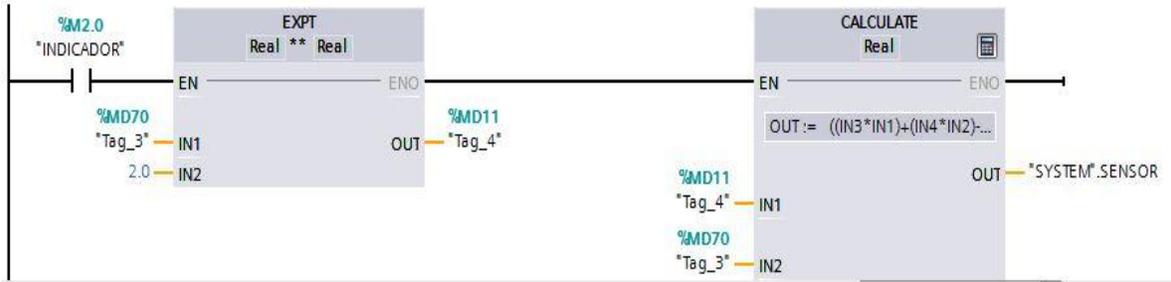


Imagen 33: Leer señal de sensor y aplicación matemática de polinomio de segundo grado.

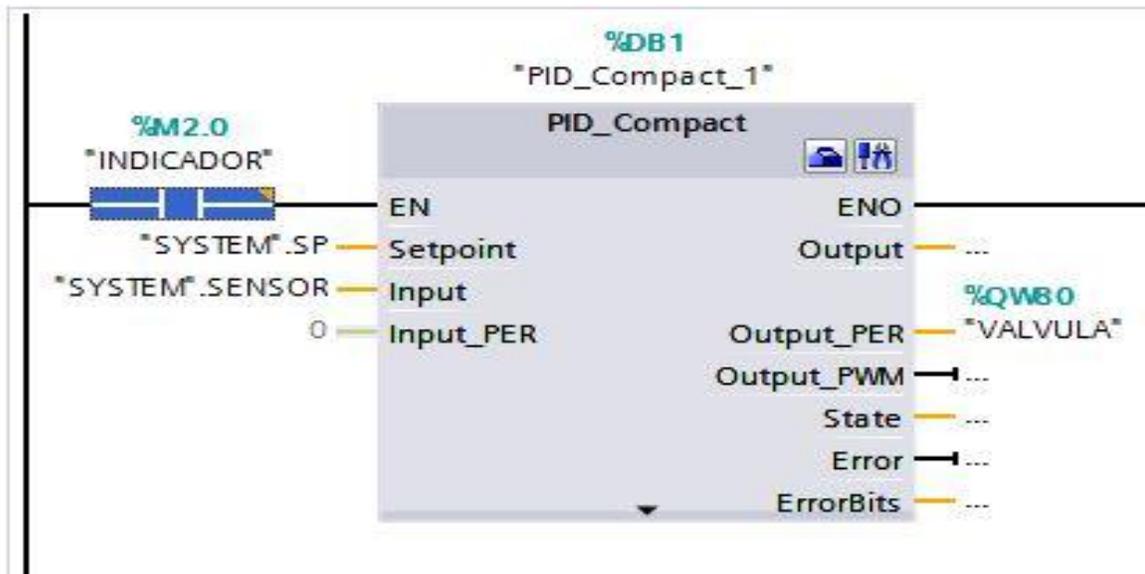
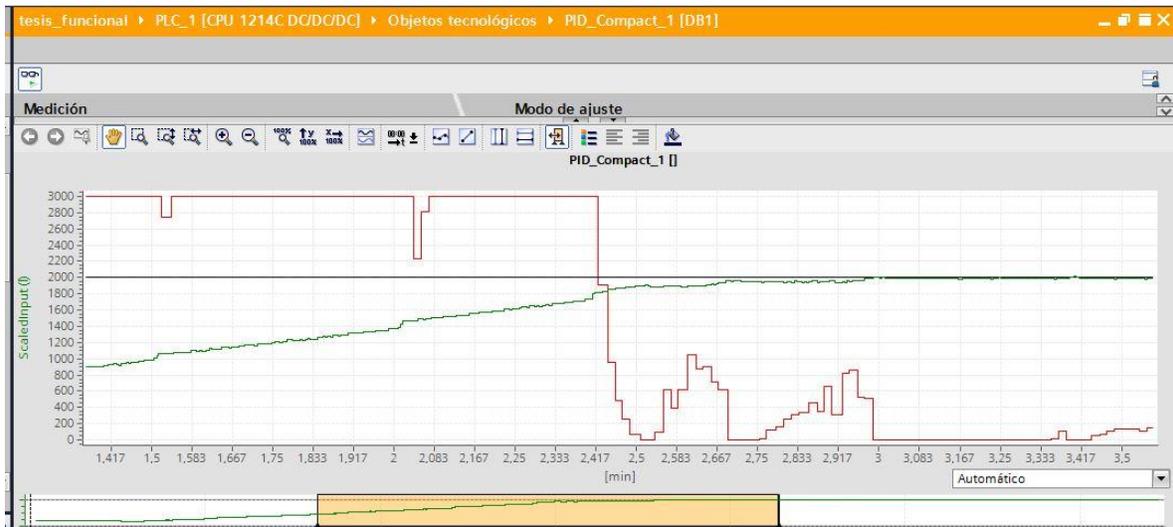


Imagen 34: Aplicación del diseño del controlador PID.



Grafica 13: Respuesta en tiempo real, del control de nivel.

En la anterior respuesta, se observa el comportamiento del diseño de un controlador por el primer metodo de Ziegler-Nichols, se muestra un tiempo de estabilización de 3 minutos, esto se debe a que la apertura de la pluma no está al 100% abierta, al serlo así el tiempo de estabilización cambiaria, la planta de la variable de nivel se estabiliza en set point establecido de 2000ml, el diseño del controlador es óptimo, no se muestra sobre picos ni oscilaciones.



Imagen 35: Respuesta de nivel en el set point establecido.

DISEÑO DE LA PLANTA EN CAD.

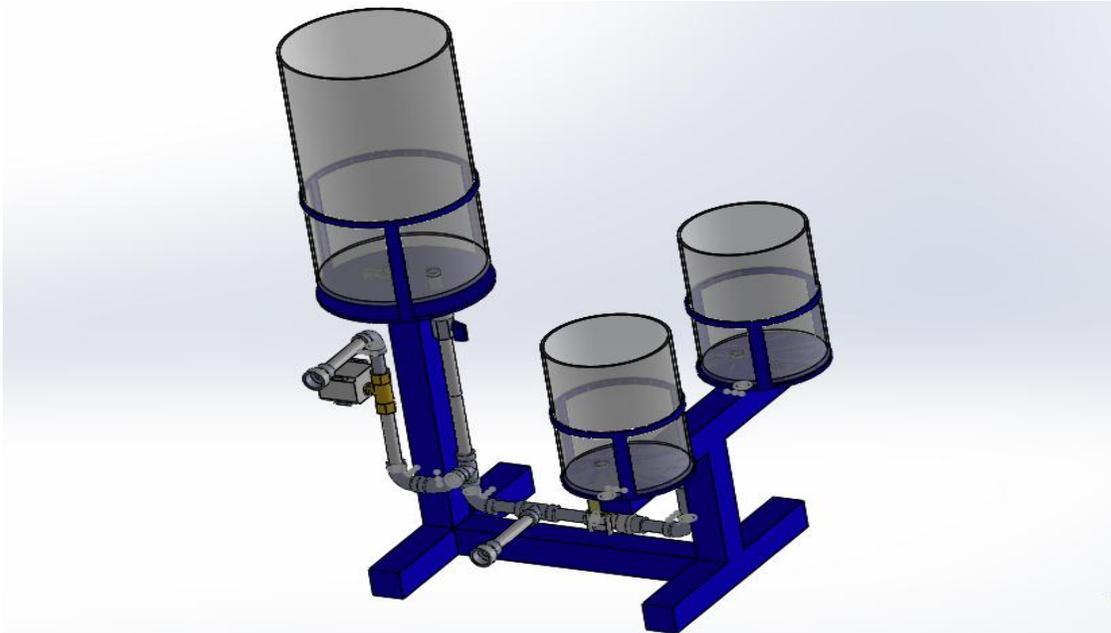


Imagen 36: Diseño de la planta en 3D.

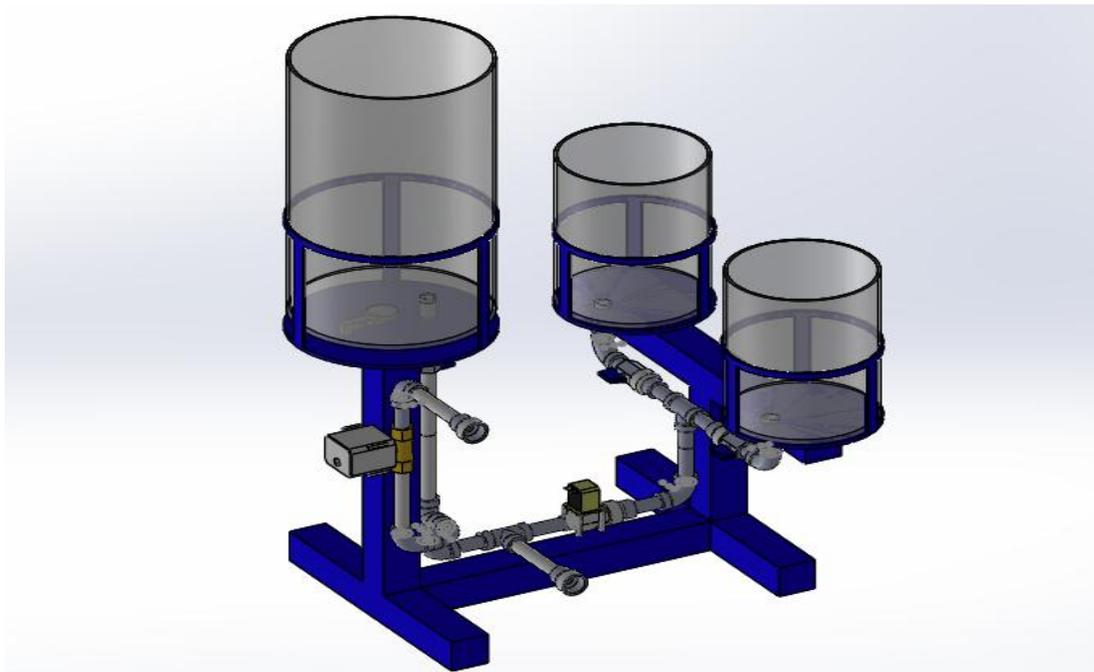


Imagen 37: diseño de la planta en 3D.

RESULTADO DEL DISEÑO DE LA PLANTA.



DISEÑO DE LA PLANTA (TABLA DE PRESUPUESTO).

ARTICULO	PRECIO \$
Válvula proporcional	330.000
Tanques en acrílico	190.000
Transmisor	89.000
Resistencia eléctrica	29.900
Sensor de temperatura PT100	24.000
Sensor de nivel (bola) off/on	20.000
Válvula manual	24.000
Electroválvula	20.000
Celda de carga	23.000
Caja base	55.000
Sensor de nivel (infrarrojo)	20.000
Modulo panel de control	25.000
Armadura base	155.000
Materiales y tuberías	80.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.084.900</b>

## 9. Conclusiones

Se ha diseñado una planta robusta con materiales duraderos, al momento de las prácticas hubo algunos inconvenientes en las tuberías y sensores que al final se solucionaron. Se hizo un diseño práctico, con buenos resultados de medición de variables. El control PID hace un funcionamiento óptimo y confiable. El método de Zingler y Nichols se implementó de forma teórica y práctica dando resultados eficientes. La respuesta de estabilización no es la misma en la práctica como en la teórica, porque en la practica la pluma no se abre al 100%, a lo que afecta el tiempo de estabilización.

Se implementó un sistema Scada donde se visualizan las variables de temperatura nivel y peso, mostrando que el funcionamiento de la planta esté en óptimas condiciones. En este se puede observar errores de lectura del sensor de nivel, peso y temperatura, poniendo en alerta al operador de la planta para que no hallan daños mayores.

En los objetivos del diseño del controlador PID de las variables de temperatura, nivel y peso, se identificó que la respuesta de muestreo del autómeta en tiempo real afecta al controlador diseñado.

Para el diseño de un controlador PID, PI, PD e IP, la planta debe estar en óptimas condiciones para hacer la toma de datos, para que no haya perturbaciones en lazo abierto, afectando el diseño del controlador.

Al implementar comunicación con un servidor OPC con Matlab, nos permite arreglar ecuaciones matemáticas y se puede hacer diferentes tipos de control como el fuzzy y redes neuronales.

El TIA Portal con el PLC S7-1200, el software consume mucho costo computacional y genera conflictos en el computador con otros programas. Una de las ventajas es el recurso de herramientas y funciones matemáticas que nos aporta como programador.

## 10. Bibliografía

[1] Valderra, K, Sanabria, D., y Puertas, S. (2017). Sistema didáctico para el control de nivel con tanques acoplados. Recuperado de:

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15297/1/Documento%20Tanques%20Acoplados%2012-12-2017%20Versión%20Final.pdf>

[2] Gaviria Carlos, (2007). Modelado y simulación de un proceso de nivel. Recuperado de: [file:///C:/Users/Darwin/Downloads/control%20de%20nivel%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Darwin/Downloads/control%20de%20nivel%20(3).pdf)

[3] Valderrama K., Fonseca D., y Gutiérrez S. (2017). Sistema didáctico para el control de nivel con tanques acoplados. Recuperado de:

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15297/1/Documento%20Tanques%20Acoplados%2012-12-2017%20Versi%C3%B3n%20Final.pdf>

[4] Cadena V., Balladares J. (2005). Construcción de un módulo para el control de nivel de líquido. Recuperado de: <http://docentes.uni.edu.ni/fec/Alejandro.Mendez/Nivel2.pdf>

[5] Suarez E., Torres P, (2018). Diseño e implementación de un sistema scada para el control PID de nivel y temperatura independientes en dos tanques de la planta de procesos análogos (PPA). Recuperado de:

<https://pdfs.semanticscholar.org/6cb8/ede2c93fee32dce02b382f67cd784481fdec.pdf>

[6] Aquize R., (2011). Implementación de un sistema de control no lineal backstepping multivariable para la planta piloto tanque con agua. Recuperado de:

[http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/157/1/aquize\\_pr.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/157/1/aquize_pr.pdf)

[7] Ogata, K. (2010). *INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA*. Madrid: Miguel Martín-Romo, Esther Martín. Recuperado de:

[https://www.ucursos.cl/usuario/78303fe04da8e4eb340eae09f1840b2/mi\\_blog/r/Ingenieria\\_de\\_Control\\_Moderna\\_Ogata\\_5a\\_ed](https://www.ucursos.cl/usuario/78303fe04da8e4eb340eae09f1840b2/mi_blog/r/Ingenieria_de_Control_Moderna_Ogata_5a_ed)

[8] Ingetes, (2017). ¿Qué son los sistemas SCADA y cómo pueden contribuir optimizar su empresa?, Recuperado de: <https://www.ingetes.com.co/sistema-scada-automatizacion-de-procesos/>

[9] Betancourt, D. Rodriguez., (2007). diseño e implementación de un sistema scada para el proceso over head de sellado en ómnibus BB., Recuperado de:  
[file:///F:/motor/Diseno\\_e\\_implementacion\\_de\\_un\\_sistema\\_SCADA\\_para\\_el\\_proceso\\_Over\\_Head\\_de\\_sellado\\_en\\_Omnibus\\_BB.pdf](file:///F:/motor/Diseno_e_implementacion_de_un_sistema_SCADA_para_el_proceso_Over_Head_de_sellado_en_Omnibus_BB.pdf)

[10] National Instruments, (2002). ¿Qué es OPC (OLE para control de procesos) y que beneficios me ofrece. Recuperado de:  
<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/FB06C0084030B2F186256C130055734A>

[11]Galvan, R. Implentación de un sistema SCADA para la mezcla de dos sustancias en industria química.

[12] Blog SEAS, (2016). Hidráulica proporcional. Recuperado de:  
<https://www.seas.es/blog/automatizacion/hidraulica-proporcional/>

[13]Escogida. Mercado libre. válvula bola 1/4 Dn8 Actuador proporcional 4mA - 20mA 24vDc. Recuperado de: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-508602547-valvula-bola-14-dn8-actuador-proporcional-4-20m-24vdc-\\_JM?quantity=1#position=4&type=item&tracking\\_id=c485327a-fb19-44ac-848b-d1f996fd6fe9](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-508602547-valvula-bola-14-dn8-actuador-proporcional-4-20m-24vdc-_JM?quantity=1#position=4&type=item&tracking_id=c485327a-fb19-44ac-848b-d1f996fd6fe9)

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-452375474-valvula-proporcional-24vacdc-12-modulante-control-0-a-10v-\\_JM?quantity=1#position=3&type=item&tracking\\_id=929efef0-f071-41e6-8a38-b9980da19757](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-452375474-valvula-proporcional-24vacdc-12-modulante-control-0-a-10v-_JM?quantity=1#position=3&type=item&tracking_id=929efef0-f071-41e6-8a38-b9980da19757)

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-468666435-valvula-bola-1-dn25-actuador-proporcional-4-20m-24vdc-\\_JM?quantity=1#position=7&type=item&tracking\\_id=929efef0-f071-41e6-8a38-b9980da19757](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-468666435-valvula-bola-1-dn25-actuador-proporcional-4-20m-24vdc-_JM?quantity=1#position=7&type=item&tracking_id=929efef0-f071-41e6-8a38-b9980da19757)

[14]Mercado libre, resistencia calefactora tubular 8" 110v.

Recuperado de:[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-463138166-resistencia-electrica-tubular-varias-medidas-\\_JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking\\_id=9cb435d2-22c9-4ba3-95c2-2d4408810d89](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-463138166-resistencia-electrica-tubular-varias-medidas-_JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking_id=9cb435d2-22c9-4ba3-95c2-2d4408810d89)

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-457582981-calentador-de-agua-110v-portatil-8-litros-resistencia-\\_JM?matt\\_tool=76628746&matt\\_word&gclid=EAIaIQobChMIg\\_7nkKG25gIV3YVaBR2w2wVWEAQYByABEgKIPfD\\_BwE&quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-457582981-calentador-de-agua-110v-portatil-8-litros-resistencia-_JM?matt_tool=76628746&matt_word&gclid=EAIaIQobChMIg_7nkKG25gIV3YVaBR2w2wVWEAQYByABEgKIPfD_BwE&quantity=1)

[15]Vistrónica, electroválvula solenoide 3/4" a 10,5mm, 12v. Recuperado de:  
<https://www.vistronica.com/valvulas/electrovalvula-de-plastico-12v-34-a-10-5mm-sin-presion-detail.html>

<https://www.vistronica.com/valvulas/electrovalvula-de-plastico-12v-3-4-con-presion-detail.html>

<https://www.vistronica.com/valvulas/electrovalvula-de-plastico-12v-3-4-sin-presion-detail.html?gclid=EAlaIqobChMIyYD8ts215gIVDniGCh283QIDEAQYAyABEgIfOfD BwE>

[16]Mercado libre, sensor de temperatura pt100 3 hilos. Recuperado de:  
[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-463284110-sensor-de-temperatura-rtd-platino-pt100-3-hilos-1-met- JM#position=1&type=item&tracking\\_id=9ebf09df-8a27-4d1e-bea2-42e88a14963a](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-463284110-sensor-de-temperatura-rtd-platino-pt100-3-hilos-1-met- JM#position=1&type=item&tracking_id=9ebf09df-8a27-4d1e-bea2-42e88a14963a)

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-544638578-rtd-pt100-ohm-control-de-temperatura-del-sensor-termopar-son- JM?matt\\_tool=84074034&matt\\_word&gclid=EAlaIqobChMlv4Ksl5y25gIVBoiGCh1yLwvn EAYYASABEgK3dPD BwE&quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-544638578-rtd-pt100-ohm-control-de-temperatura-del-sensor-termopar-son- JM?matt_tool=84074034&matt_word&gclid=EAlaIqobChMlv4Ksl5y25gIVBoiGCh1yLwvn EAYYASABEgK3dPD BwE&quantity=1)

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-509547392-pt100-sensor-de-temperatura-rtd-de-platino-3-hilos- JM?quantity=1#position=6&type=item&tracking\\_id=2da9ad4d-2b42-431e-b21e-3d81ca401c7d](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-509547392-pt100-sensor-de-temperatura-rtd-de-platino-3-hilos- JM?quantity=1#position=6&type=item&tracking_id=2da9ad4d-2b42-431e-b21e-3d81ca401c7d)

[17]Mecatrónica, celda de carga 20Kg. recuperado de:  
<https://www.mactronica.com.co/celda-de-carga-de-20kg-968003736xJM>

[18]Vistrónica, Sensor de nivel off/on. Recuperado de:  
<https://www.vistronica.com/sensores/sensor-de-nivel-de-liquido-con-flotador-vertical-p52-0-110v-baja-presion-detail.html?gclid=EAlaIqobChMIy5GdqKyp5gIVdIFaBR01EwluEAQYASABEgLKv D BwE>

[19]Mercado libre, sensor infrarrojo Sharp. Recuperado de:  
<https://www.pololu.com/product/2476>

[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-507222469-sharp-gp2y0a41sk0f-0a41sk-sensor-distancia-analogico-4-30cm- JM#position=1&type=item&tracking\\_id=9098a8c8-b355-4b6b-bf26-df0d358712f9](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-507222469-sharp-gp2y0a41sk0f-0a41sk-sensor-distancia-analogico-4-30cm- JM#position=1&type=item&tracking_id=9098a8c8-b355-4b6b-bf26-df0d358712f9)

[20]Mercado libre, Transmisor para celda de carga. Recuperado de:  
<https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-487569406-transmisor-para-celdas-de-carga-iy-s60-0-10v-4-20ma- JM?quantity=1>

[21]Indiamart, relé de estado sólido SSR. Recuperado de:  
<https://www.indiamart.com/proddetail/autonics-analog-input-solid-state-relay-srph1-a220-11205739855.html>

[22]Schneider Electric, PLC twido. Recuperado de:

<https://www.se.com/ww/en/product/TWDLCAE40DRF/compact-plc-base-twido---100..240-v-ac-supply---24-i-24-v-dc---16-o/>

<https://intrave.wordpress.com/2015/02/20/para-que-sirve-un-plc/>

[23]Masvoltaje, Siemens S7-1200. Recuperado de: <https://masvoltaje.com/simatic-s7-1200/1199-simatic-s7-1200-cpu-1214c-cpu-compacta-dc-dc-rele-6940408101319.html>