

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **SINTONISMO DE CONTROLADOR PID PARA LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO DEL LABORATORIO PLC**

Autor:

Camilo Alejandro Bermúdez Mejía

Programa Académico:

Tecnología Electrónica

Director del trabajo de grado:

Juan Guillermo Mejía Arango

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**2015**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Se realiza el sintonismo de los parámetros del controlador PID para la planta de control de nivel de líquido del laboratorio de PLC. El modelo del sistema se obtiene a partir del método de la curva de reacción, y el ajuste de parámetros se realiza a través de los criterios de Ziegler-Nichols y Cohen-Coon.

*Palabras clave:* Sintonismo, control PID, Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, planta de nivel, curva de reacción.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Agradezco profundamente a los docentes que intervinieron en mi formación como profesional y como persona, por su apoyo a continuar con la gratificante labor de aprender y aplicar esos conocimientos en la solución de problemas, razón por la cual se destaca la facultad de ingenierías.

Adicionalmente, le doy las gracias a los laboratoristas Yuly Emilia Castro Cartagena y Rubén Darío Fonnegra Tarazona por sus consejos, atención y apoyo para desarrollar las actividades que se expresan en el trabajo. A los docentes Juan Guillermo Mejía Arango, Johnny Antonio Álvarez Salazar y Marcela Vallejo por la enseñanza, acompañamiento y consejos para el desarrollo del trabajo y en mi formación profesional.

Finalmente, agradezco a mi madre por su apoyo y esfuerzo incondicional, para que yo pueda seguir mis estudios en el ITM, mis sueños y formación profesional.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## GLOSARIO

---

**EFC:** corresponde al elemento final de control. Es un dispositivo que realiza la acción de control. Puede ser un dispositivo electromecánico, eléctrico o electrónico. La señal de entrada del elemento final de control corresponde a la señal de salida del controlador.

**HEURÍSTICO:** que se asume o se inventa a partir de la experimentación o del ensayo-error.

**PLC:** corresponde al controlador lógico programable, también denominado como autómeta programable. Es un dispositivo que puede programarse en diferentes lenguajes, siendo el lenguaje KOP y el AWL los más utilizados. Son ampliamente utilizados en la industria para automatizar procesos.

**SET-POINT:** corresponde a la variable manipulada o punto de consigna. También puede definirse como el valor sobre el cual se desea controlar.

**SINTONISMO:** ajuste de valores o parámetros por medios heurísticos o de ensayo-error, teniéndose como fundamento la experimentación.

**SISTEMA:** en la literatura, se utiliza este término de forma indistinta cuando se refiere a la planta a controlar. La planta o sistema está conformado por un equipo o varios elementos que operan en conjunto para realizar una función.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

*P*: Proporcional.

*PI*: Proporcional e integral.

*PID*: Proporcional, integral y derivativo.

*EFC*: Elemento final de control.

*PLC*: Controlador lógico programable.

*OB35*: Bloque de organización de interrupción cíclica.

*M440*: Referencia del variador de velocidad Micromaster 440 de la marca SIEMENS.

*HMI*: Interface hombre máquina, de sus siglas en inglés.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	8
1.1.	<b>GENERALIDADES.</b> .....	8
1.1.1.	Justificación. ....	8
1.1.2.	Formulación del problema.....	9
1.2.	<b>OBJETIVOS.</b> .....	9
1.2.1.	Objetivos generales. ....	9
1.2.2.	Objetivos específicos. ....	10
2.	MARCO TEÓRICO.....	12
2.1.	<b>FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL QUE SUSTENTA EL DESARROLLO DEL VALOR AGREGADO.</b> .....	12
2.1.1.	Sistemas de control en lazo abierto. ....	12
2.1.2.	Sistemas de control realimentado o de lazo cerrado. ....	12
2.1.3.	Función de transferencia continua.....	12
2.1.4.	Respuesta al escalón unitario de los sistemas en el tiempo. ....	13
2.1.5.	Identificación del sistema. ....	18
2.1.6.	Selección del período de muestreo por el criterio del ancho de banda del teorema de Shannon.....	20
2.1.7.	Función de transferencia discreta. ....	21
2.1.8.	Ajuste de los controladores P, PI y PID por el método de la curva de reacción. ....	22
2.2.	<b>PERFIL DEL TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA.</b> .....	24
2.2.1.	Campo de Intervención y objeto de formación: .....	24
2.2.2.	Competencias profesionales:.....	25
3.	METODOLOGÍA .....	26
3.1.	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL VALOR AGREGADO</b> .....	26
3.2.	<b>EXPLICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR LA EXPERIENCIA DEL VALOR AGREGADO</b> .....	27
3.3.	<b>ASPECTOS ADMINISTRATIVOS</b> .....	42
3.3.1.	RECURSOS HUMANOS.....	42
3.3.2.	RECURSOS MATERIALES.....	42
3.3.3.	RECURSOS ECONÓMICOS O FINANCIEROS .....	43

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3.4. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	49
REFERENCIAS .....	51
APÉNDICE Y ANEXOS .....	52

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. GENERALIDADES.

La importancia de la modalidad de prácticas en los laboratorios de docencia recae en la divulgación del saber, como en el crecimiento personal, intelectual y ocupacional que desempeña el estudiante.

Se han propuesto parámetros para sintonizar el controlador PID en una planta de nivel por medio de reglas y criterios heurísticos, que se obtienen a partir de la observación y la experimentación. Ejemplo de esto son los criterios de Ziegler-Nichols, Lambda y Cohen & Coon.

Se hace necesario diseñar una guía donde se modela la planta de control de nivel, adicionalmente se proponen valores para sintonizar el controlador PID de acuerdo a la respuesta de la planta en lazo abierto. También se llevan anotaciones de la asignatura PLC.

### 1.1.1. Justificación.

En el laboratorio de PLC del Instituto Tecnológico Metropolitano se dispone de una planta de control de nivel de líquidos, la cual permite controlar el nivel en uno de sus tanques de acuerdo a la implementación de los conocimientos que se tienen sobre la teoría de control.

El sintonismo del controlador PID en la planta de control de nivel de líquidos se realiza con el propósito de que los estudiantes de las asignaturas de control básico, control digital y

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

control aplicado puedan implementar de forma teorico-práctica los conocimientos que adquieren en las asignaturas en curso.

Dado que el laboratorio de PLC en el ITM sede Fraternidad no contaba con plantas a controlar, se requiere documentación y guías que funcionen como modelo de trabajo y retroalimentación del conocimiento para los estudiantes que precisen realizar prácticas acordes a las competencias que demandan las asignaturas mencionadas.

Por lo tanto, se requiere de un personal practicante para que pueda documentar con más precisión, utilizando los conocimientos adquiridos en la parte académica.

### **1.1.2. Formulación del problema.**

No se tiene documentación sobre la planta de control de nivel respecto al modelo, identificación del sistema y respuesta. Tampoco una guía de trabajo independiente para modelar y sintonizar la planta.

## **1.2. OBJETIVOS.**

### **1.2.1. Objetivos generales.**

Aplicar los conocimientos adquiridos sobre técnicas de control para sintonizar el controlador PID de la planta de nivel utilizando los métodos Ziegler-Nichols y Cohen-Coon.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 1.2.2. Objetivos específicos.

- Identificar el sistema al que corresponde la planta por medio del método de la curva de reacción para obtener el modelo o función de transferencia correspondiente.
- Proponer metodologías para sintonizar el controlador PID empleando los diferentes criterios utilizados para los sistemas de control.
- Diseñar guía de trabajo para la planta de control de nivel de líquidos implementando metodologías de trabajo apropiadas a las asignaturas control básico, control digital, control aplicado y PLC.
- Analizar resultados obtenidos y sugerir valores adecuados para que la planta de control de nivel pueda ser controlada de forma inmediata desde la interfaz creada con la pantalla HMI.

### 1.3. Organización.

En el capítulo 1 se introduce a la justificación del proyecto, a la formulación del problema, y a la formulación de los objetivos principales y específicos.

En el capítulo 2, se indican los conceptos teóricos que hacen parte de la metodología que se implementa para el desarrollo del proyecto. Se introduce al lector a las funciones de primer y segundo orden, sistemas de control en lazo abierto y lazo cerrado, funciones continuas y discretas, identificación del sistema en relación a la respuesta del sistema, tiempo de muestreo y se indican las fórmulas correspondientes para calcular los parámetros de sintonismo para cada criterio. Además se menciona el perfil del tecnólogo en electrónica y su campo de intervención, además de indicar las competencias profesionales por las cuales se destaca el tecnólogo en electrónica del ITM.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el capítulo 3 se aplican metodológicamente los conceptos mencionados en el capítulo 2 para el desarrollo del proyecto, además de indicarse la configuración de parámetros del variador SIEMENS M440, obtención de información a través de la gráfica de la curva de reacción del sistema en lazo abierto y obtención de la ganancia proporcional y el tiempo integral y derivativo para sintonizar el controlador utilizando como interfaz la pantalla HMI.

En el capítulo 4 se muestran las gráficas de la respuesta obtenida para el sistema aplicando los criterios Cohen-Coon y Ziegler-Nichols para el sintonismo del controlador, además que se indican los principales factores que pueden afectar la velocidad de respuesta y sobreimpulso del sistema.

En el capítulo 5 se dan a conocer las conclusiones del trabajo, recomendaciones sobre aspectos que no se tuvieron en cuenta para el desarrollo del mismo, y se indica el trabajo futuro que se quiere realizar partiendo de las bases consagradas en este proyecto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1. FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL QUE SUSTENTA EL DESARROLLO DEL VALOR AGREGADO.

#### 2.1.1. Sistemas de control en lazo abierto.

Son sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control, en otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para que pueda ser comparada con la entrada. Un ejemplo práctico consiste en el funcionamiento de una lavadora, donde todas las funciones operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que corresponde a la limpieza de la ropa. La precisión del sistema depende entonces de la calibración [1].

#### 2.1.2. Sistemas de control realimentado o de lazo cerrado.

A los sistemas de control realimentados se les denomina también como sistemas de control en lazo cerrado. Corresponde a un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control. Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura, donde se mide la temperatura real y se compara con la temperatura de referencia (temperatura deseada), el termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o enfriamiento para asegurar que la temperatura se mantiene muy cercana o igual al valor deseado [1].

#### 2.1.3. Función de transferencia continua.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para un sistema continuo, lineal e invariante en el tiempo, la función de transferencia es definida como la relación entre la salida y la entrada en función de la transformada de Laplace, asumiendo las condiciones iniciales iguales a cero [2]. Siendo entonces la función de transferencia de cualquier sistema:

$$G_{(s)} = \frac{Y_{(s)}}{X_{(s)}}$$

Donde  $Y_{(s)}$  representa la salida y  $X_{(s)}$  la entrada del sistema en función de la transformada de Laplace.

A partir del concepto de función de transferencia, es posible representar la dinámica de un sistema mediante ecuaciones algebraicas en función de la frecuencia compleja  $s$ . Si la potencia más alta de  $s$  en el denominador es igual a  $n$ , el sistema se denomina sistema de orden  $n$ -ésimo [1].

La función de transferencia es una propiedad de un sistema, independiente de la magnitud y naturaleza de la entrada o función de excitación, e incluye las unidades necesarias para relacionar la entrada con la salida; sin embargo, no proporciona información acerca de la estructura física del sistema, por tanto, las funciones de transferencia de muchos sistemas físicamente diferentes pueden llegar a ser idénticas [1].

Si se desconoce la función de transferencia, puede obtenerse de forma experimental introduciendo una entrada conocida y estudiando la salida del sistema [1].

#### **2.1.4. Respuesta al escalón unitario de los sistemas en el tiempo.**

Los sistemas pueden ser de primer, segundo o tercer orden de acuerdo al grado de la frecuencia compleja  $s$  en la función de transferencia que describe tales sistemas. En el

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

diseño de filtros analógicos, se pueden tener circuitos cuyas funciones de transferencia pueden llegar a ser hasta de tercer y cuarto orden.

Dentro de la teoría de control, al modelar los sistemas, estos pueden ser de primer y segundo orden.

La función de transferencia de los sistemas de primer orden, corresponde a:

$$Gp(s) = \frac{K e^{-\theta' s}}{\tau s + 1}$$

Dónde:

$K$ : Ganancia del sistema.

$\theta'$ : Tiempo de retardo.

$\tau$ : Tiempo equivalente.

El valor del tiempo equivalente puede obtenerse interpolando con el 63.2% de la ganancia del sistema en la gráfica de respuesta al escalón de un sistema de primer orden.

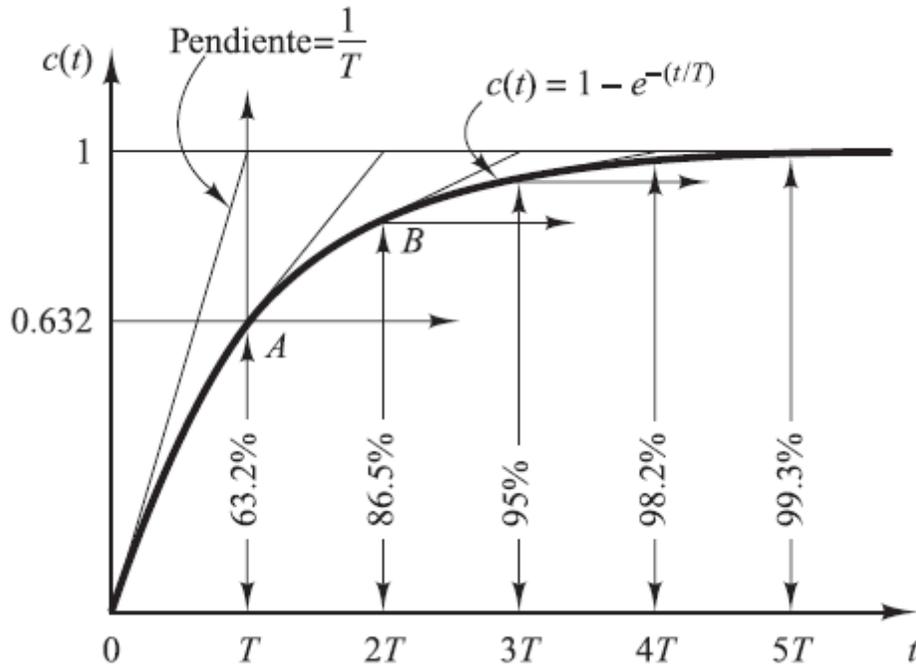


Fig. 1. Curva de respuesta al escalón para sistemas de primer orden [1].

Matemáticamente, el sistema alcanzará la estabilidad en un tiempo infinito, pero una aproximación razonable sería que el tiempo de estabilidad corresponde a  $4\tau$ , dado que la respuesta se mantiene dentro del 2% final para un tiempo mayor a  $4\tau$  [1]. Se tiene entonces, que un sistema de primer orden se vuelve oscilante en un margen del 2% para un tiempo de establecimiento superior a  $4\tau$ .

Para los sistemas de segundo orden, la función de transferencia corresponde a:

$$Gp(s) = \frac{K\omega_n^2 e^{-\theta's}}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

Dónde:

$K$ : Ganancia del sistema.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$\theta'$ : Tiempo de retardo.

$\omega_n$ : Frecuencia natural.

$\zeta$ : Constante de amortiguamiento.

El comportamiento dinámico del sistema está relacionado con la frecuencia natural y la constante de amortiguamiento como se describe a continuación:

- Caso no-amortiguado ( $\zeta = 0$ ):

Para este caso, se tiene que:

$$\omega_n = \frac{2\pi}{t_u}$$

Dónde:

$t_u$ : Tiempo entre picos.

- Caso sub-amortiguado ( $0 < \zeta < 1$ ), críticamente amortiguado ( $\zeta = 1$ ) y sobre-amortiguado ( $\zeta > 1$ ):

Teniendo en cuenta que:

$$x = \log\left(\frac{m_p}{100}\right)$$

Sustituyendo, se tiene:

$$\zeta = \frac{x}{\sqrt{\pi^2 + x^2}}$$

$$\omega_n = \frac{\pi}{t_p \sqrt{1 - \zeta^2}}$$

Dónde:

$m_p$ : Overshoot o porcentaje de sobrepaso del pico máximo.

$t_p$ : Tiempo entre el retardo y el tiempo correspondiente al pico máximo.

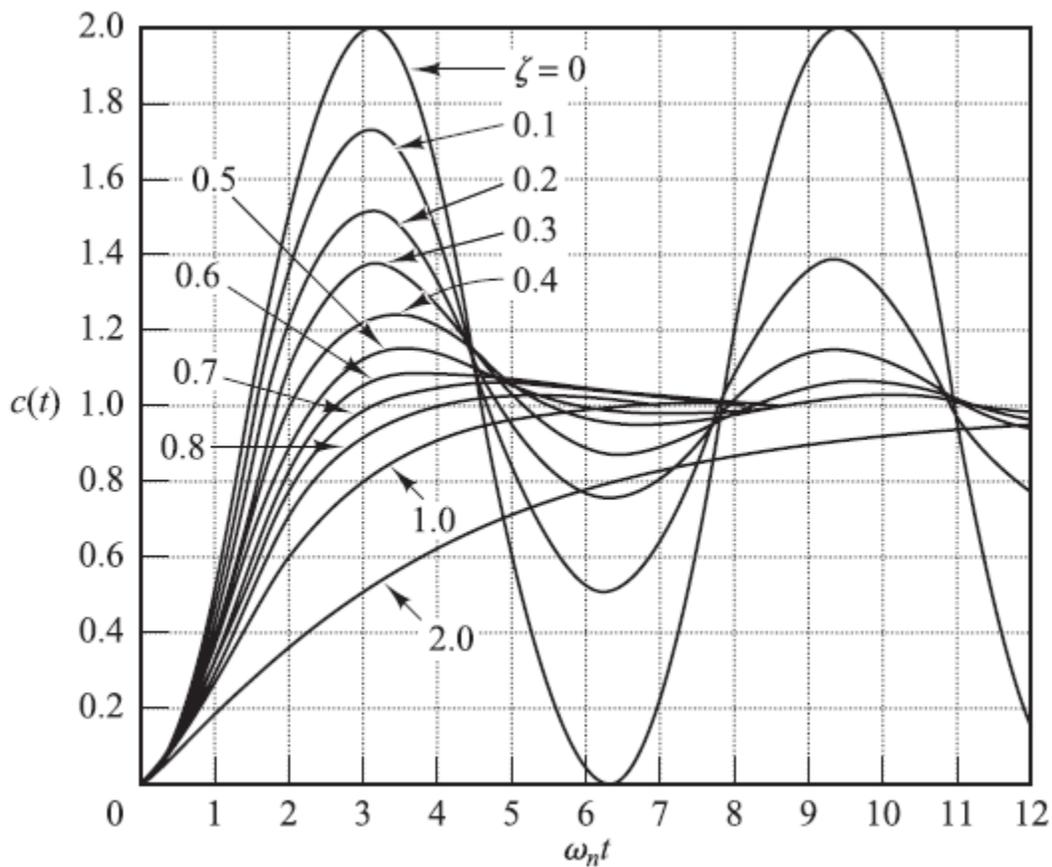


Fig. 2. Curva de respuesta al escalón para sistemas de segundo orden en función de la constante de amortiguamiento [1].

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.1.5. Identificación del sistema.

Los métodos de identificación se caracterizan porque los modelos son curvas o funciones de acuerdo a un análisis transitorio, de frecuencia, de correlación y/o espectral [2].

El modelo que se obtiene por el método del análisis transitorio corresponde a la respuesta del sistema generada ante una entrada en escalón [2].

El procedimiento experimental para estimar el modelo consiste en abrir el lazo de control (llevando el controlador a manual) antes del elemento final de control y generar un pequeño cambio en escalón en el proceso. La respuesta del sistema se grafica y sobre la curva obtenida se hace el análisis para estimar los valores de la ganancia, la constante de tiempo equivalente y el de retardo del proceso [2].

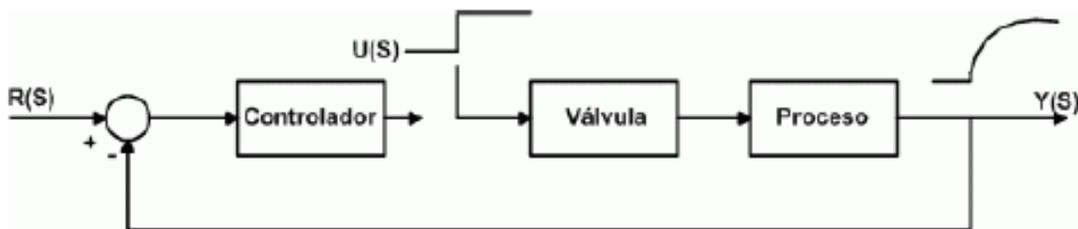


Fig. 3. Forma de aplicar el escalón para obtener la curva de reacción [2].

En la curva obtenida como respuesta, se eligen dos puntos representativos. Por lo general corresponden al tiempo cuando la respuesta alcanza el 28.3% y 63.2% de su valor final desde el momento que se aplica el escalón al EFC, siendo  $t_1$  y  $t_2$  respectivamente [2]. Teniéndose las siguientes expresiones:

$$\theta' + \frac{\tau}{3} = t_1$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\theta' + \tau = t_2$$

Resolviendo las ecuaciones, puede estimarse el valor del tiempo muerto y del tiempo equivalente. Si en caso tal, el tiempo muerto fuera negativo, se asume que el sistema no tiene retardo y que el tiempo equivalente corresponde al tiempo en que la respuesta alcanza el 63.2% del valor final [2].

El valor de la ganancia se obtiene mediante la expresión:

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta U}$$

Dónde:

$\Delta Y$ : Diferencia del cambio de la salida.

$\Delta U$ : Diferencia del cambio del escalón.

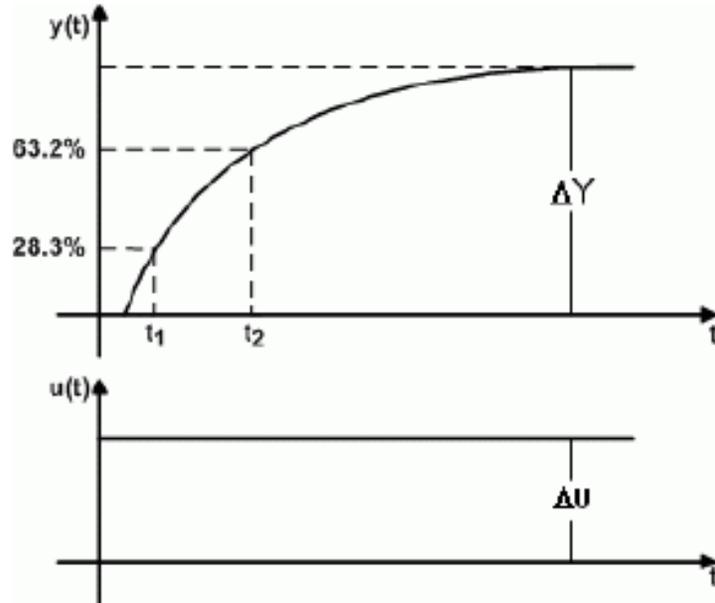


Fig. 4. Curva de reacción para el modelo de primer orden con retardo [2].

El modelo de la planta se obtiene reemplazando los valores anteriores en la ecuación de sistemas de primer orden [2].

#### 2.1.6. Selección del período de muestreo por el criterio del ancho de banda del teorema de Shannon.

Para muestrear y reconstruir una señal se puede utilizar el teorema de Shannon, según el cual, si la frecuencia de muestreo es suficientemente alta, comparada con la componente de más alta frecuencia de la señal en tiempo continuo, las características de amplitud de la señal de tiempo continuo se pueden preservar en la envolvente de la señal muestreada [2].

Según el criterio, la frecuencia de muestreo puede estar entre 8 y 12 veces el ancho de banda del sistema en lazo cerrado. Es importante tener presente que en lazo cerrado los procesos son normalmente más rápidos que en lazo abierto, por lo tanto, se recomienda

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

estimar el periodo de muestreo a partir de las características del sistema continuo en lazo cerrado [2].

Si  $\omega_c$  es el ancho de banda del sistema en lazo cerrado, la frecuencia de muestreo se puede estimar entre el intervalo:

$$8\omega_c \leq \omega_s \leq 12\omega_c$$

Se tiene en cuenta, además que:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_s}$$

Dónde:

$\omega_c$ : Frecuencia de corte.

$\omega_s$ : Frecuencia de muestreo.

$T$ : Tiempo de muestreo.

### 2.1.7. Función de transferencia discreta.

La función de transferencia discreta de cualquier sistema se puede obtener utilizando principalmente dos métodos.

- Si se tiene una tabla con la relación de las expresiones en  $X_{(z)}$  y  $X_{(s)}$  para una  $x_{(t)}$  dada, solo basta con expandir la función de transferencia continua  $G_{(s)}$  en fracciones parciales, de modo que, en la tabla se pueda encontrar la transformada Z de cada uno de los términos. La suma algebraica de los términos obtenidos de la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

transformada Z hallados, se tiene como resultado la función de transferencia discreta [2].

- El método computacional consiste en que usando comandos sencillos mediante un software especializado (por ejemplo MatLab) se puede obtener la función de transferencia discreta a partir de la función de transferencia continua [2].

Se hace necesario obtener el tiempo de muestreo para poder obtener la función de transferencia discreta por cualquiera de estos dos métodos.

#### **2.1.8. Ajuste de los controladores P, PI y PID por el método de la curva de reacción.**

##### **Método Ziegler-Nichols:**

Assumiendo que la función de transferencia en lazo abierto de una planta puede ser aproximado a un modelo de primer orden con retardo, obtenido a partir de la respuesta del sistema ante una entrada en escalón, Ziegler y Nichols proponen reglas heurísticas basadas en la experimentación para sintonizar el controlador P, PI y/o PID [2].

Los parámetros de ajuste del controlador se obtienen en función del valor de  $K$  (ganancia),  $\tau$  (tiempo equivalente) y  $\theta'$  (tiempo muerto o retardo), obtenidos de la función de transferencia en lazo abierto [2]. Adicionalmente, se tiene:

$$\theta = \theta' + \frac{T}{2}$$

Dónde:

$T$ : Período de muestreo.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$T/2$ : Aproximación al retardo introducido por el muestreador y retenedor.

Esta variante del método de Ziegler-Nichols es aplicable si se cumple:

$$0.1 < \theta' / \tau < 1$$

Para valores mayores se recomienda utilizar controladores con compensación de tiempo muerto, y para valores menores se recomienda utilizar controladores de orden superior [2].

TABLA I.  
AJUSTES ZIEGLER-NICHOLS

<b>Controlador</b>	<b><math>K_c</math></b>	<b><math>\tau_i</math></b>	<b><math>\tau_d</math></b>
<i>P</i>	$\tau / K\theta$	—	—
<i>PI</i>	$0.9\tau / K\theta$	$3.33\theta$	—
<i>PID</i>	$1.2\tau / K\theta$	$2\theta$	$0.5\theta$

#### **Método Cohen-Coon:**

El ajuste de Ziegler-Nichols para sistemas de primer orden con retardo es muy sensible para sistemas con variaciones en relación  $\theta' / \tau$ . Cohen & Coon proponen una tabla modificada para solucionar este inconveniente utilizando el mismo modelo, obteniéndose buenos resultados en el desempeño del sistema [2].

TABLA II.  
AJUSTES COHEN-COON

<i>Controlador</i>	$K_c$	$\tau_i$	$\tau_d$
<i>P</i>	$\tau/K\theta (1 + \theta/3\tau)$	–	–
<i>PI</i>	$\tau/K\theta (0.9 + \theta/1.2\tau)$	$\theta(30\tau + 3\theta)/(9\tau + 20\theta)$	–
<i>PID</i>	$\tau/K\theta (4/3 + \theta/4\tau)$	$\theta(32\tau + 6\theta)/(13\tau + 8\theta)$	$4\theta\tau/(11\tau + 2\theta)$

Dónde:

$$\theta = \theta' + \frac{T}{2}$$

## 2.2. PERFIL DEL TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA.

### 2.2.1. Campo de Intervención y objeto de formación:

El ingeniero electrónico del ITM es un profesional idóneo y competitivo que se encuentra capacitado para intervenir la medición y el control automático de variables electrónicas, por lo cual debe estar habilitado para: identificar las variables críticas que intervienen en un proceso de producción industrial; diseñar el proceso de medición y lectura de variables en concordancia con la necesidad del proceso demandado por una organización industrial; evaluar soluciones tecnológicas para apoyar el proceso de toma de decisiones sobre gestión tecnológica e integración de tecnologías referentes a la instrumentación de medida y a los sistemas de control automático; establecer criterios técnicos y económicos que le permitan seleccionar y decidir sobre las tecnologías más apropiadas en el campo del control y la automatización, las telecomunicaciones y la informática; y finalmente,

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

desarrollar software para automatizar máquinas y procesos usando controladores lógicos programables, sistemas de cómputo y sistemas embebidos.

### **2.2.2. Competencias profesionales:**

El tecnólogo en electrónica interviene la rama de la física aplicada que trata de los fenómenos que pueden ser explicados por la interacción de electrones en el vacío, o en la materia sólida o gaseosa. Su aplicación ha dado origen a multitud de mejoras en todos los campos del saber y actualmente los países de más alto desarrollo tecnológico en este campo, consideran que los aspectos sociales que requieren mayor esfuerzo desde el punto de vista tecnológico, y que por lo tanto marcarán una tendencia respecto a los desarrollos en electrónica y computación.

Su perfil ocupacional o sus competencias a las cuales debe responder son:

- Diseñador de sistemas y equipos de control industrial.
- Ingeniero de soluciones con dispositivos programables en ambientes industriales.
- Administrador de secciones, áreas o departamentos de mantenimiento y reparación de equipos electrónicos y de control industrial.
- Diseñador y administrador redes de datos.
- Auxiliar de investigación en áreas de I+D.
- Asesor de proyectos de diseño con sistemas embebidos.
- Diseñador de software para soluciones del área de automatización y control industrial.
- Implementador e instalador de equipos y sistemas de control industrial.
- Diseñador de estrategias de intervención en el contexto de la globalización y el desarrollo sostenible de los sistemas y equipos de control electrónico.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

---

#### 3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL VALOR AGREGADO

Diseño de la guía de trabajo de la planta de control de nivel de líquidos para las asignaturas de control básico, control digital, control aplicado y PLC. La guía consiste en un sintonismo del controlador PID, donde se proponen valores para las acciones P (proporcional), I (integral) y D (derivativa). Se indica además el procedimiento utilizado para calcular los valores respectivos por medio de diferentes criterios, y a partir de las respuestas obtenidas se sugiere los valores con los que se obtiene una mejor respuesta. La planta de nivel se muestra en la figura 5.



Fig. 5. Planta de control de nivel de líquidos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se escriben notas de clase en formato digital, correspondientes a la asignatura de control lógico programable que se imparte en el Instituto Tecnológico Metropolitano por el docente Juan Guillermo Mejía Arango. Las notas de clase se presentan en forma descriptiva para diferentes configuraciones en el software, que se precisan realizar del autómatas y para cada tipo de actividad a desarrollar. Adicionalmente se muestran programas de ejemplos que ayudan a retroalimentar los conocimientos que se adquieren en dicho curso.

### **3.2. EXPLICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR LA EXPERIENCIA DEL VALOR AGREGADO**

#### **Procedimientos realizados para el modelado de la planta de control de nivel de líquidos:**

Se realiza un diagrama eléctrico y de comunicaciones de la planta, adicionalmente se modifica el programa del PLC y la pantalla HMI con el fin que se pueda modificar los parámetros del bloque PID.

Se configura el variador de velocidad SIEMENS M440 para la puesta en servicio rápida, donde se configuran los siguientes parámetros correspondientes a las características del motor y a la consigna del variador:

#### **P0010 – Comenzar puesta en servicio rápida.**

Este parámetro debe estar en 1 para que los demás parámetros puedan ser modificados [3].

#### **P0100 – Funcionamiento para Europa/Norteamérica.**

Se configura este parámetro en 1 para indicar que se trabajará el motor con potencia en hp y frecuencia por defecto a 60Hz [3].

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**P0304 – Tensión nominal del motor (10V – 2000V).**

Corresponde a la tensión nominal del motor mostrada en la placa de características, en este caso 220V [3].

**P0305 – Corriente nominal del motor (0A – 2A).**

Corresponde a la corriente nominal del motor indicada en la placa de características, para este caso, la placa del motor indica 1.6A [3].

**P0307 – Potencia nominal del motor (0kW – 2000kW).**

Corresponde a la potencia nominal del motor que se muestra en la placa de características, para este caso, se especifica una potencia nominal de 0.4hp. El parámetro P0100 debe estar en 1 para indicar la potencia en hp [3].

**P0310 – Frecuencia nominal del motor (12Hz – 650Hz).**

Corresponde a la frecuencia nominal del motor que se indica en la placa de características del motor, para este caso corresponde a 60Hz [3].

**P0311 – Velocidad nominal del motor (0rpm – 40000rpm).**

Corresponde a la velocidad nominal del motor que se muestra en la placa de características, para este caso corresponde a 1640rpm [3].

**P0700 – Selección de la fuente de comandos.**

Este parámetro debe ser configurado en 2, dado que la fuente de entrada para el arranque y parada del motor corresponde a las entradas digitales (botonera) [3].

**P1000 – Selección de la consigna de frecuencia.**

Este parámetro debe ser configurado en 2, ya que la consigna de frecuencia viene dada por una señal analógica (0V – 10V) desde el PLC [3].

**P1080 – Frecuencia mínima del motor (0Hz – 650Hz).**

Ajusta la frecuencia mínima a la que girará el motor con independencia de la fuente de consigna. Para este caso se especifica un valor de 0Hz [3].

**P1082 – Frecuencia máxima del motor (0Hz – 650Hz).**

Ajusta la frecuencia máxima a la que girará el motor con independencia de la fuente de consigna. Para este caso se especifica un valor de 60Hz [3].

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**P1120 – Tiempo de aceleración (0s – 650s).**

Corresponde al tiempo que tarda el motor en acelerar desde el estado de reposo hasta la frecuencia máxima. Se indica un valor de 5s para este parámetro [3].

**P1121 – Tiempo de deceleración (0s – 650s).**

Corresponde al tiempo que tarda el motor en decelerar desde la máxima frecuencia hasta el reposo. Se indica un valor de 5s para este parámetro [3].

**P3900 – Fin de la puesta en servicio rápida.**

Este parámetro debe ser 1 para finalizar la puesta en servicio rápida basándose en los ajustes de fábrica [3].

Se abre el lazo de control de la planta activando la acción manual desde la interfaz creada en la pantalla HMI y se abre el EFC al 10% hasta que se establezca el nivel del líquido en el tanque a controlar. Seguidamente se abre el EFC al 20% y se toman muestras del nivel del líquido cada 10 segundos hasta que se establezca nuevamente. Los parámetros configurables en la pantalla se muestran en la figura 6.

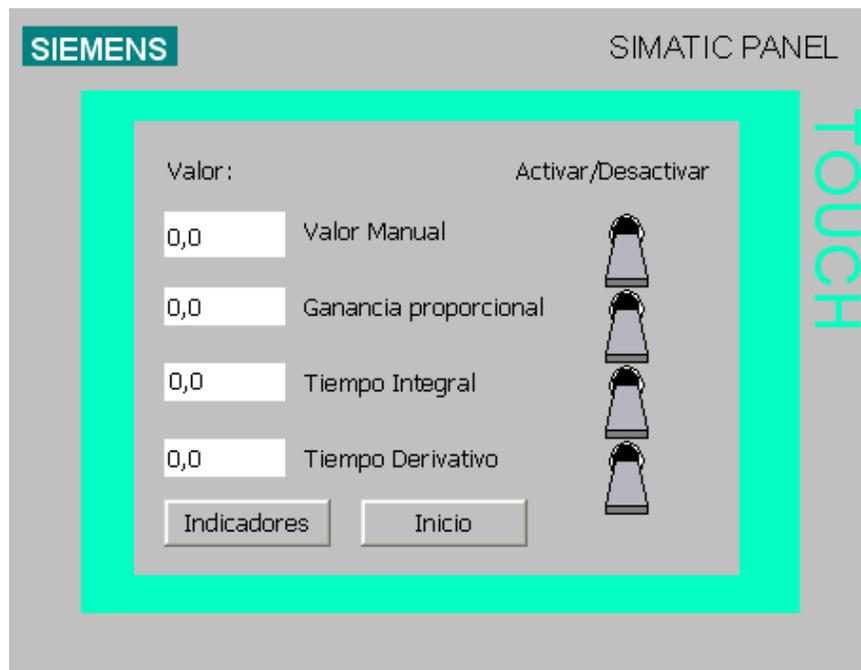


Fig. 6. Modificación del valor manual en la pantalla HMI.

Se modela el sistema para obtener la función de transferencia, utilizando el método de la curva de reacción, que define un sistema como una caja negra y se obtiene una salida a una variación de la entrada o función de excitación. Para esto se utilizan las muestras obtenidas a través de la adquisición de datos, las cuales se grafican y permiten obtener la curva característica para un sistema de primer orden como indica la figura 7.

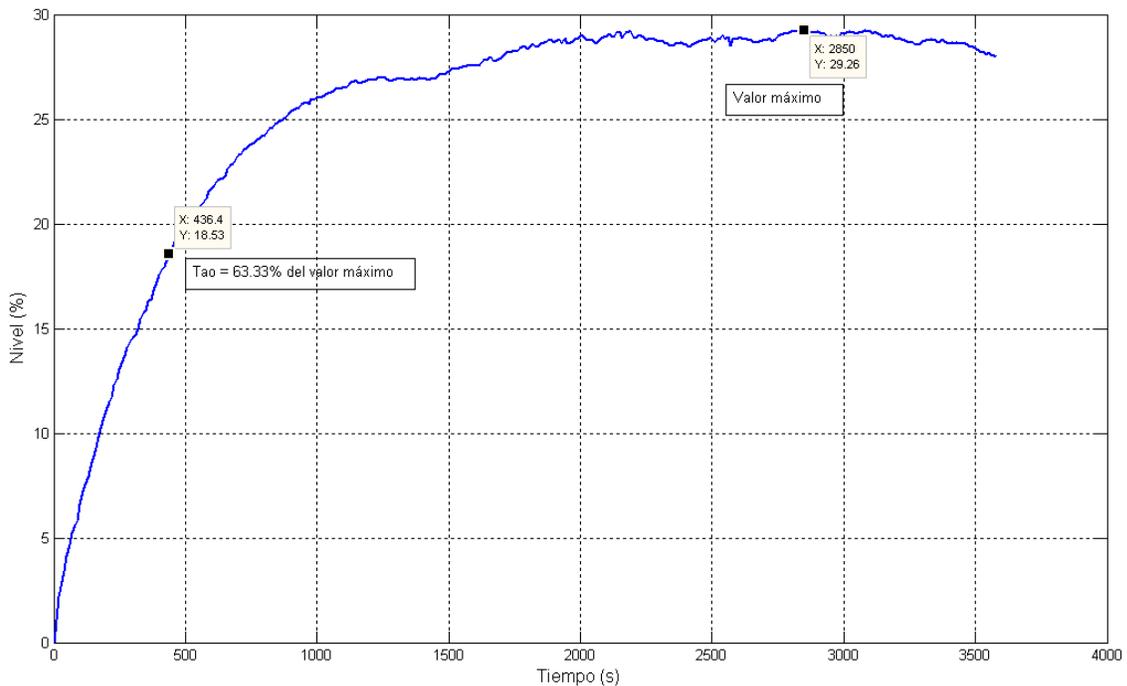


Fig. 7. Gráfica de la respuesta transitoria en lazo abierto.

Los datos obtenidos a partir de la respuesta del sistema en función del escalón permiten reconstruir la función de transferencia de la planta. Siendo de la forma:

$$Gp(s) = \frac{Ke^{-\theta's}}{\tau s + 1}$$

Dónde:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$K = \frac{\Delta\%Nivel}{\Delta\%Estímulo} = \frac{29.26}{10} = 2.926$$

$$\tau = 436.4s$$

$$\theta' = 0s$$

Se tiene entonces, la siguiente función de transferencia del sistema en lazo abierto:

$$Gp(s) = \frac{2.926}{436.4s + 1}$$

Para graficar la función de transferencia, se hace necesario ingresar los siguientes comandos en el Command Window de MatLab.

```
>> gp=tf(2.926,[436.4 1]);
```

```
>> step(gp,'g',3600)
```

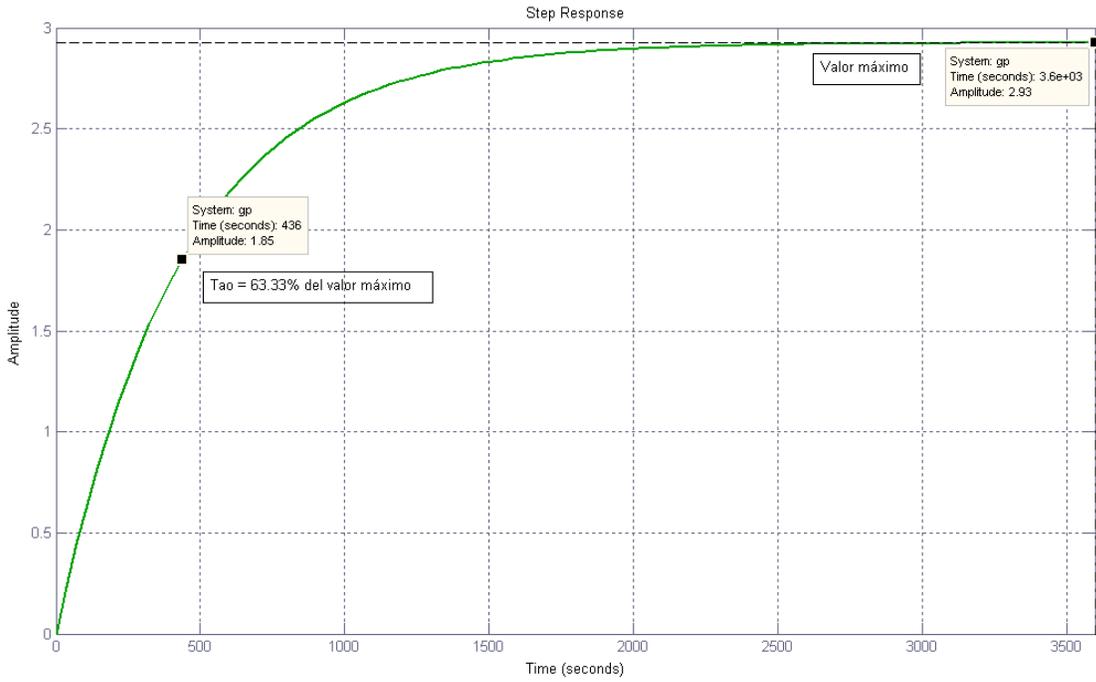


Fig. 8. Gráfica del sistema en respuesta al escalón unitario.

Se cierra el lazo de control para la función de transferencia obtenida, para esto se hace uso de la función feedback() y se obtiene la función respectiva en lazo cerrado.

```
>> gs=feedback(gp,1)
```

$$G_s(s) = \frac{2.926}{436.4s + 3.926}$$

También puede obtenerse matemáticamente aplicando el teorema de Mason a un diagrama de bloques, obteniéndose la función de transferencia de la siguiente forma:

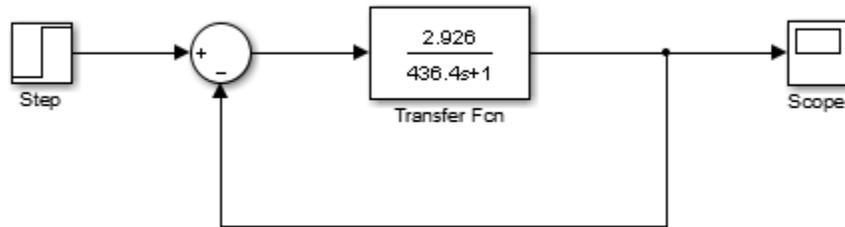


Fig. 9. Diagrama de bloques de la planta en lazo cerrado.

$$G_S(s) = \frac{T_k \Delta_k}{\Delta}$$

Dónde:

$p = 1$  (Un único camino directo).

$T_k = Gp(s)$  (Ganancia del  $k$  camino directo).

$\Delta_k = 1$  (Ganancia de los lazos que no tocan el  $k$  camino directo).

$l_1 = -Gp(s)$  (Ganancia del lazo cerrado).

$\Delta = 1 - (-l_1)$  (Lazos no adyacentes entre sí).

Reemplazando, se tiene:

$$G_S(s) = \frac{Gp(s)}{1 - (-Gp(s))}$$

$$G_S(s) = \frac{\frac{2.926}{436.4s+1}}{1 + \frac{2.926}{436.4s+1}}$$

$$G_S(s) = \frac{2.926}{436.4s + 3.926}$$

A partir de la función de transferencia en lazo cerrado, se obtiene el diagrama de bode respectivo en MatLab por medio del siguiente comando:

```
>> bode(gs)
```

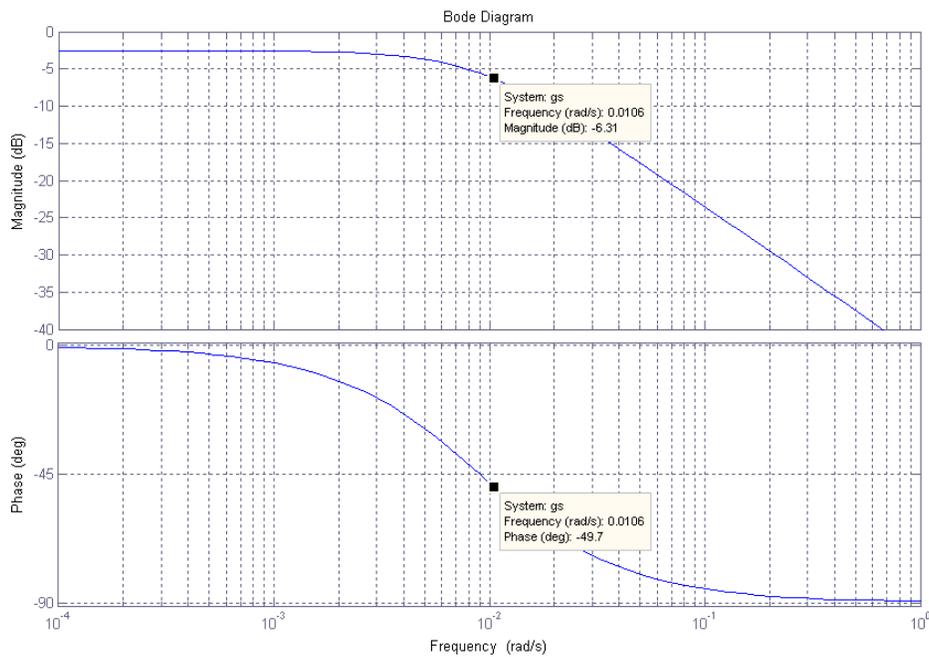


Fig. 10. Diagrama de Bode del sistema en lazo cerrado.

Dado que la ganancia del sistema corresponde a  $K = 2.926$ , se hace uso de la siguiente ecuación para encontrar la magnitud en dB en función de la frecuencia de corte.

$$-20 \log(0.707 \times K) = -6.31 \text{ dB}$$

Por interpolación, se tiene que la frecuencia de corte corresponde a:

$$\omega_c = 0.0106 \text{ (Rad/s)}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se utiliza el criterio del ancho de banda del teorema de Shannon para encontrar la frecuencia de muestreo, donde:

$$8\omega_c \leq \omega_s \leq 12\omega_c$$

$$8(0.0106) \leq \omega_s \leq 12(0.0106)$$

$$0.0848 \leq \omega_s \leq 0.1272$$

Se tiene para el período de muestreo:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_s}$$

$$\frac{2\pi}{0.1272} \leq T \leq \frac{2\pi}{0.0848}$$

$$49.39 \leq T \leq 582.50$$

$$T_{\text{mín}} = 49.39s$$

$$T_{\text{max}} = 582.50s$$

Para validar el tiempo de muestreo, se obtiene la función discreta correspondiente a la función continua del sistema en lazo cerrado tomando como base el tiempo de muestreo  $T_{\text{mín}} = 49.39s$ . Usando MatLab, se tiene:

```
>> c2d(gs,49.39)
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$G_s(z) = \frac{0.2674}{z - 0.6413}$$

Para validar el tiempo de muestreo, se visualiza en Simulink por medio del Scope, la función continua contra la discreta.

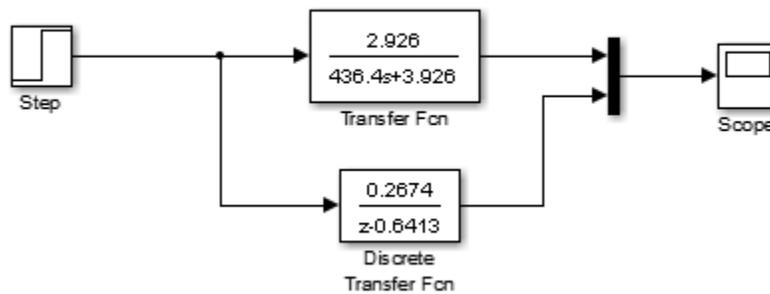


Fig 11. Diagrama de bloques de la función continua contra la función discreta.

En la gráfica 12 se muestra la respuesta al escalón unitario obtenida con Simulink donde el eje y representa el nivel en % dividido por 100 y el eje x representa el tiempo en segundos.

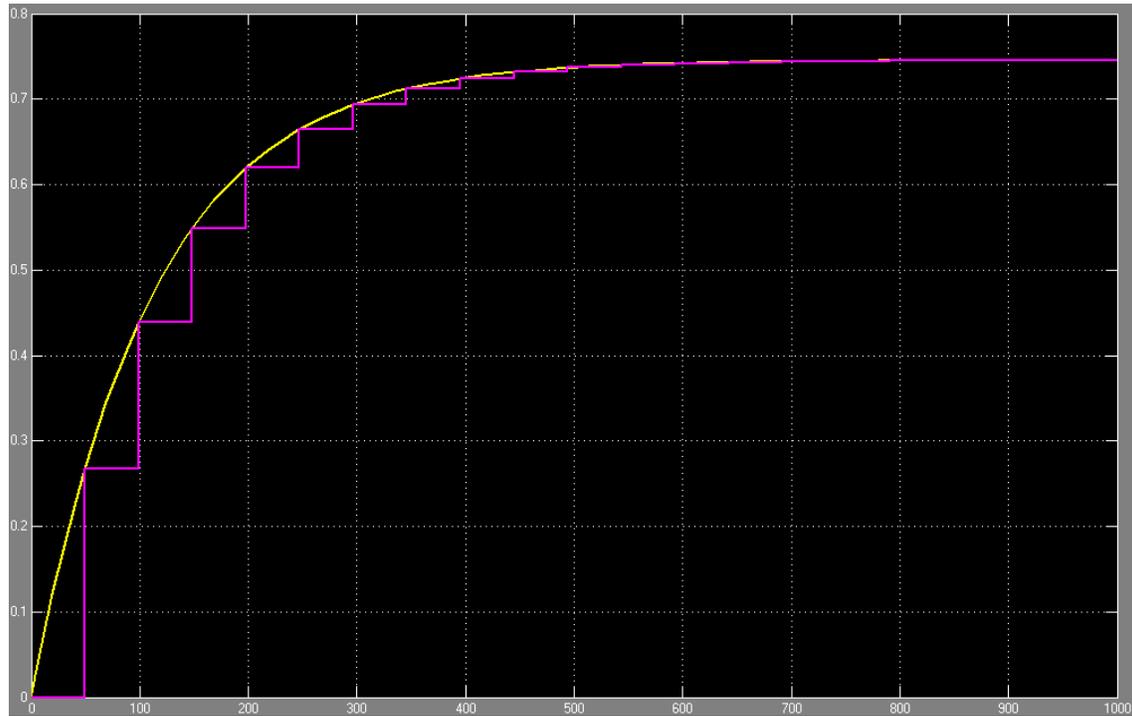


Fig. 12. Gráfica de la función continua contra la función discreta en respuesta al escalón unitario.

Para sintonizar el controlador se utiliza el método de la curva de reacción propuesto por Ziegler-Nichols. Los parámetros de ajuste del controlador se pueden identificar en la tabla I. Dónde:

$$\theta = \theta' + T/2$$

$$\theta = 0 + 24.695 = 24.695$$

Siendo  $T/2$  el retardo debido al muestreador y retenedor, y  $T$  el tiempo de muestreo mínimo de 49.39s.

Dada la información que puede obtenerse a partir de la función de transferencia en lazo abierto, se tiene:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$K = 2.926$$

$$\tau = 436.4$$

Utilizando la información de la tabla I, se tiene los siguientes parámetros de ajuste para el controlador PI del criterio Ziegler-Nichols:

$$K_c = 5.435$$

$$\tau_i = 82.234$$

$$\tau_d = 0$$

A partir de la tabla II, se pueden obtener los parámetros de sintonismo para el controlador PID del criterio Cohen-Coon.

Dónde:

$K_c$ : Ganancia proporcional.

$\tau_i$ : Tiempo integral.

$\tau_d$ : Tiempo derivativo.

Para sintonizar el controlador, es necesario dar la acción de paro del motor desde la botonera, y desde la pantalla HMI (fig. 6) desactivar el valor manual e ingresar y activar los parámetros específicos del controlador. Además se ingresa en tiempo de ciclo, que corresponde al tiempo de muestreo ( $T$ ), que se ha calculado por medio del criterio de ancho de banda del teorema de Shannon.

Por defecto, el tiempo de ciclo está configurado en 2000 ms, para cambiarlo se requiere modificar la interrupción cíclica en el OB35. Para ello, es necesario seguir el siguiente procedimiento en los directorios del programa:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- En la ventana del administrador SIMATIC, abrir el HW Config haciendo doble clic en Hardware en la carpeta del equipo SIMATIC 300(1).

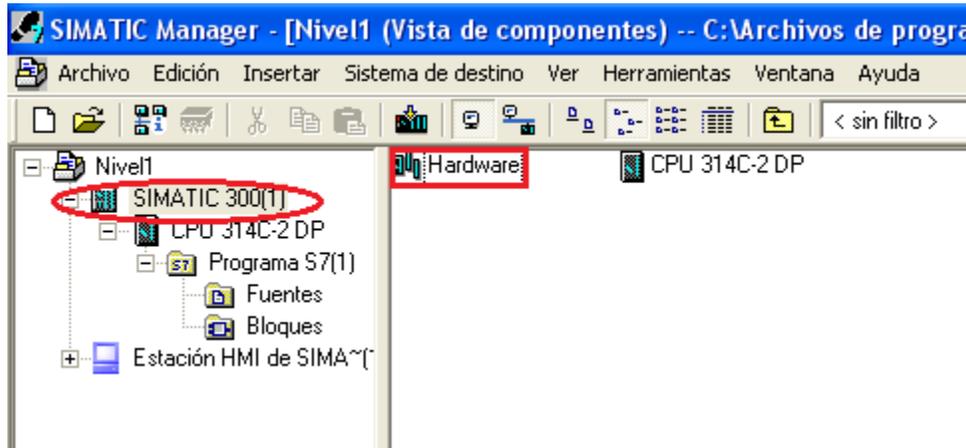


Fig. 13. Ventana del administrador del SIMATIC Manager.

- En la ventana HW Config, hacer doble clic en el slot 2 del bastidor que contiene la CPU 314C-2 DP del autómeta.

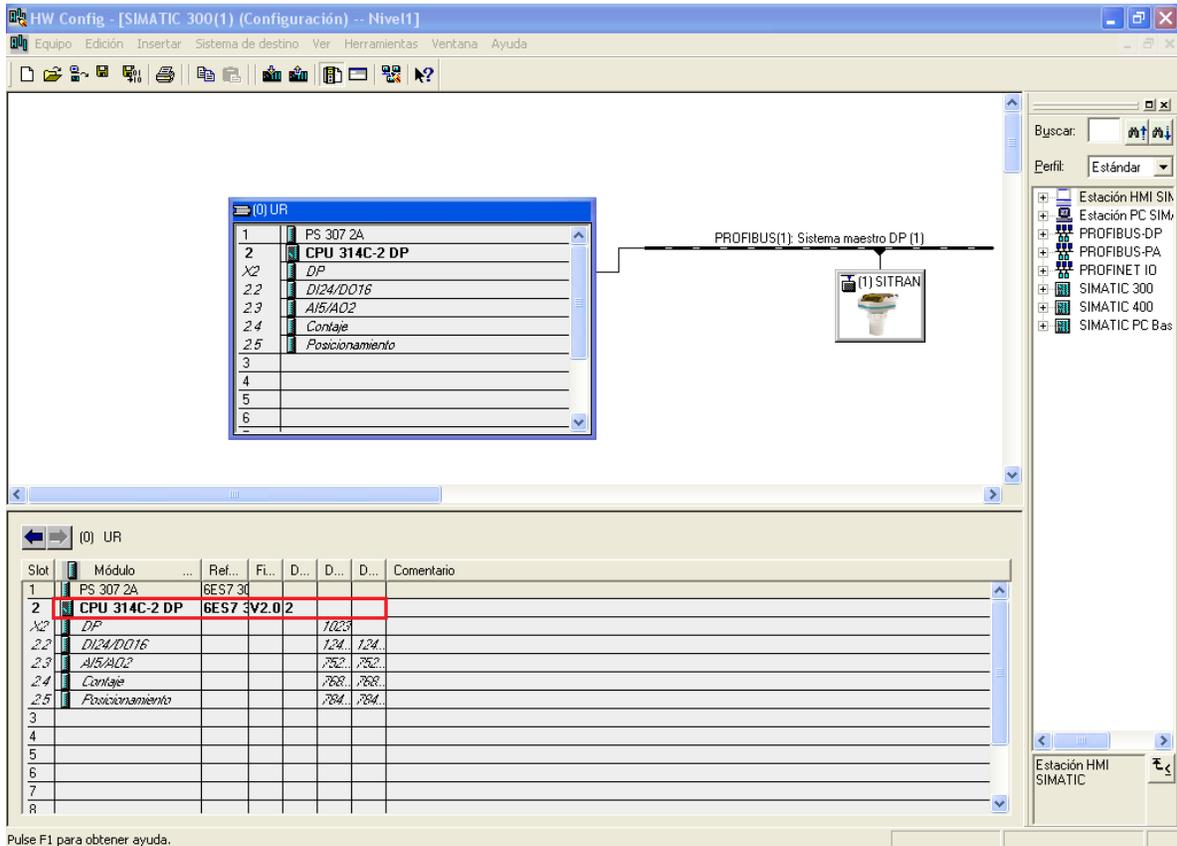


Fig. 14. Ventana del HW Config del administrador SIMATIC Manager.

- Dirigirse a la pestaña alarmas cíclicas en la ventana de propiedades de la CPU 314C-2 DP y modificar el bloque OB35. Se debe tener en cuenta que la periodicidad se maneja en milisegundos.

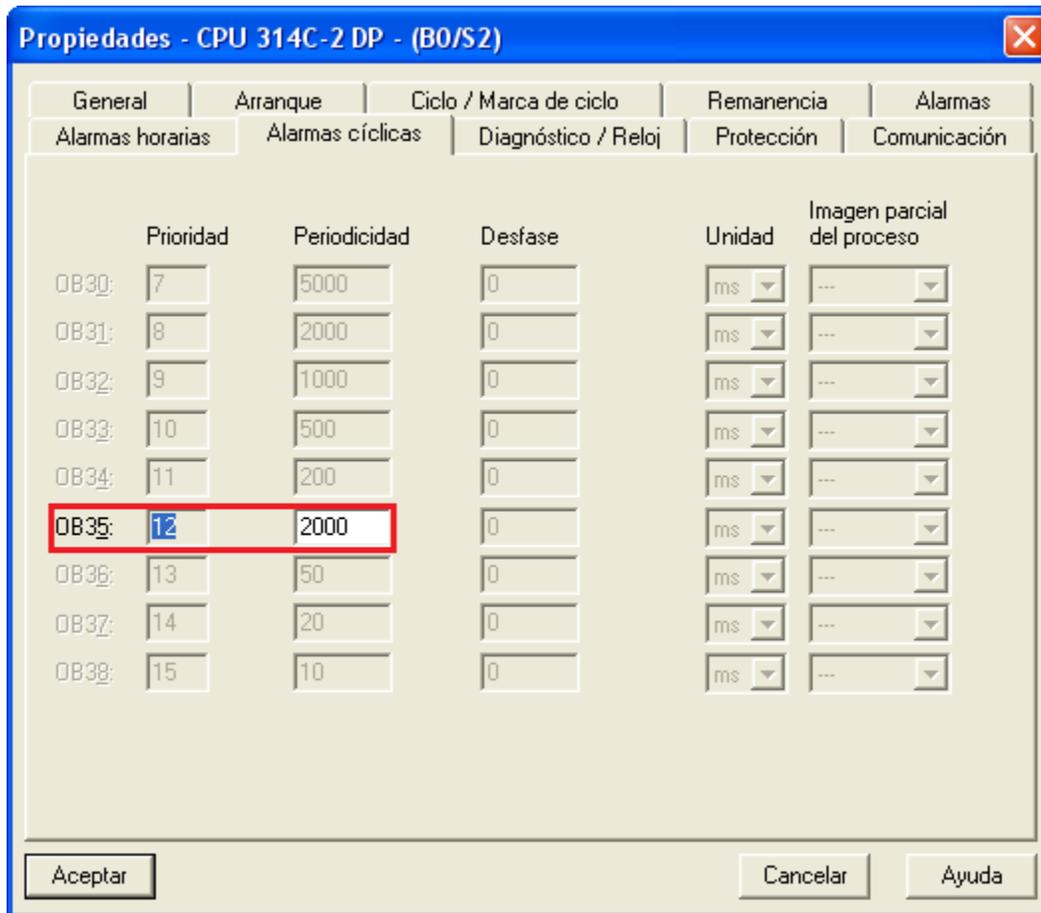


Fig. 15. Modificación de la interrupción por alarma cíclica del bloque OB35.

- En la ventana de propiedades de la CPU, hacer clic en aceptar, y acto seguido, hacer clic en el botón compilar y guardar de la ventana HW Config. Se debe cargar nuevamente el programa en la memoria del PLC.

Después de ingresar todos los datos a la pantalla HMI y modificar el OB35, puede accionarse la marcha e inmediatamente tomar mediciones del nivel en unidades de porcentaje.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **3.3. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS**

#### **3.3.1. RECURSOS HUMANOS**

El laboratorio de PLC cuenta con el siguiente personal para la capacitación académica del estudiantado, siendo el siguiente:

- Yuly Emilia Castro Cartagena. Laboratorista.
- Rubén Darío Fonnegra Tarazona. Laboratorista.
- Marcela Vallejo. Docente.
- Juan Guillermo Mejía Arango. Docente.
- Johnny Álvarez Salazar. Docente.
- Camilo Alejandro Bermúdez Mejía. Practicante.
- Hooper Arbey Puerta. Practicante.

#### **3.3.2. RECURSOS MATERIALES**

El laboratorio de PLC dispone de diferentes equipos para realizar prácticas de carácter académico, entre los cuales también se encuentran los que componen la planta de control de nivel. A continuación solo se listan los equipos implementados en la planta de control de nivel:

- PLC SIEMENS S7-300.
- Variador de velocidad SIEMENS M440.
- Pantalla HMI SIEMENS 177B PN/DP COLOR 6".
- Motor trifásico SIEMENS.
- Sensor ultrasónico SITRANS PROBE LU.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Válvula proporcional 4-20mA.
- Electroválvula o válvula ON/OFF.
- Motobomba.

Adicionalmente en la labor de préstamos de equipos, en el laboratorio se dispone de microcontroladores, sensores inductivos y capacitivos, termistores, osciloscopios, FPGA y programadores. Estos elementos son prestados a los estudiantes por parte del laboratorio para la realización de las prácticas académicas.

### **3.3.3. RECURSOS ECONÓMICOS O FINANCIEROS**

Los recursos económicos corresponden a los activos materiales presentes en el laboratorio.

### **3.3.4. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

Se presenta el siguiente cronograma relacionado con las actividades que se desempeñan como practicante de carrera en el laboratorio de PLC.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA III.  
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

Actividades	Ago				Sep				Oct.				Nov				Dic			
Apoyo a la gestión del laboratorio de PLC en el campus Fraternidad.			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Asesoría a estudiantes en la asignatura de PLC.					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Elaboración de la guía de trabajo de la planta de control de nivel.									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Elaboración de las notas de clase de la asignatura PLC.					X	X			X	X			X	X	X	X	X	X	X	X

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Al sintonizar cada uno de los tres controladores que pueden calcularse a partir de la tabla I, se tiene que el sistema solo logra estabilizarse en el valor del Set-Point implementando los parámetros propuestos para el controlador PI del criterio Ziegler-Nichols.

Los valores que se ingresan en la ventana de ajustes y en la de sintonizar PID de la pantalla HMI son:

$$\textit{Set - Point (\%)} = 50$$

$$\textit{Nivel Máximo (cm)} = 35$$

$$\textit{Tiempo Ciclo (ms)} = 49390$$

$$\textit{Ganancia Proporcional} = 5.435$$

$$\textit{Tiempo Integral (ms)} = 82234$$

Después de ingresar todos los datos a la pantalla HMI y modificar el OB35, se acciona la marcha e inmediatamente se realiza la adquisición de datos del nivel en unidades de porcentaje. Para el sintonismo del controlador PI por el criterio de Ziegler-Nichols, se obtiene la siguiente gráfica.

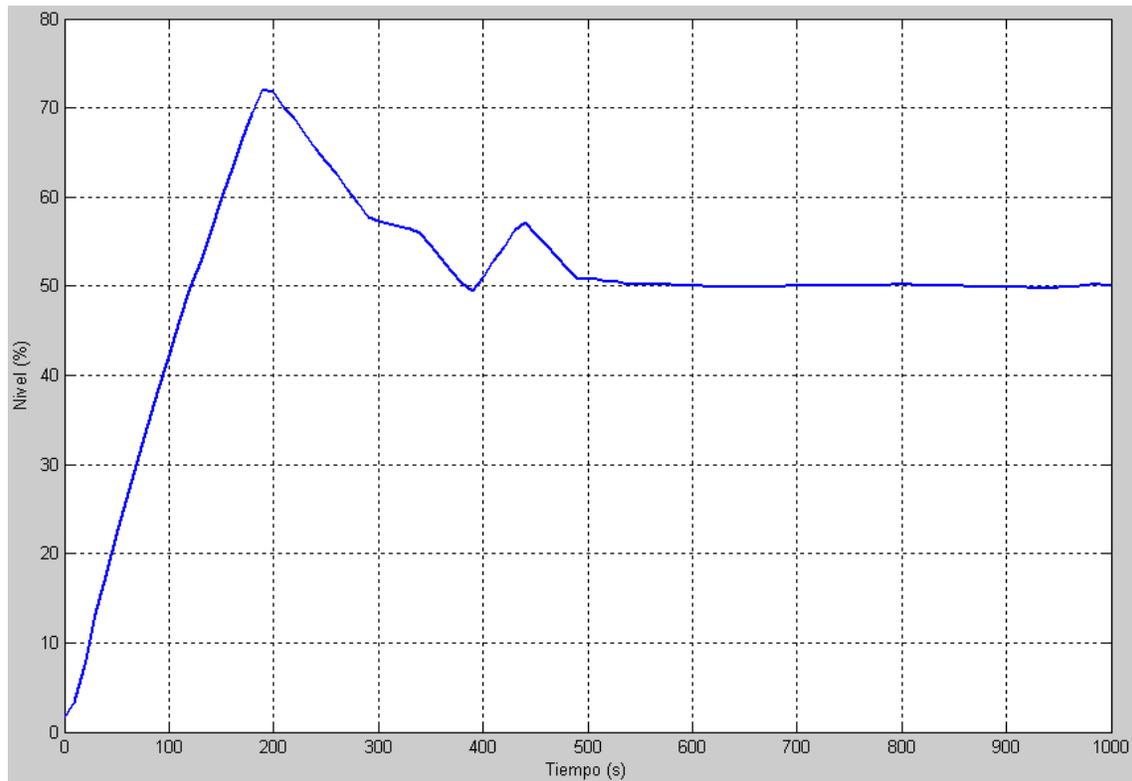


Fig. 16. Gráfica del nivel al sintonizar el control PI por el criterio de Ziegler-Nichols.

Adicionalmente se proponen otros valores para el sintonismo del controlador PID, estos valores se pueden calcular con los datos representados en la tabla II. Para la respuesta del sistema implementando el criterio de Cohen-Coon, se tienen los siguientes parámetros de sintonismo<sup>1</sup> donde se asume el tiempo de ciclo y de muestreo por defecto en 2000ms:

$$\begin{aligned}
 \textit{Tiempo Ciclo (ms)} &= 2000 \\
 \textit{Ganancia Proporcional} &= 6.0506 \\
 \textit{Tiempo Integral (ms)} &= 48375 \\
 \textit{Tiempo Derivativo (ms)} &= 7218
 \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Parámetros proporcionados por la docente de control aplicado Marcela Vallejo.

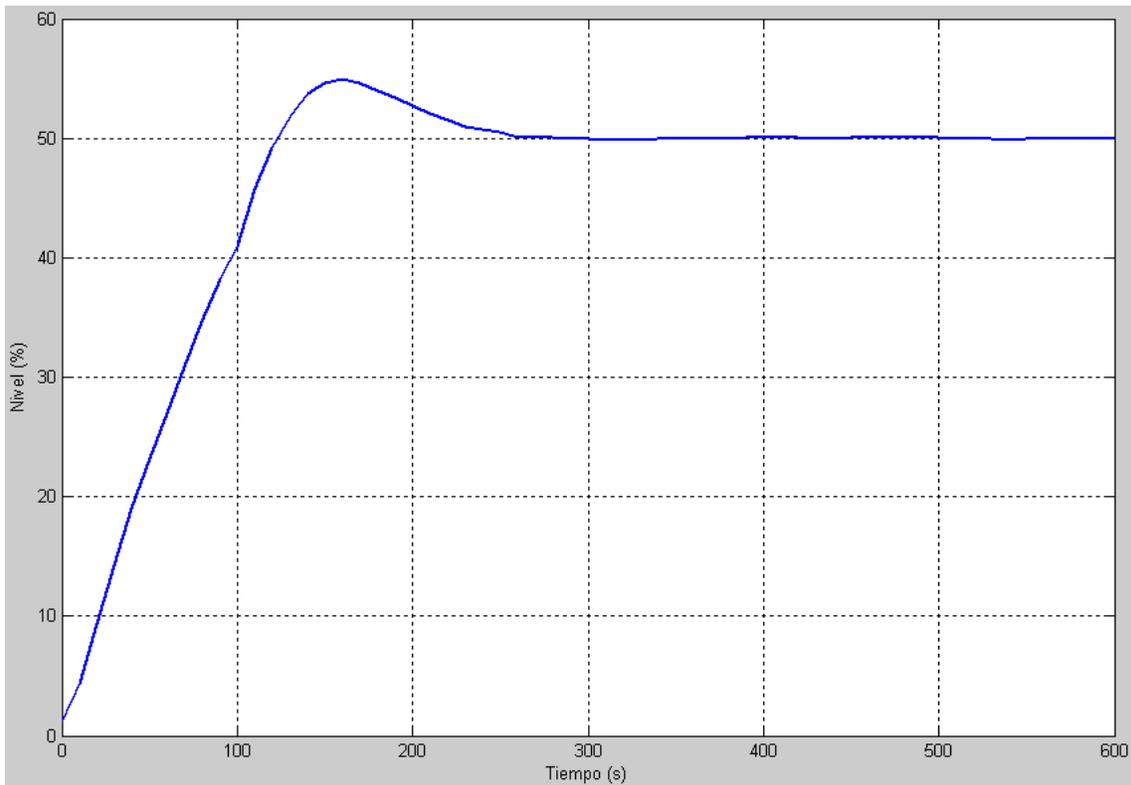


Fig. 17. Gráfica del nivel al sintonizar el control PID utilizando el criterio de Cohen-Coon.

Con la respuesta representada en la figura 17, se puede observar que el método Cohen-Coon sería el método más apropiado en comparación del método Ziegler-Nichols, dado que genera un menor sobreimpulso y se alcanza la estabilidad en un menor tiempo.

Debe tenerse en cuenta que teóricamente, esta variante del método de Ziegler-Nichols es aplicable, como se indicó anteriormente, si se cumple la relación :

$$0.1 < \theta' / \tau < 1$$

En este caso, la relación  $\theta' / \tau = 0$ , y por tanto no aplicaría para este sistema. Según García Jaimes: “Para valores mayores de 1 se recomienda utilizar controladores con compensación de tiempo muerto y para valores menores de 0.1 se recomienda utilizar

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

controladores de orden mayor”[1]. Aun así puede encontrarse que el sistema se estabiliza poco después de 8.33 minutos implementando el criterio Ziegler-Nichols. Se encuentra el criterio Cohen-Coon estabiliza el sistema en 4.33 minutos.

Los datos y gráficas representados anteriormente se obtuvieron controlando la planta a partir de un valor máximo a controlar de 35cm e ingresando un Set-Point de 50% del valor máximo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### CONCLUSIONES

- Se utiliza el principio de la curva de reacción para sintonizar el controlador PID por medio de los criterios Ziegler-Nichols y Cohen-Coon. Se obtiene una mejor respuesta por el criterio Cohen-Coon.
- Se obtiene la función de transferencia de la planta, de forma experimental a partir de la curva de reacción, obteniéndose que la función corresponde a un sistema de primer orden cuando.
- Se propone la metodología de sintonismo implementando los criterios Ziegler-Nichols y Cohen-Coon, obteniéndose una mejor respuesta con este último.
- Se diseña la guía de trabajo de control de nivel de líquidos con la información teórica y metodológica que se indica en este trabajo.
- En la sección de resultados y discusión, se muestra la respuesta del sistema implementando los dos criterios de sintonismo, además que se indican los valores respectivos de las ganancias proporcional, integral y derivativa para poder ser ingresados a través de la pantalla HMI.

### RECOMENDACIONES

- Se recomienda modelar matemáticamente la planta de control de nivel de líquido e implementar como elementos finales de control la válvula proporcional y el variador de velocidad M440 para controlar tanto el nivel, como el flujo del sistema.
- Construir el diagrama de bloques del nuevo sistema de control.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Realizar el sintonismo implementando el método del lugar geométrico de las raíces. Finalmente se recomienda comparar la respuesta del sistema implementando los valores de sintonismo con simulaciones generadas en Simulink y SISOTool.

## **TRABAJO FUTURO**

Para el caso de la planta de control de nivel, se propone realizar la adquisición de datos a través de LabVIEW y realizar el sintonismo del controlador PID de forma automática de acuerdo a la respuesta en lazo abierto por otros criterios de sintonismo (Lambda, Chien-Hrones-Reswick). Además se deben implementar a futuro controladores robustos no solo para la planta de nivel, sino para otros prototipos.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

[1] GARCÍA JAIMES, Luis Eduardo. *Control Digital: Teoría y Práctica*. 2ª edición. Medellín. Politécnico Jaime Isaza Cadavid. 2009.

[2] OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderna*. 5ª edición. Madrid. Pearson Educación. 2010.

[3] SIEMENS. Manual Variador de Velocidad Micromaster 440. Disponible en:  
<https://www.inverterdrive.com/file/Siemens-Micromaster-440-Manual>

[4] SIEMENS. S7300 Manual de Producto. Disponible en:  
<https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documents/S7300ManualProducto.pdf>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## APÉNDICE Y ANEXOS

### ANEXO A – Hoja de vida institucional.

 Institución Universitaria	<b>HOJA DE VIDA ESTUDIANTE DE PRÁCTICAS</b>	Código	FDE 071
		Versión	01
		Fecha	2014-04-21

#### DATOS PERSONALES

**Nombre y Apellidos** Camilo Alejandro Bermúdez Mejía  
**Lugar de Nacimiento** Medellín  
**Fecha de Nacimiento** 27 de diciembre de 1989  
**Estado Civil** Soltero  
**Cédula de Ciudadanía** 1017176876  
**Dirección y Barrio** Cl. 97 N° 44-09 (Apto. 203) Manrique Guadalupe



**Teléfonos, celular** 5224974 – 3163487203  
**E-mail** zedphon@live.com

#### INFORMACIÓN ACADÉMICA

Terminé Estudios de Secundario en: Institución Educativa Guadalupe  
 Estudiante de tecnología en Electrónica Nivel VI Jornada MAÑANA  
 Ha firmado Contrato de Aprendizaje anteriormente? Si No X

#### EXPERIENCIA LABORAL

EMPRESA	CARGO	TELÉFONO	TIEMPO LABORADO	JEFE INMEDIATO
Tecnología a su alcance	Técnico sistemas y computadores, asesor comercial.	5143343	7 Meses	Diana Marcela Zuluaga

#### REFERENCIAS PERSONALES Y/O FAMILIARES

NOMBRE Y APELLIDOS	DIRECCIÓN	TELÉFONOS	PARENTESCO	LABORA EN
Jorge Andrés Muñoz Monsalve	Calle 95B N° 44-35	3178869050 – 5211926	Amigo / Colega	Auxiliar Operativo – Enecon
Oscar Darío Seguro Hernández	Carrera 40 N° 91-81 Int. 102	3218753367 – 5220034	Amigo	Asesor Comercial – HomeCenter Sodimac Colombia
Frank Esteban Torres Arango	Carrera 42B N° 96-99	3146946044 – 5227155	Amigo	Diseñador Industrial – UMB Modulares

#### FORMACIÓN Y COMPETENCIAS

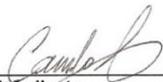
Describe conocimientos y habilidades en los siguientes aspectos. ¿Cuáles?

**En informática:** Herramientas ofimáticas (Word, Excel, Power-Point). Programación en lenguaje C para microcontroladores PIC y Freescale, Labview y teoría del control en Matlab.

**Competencias en segunda lengua: (Marque E - excelente, B - bueno, R - regular)**

Idioma Inglés Lee B Escribe B Habla R

**Perfil personal (cualidades y valores) y/o experiencias laborales significativas:**  
 Soy una persona con ganas de aprender cada día compartiendo los conocimientos adquiridos, con capacidad para trabajar en equipo, respetuoso y colaborativo. Buena atención, con capacidad de escuchar sugerencias y buena presentación personal.

  
 Estudiante

  
 Prácticas Profesionales

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	<b>HOJA DE VIDA ESTUDIANTE DE PRÁCTICAS</b>	Código	FDE 071
		Versión	01
		Fecha	2014-04-21

*Nota: Señor empresario, recuerde que el objeto de las Prácticas es que éstas se conviertan en un espacio de aprendizaje en el que el estudiante pueda realizar actividades que permitan la aplicación de los conocimientos teóricos adquiridos durante el proceso de formación académica en la tecnología*

## FORMACION POR COMPETENCIAS

### TECNOLOGIA EN ELECTRONICA

#### 1. OBJETO DE FORMACION DE LA TECNOLOGIA.

La formación del Tecnólogo en Electrónica está orientada hacia la medición electrónica y tratamiento digital de variables y hacia el control automático de variables, mediante la incorporación del procesamiento digital y la informática.

#### 2. Descripción de las competencias del saber o conocimientos básicos de la tecnología:

- Diferencia los conceptos de electrónica análoga y electrónica digital, basándose en sus aplicaciones.
- Analiza correctamente circuitos con diodos y otros componentes.
- Comprende el funcionamiento de estado sólido del transistor BJT.
- Reconoce la importancia y aplicaciones del procesamiento de señales.
- Reconoce la importancia del uso de la transformada de Laplace en sistemas lineales.
- Analiza gráficamente diferentes señales, para predecir el comportamiento en el tiempo.
- Usa Matlab como herramienta para solucionar Diagramas de bloques.
- Representación de un problema a través de una expresión con variables booleanas
- Simplificar funciones a su mínima expresión
- Dispositivos lógicos programables
- Distinguir sistemas numéricos
- Construir Circuitos MSI por medio de bloques digitales
- Lectura de manuales en inglés
- Realiza la diagramación en bloques del sistema.
- Usa herramientas computacionales como Matlab para representar y resolver diagramas de bloques.
- Reconoce la acción de la parte proporcional, integral y derivativa en un controlador industrial.
- Sintoniza controladores de sistemas lineales e invariantes en el tiempo.
- Usa Matlab como herramienta de simulación y verificación de los controladores.
- Utiliza dispositivos programables en la solución de un problema específico.
- Utiliza las instrucciones de programación de dispositivos programables en aplicaciones concretas, para crear nuevas formas de interactuar con variables.
- Utiliza los puertos de un microcontrolador para leer o escribir información a través de ellos y realiza el control.
- En un caso específico, utiliza un dispositivo programable para adquisición, procesamiento, almacenamiento o control de variables del mundo real.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	<b>HOJA DE VIDA ESTUDIANTE DE PRÁCTICAS</b>	Código	FDE 071
		Versión	01
		Fecha	2014-04-21

- Utiliza los puertos de un dispositivo programable para leer o escribir información a través de ellos y realiza el control.
- Implementa un circuito de acondicionamiento de señal, utilizando circuitos de muestreo y retención, basados en dispositivos programables
- En un ejercicio concreto, aplica estrategias para convertir información analógica a digital o pasar información de digital a analógica, utilizando distintos tipos de conversores que interactúen con dispositivos programables
- En un sistema digital, identifica los elementos principales que lo componen. Selecciona el tiempo de muestreo adecuado para un sistema de control continuo a partir de su modelo matemático e interpreta sus efectos sobre el desempeño de los elementos del lazo de control.
- Modela un sistema continuo utilizando el método de transformada Z, para realizar su discretización
- Usa Matlab como herramienta para el análisis de sistemas en el tiempo, analizando la estabilidad.
- Reconoce la acción de la parte proporcional, integral y derivativa en un controlador industrial.
- Sintoniza controladores de sistemas lineales e invariantes en el tiempo.
- Usa Matlab como herramienta de simulación y verificación de los controladores.
- Presenta informes acorde a la normatividad, referentes a prácticas realizadas y/o trabajos de consulta.

**3. Descripción de las competencias del hacer profesional o las habilidades para desempeñarse en una empresa:**

- Diseñar e implementar circuitos lógicos combinacionales y secuenciales para la resolución de problemas empleando metodologías de diseño digital.
- Definir los principales conceptos utilizados en la teoría del control realimentado.
- Modelizar sistemas físicos de manera experimental y utilizando ecuaciones integrodiferenciales.
- Usar Matlab como herramienta para el análisis de sistemas tanto en el tiempo como en la frecuencia
- Crear algoritmos de bajo nivel en la solución de problemas, utilizando los conceptos de la arquitectura básica y la sintaxis de programación de un dispositivo programable como un microcontrolador, un microprocesador, o una FPGA
- Diseñar las etapas de un sistema de adquisición, acondicionamiento, transmisión y procesamiento de datos en forma remota y controlar las variables físicas.
- Elegir, implementar y operar acondicionadores de señal, para minimizar los errores en las medidas de las variables de los procesos industriales.
- Definir los principales conceptos utilizados en la teoría del control digital.
- Usar la transformada z como herramienta para modelizar un proceso
- Usar Matlab como herramienta para el análisis y diseño de controladores digitales.
- Hallar la capacitancia para diferentes configuraciones y combinaciones de capacitores.
- Programar un PLC y conectarlo con los equipos que se controlan.
- Resolver problemas de automatización de lógica digital secuencial.
- Proponer soluciones para diferentes problemas de control automático de variables industriales.

Nota: Certifico que la información contenida en este formato único de Hoja de Vida es cierta.

  
 Firma del Estudiante

07/15/14  
 Fecha de elaboración

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ANEXO B – Guías de seguimiento.

- Guía N° 1:

 Institución Universitaria	<b>GUIA No. 1</b> FUNCIONES O COMPETENCIAS DE DESEMPEÑO	Código	FDE 074
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

**PRÁCTICA PROFESIONAL**  
Evaluación diligenciada por la empresa

**MODALIDAD:**

Práctica Empresarial       Práctica Laboratorio

Contrato de Aprendizaje       Práctica Social

Nombres y apellidos: Camilo Alejandro Bermudez Mejia

Cédula: 1017176876      Carné: 10201018

Teléfonos: 3137380365

Programa: Tecnología Electrónica

Inicio del contrato: Agosto 18/2014 Terminación de contrato: Nov 28/2014

Empresa: ITM      Sector Productivo: Educación

Dirección: Calle 73 #76A 354      Teléfono: 4405100

Coordinador en la empresa: Juan Guillermo Mejia Cargo: Docente

E - Mail: juanmejia@itm.edu.ec      Fecha: Agosto 19/2014

Total horas semanales en la empresa: 12

Diligencie el siguiente campo con una de las dos opciones:

**A. Información del tecnólogo:**  
Funciones y/o actividades asignadas por la empresa: al estudiante

**B. Información del Ingeniero:**  
Resumen ejecutivo: (Es un breve análisis de los aspectos más importantes del proyecto, describe el producto o servicio y sus beneficiarios, el contexto, los resultados esperados, las necesidades de financiamiento y las conclusiones generales.)

Digitizar notas de clase

En laboratorio planta control de nivel

Atención en el Laboratorio

Asesorar a estudiantes.

Asistencia en laboratorio de PLC (12 horas/semana)

Miércoles 2-6 PM, Jueves 2-6 PM y Viernes 2-6 PM.

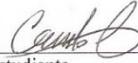
Respaldo ausencia de auxiliares de laboratorio

previo acuerdo

Nota: Entregar a los 8 días

Firmas:

  
Coordinador en la empresa

  
Estudiante

ROBELI TRAJAY  
Prácticas profesionales ITM

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Guía Nº 2:

 Institución Universitaria	<b>GUIA No.2</b> SEGUIMIENTO A LOS ESTUDIANTES DE LA PRACTICA PROFESIONAL	Código	FDE 075
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

**Evaluación diligenciada por la empresa**

**MODALIDAD DE PRÁCTICA PROFESIONAL:**

Práctica Empresarial  Práctica Laboratorio  Contrato de Aprendizaje   
 Práctica Social

Nombres y apellidos: Camilo Alejandro Bermúdez Mejía

Programa: Electrónica

Empresa: ITM Fecha: 22 de sept, 2014

Para el ITM es de gran importancia el proceso de formación integral, igualmente la valoración que ustedes como empresa realicen sobre el desempeño de los estudiantes que participan en la dinámica empresarial.

Valore con las siguientes categorías los factores enunciados:

E = EXCELENTE, B = BUENO, A = ACEPTABLE, D = DEFICIENTE, NE = NO EVALUABLE

FACTORES A EVALUAR					
Saber Ser					
	E	B	A	D	NE
Pensamiento crítico	X				
Interés, motivación y compromiso con la práctica	X				
Proactividad y creatividad en su puesto de trabajo	X				
Comunicación asertiva	X				
Puntualidad y cumplimiento	X				
Presentación personal	X				
Adaptabilidad al puesto de trabajo	X				
Respeto por los demás	X				
Saber Disciplinar					
Conocimientos básicos del programa a aplicar	X				
Autonomía	X				
Deseo y capacidad de actualizar sus conocimientos	X				
Capacidad de investigación y aplicación al puesto de trabajo	X				
Manejo de los aplicativos internos de su puesto de trabajo	X				
Diseña estrategias para el mejoramiento de los procesos	X				
Conoce y comprende la normatividad de los procesos empresariales		X			
Saber hacer					
Habilidad y flexibilidad para aceptar los cambios internos de la Organización		X			
Comprende e interpreta las observaciones realizadas por el jefe inmediato para llevar a cabo las funciones		X			
Recursividad	X				
Calidad del trabajo realizado	X				
Capacidad de trabajo en equipo		X			
Responsabilidad en las tareas encomendadas	X				

Juan Guillermo Mejía A  
 Coordinador en la empresa

ROBEI IBARRA  
 Prácticas Profesionales ITM

Entregar al mes

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Guía N° 3:

 Institución Universitaria	<b>GUIA No.3 EVALUACIÓN DEL ESTUDIANTE EN SU PRACTICA PROFESIONAL</b>	Código	FDE 076
		Versión	02
		Fecha	2012-07-25

Evaluación diligenciada por el Estudiante

**MODALIDAD DE PRÁCTICA PROFESIONAL**

Práctica Empresarial  Práctica Laboratorio  Contrato de Aprendizaje   
 Práctica Social

Nombres y apellidos: Camilo Alejandro Bermúdez Mejía  
 Teléfonos: 5224974  
 Programa: Tecnología Electronica  
 Nombre de la empresa: Instituto Tecnológico Metropolitana  
 Dirección: Cde 73 N° 76A-354 Teléfono: 4405100

Para fortalecer el proceso de aprendizaje interinstitucional (EMPRESA – ITM), le solicitamos a usted como estudiante su aporte sobre los siguientes aspectos:

E = EXCELENTE, B = BUENO, A = ACEPTABLE, D = DEFICIENTE

Como contribuye la práctica profesional a la construcción de su proyecto de vida para:

ÍTEMS	E	B	A	D
Su desarrollo como persona		X		
Su proyección a futuro	X			
Fortalece sus relaciones interpersonales	X			

Como contribuye la práctica en su formación profesional en cuanto a:

ÍTEMS	E	B	A	D
Fortalece el desarrollo de sus competencias y el objeto de su formación profesional	X			
Aplica sus conocimientos profesionales durante la realización de la práctica	X			
Las prácticas profesionales fortalecen las actitudes y aptitudes personales para actuar en el entorno laboral	X			
Al finalizar su experiencia empresarial, considera que cumplió los objetivos		X		

FIRMA DEL ESTUDIANTE

Fecha Nov - 19 - 2014



Entregar a los 3 meses

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Guía Nº 4:

 Institución Universitaria	<b>Guía No. 4 EVALUACIÓN FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL</b>	Código	FDE 077
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

Evaluación diligenciada por la empresa

**MODALIDAD DE PRÁCTICA PROFESIONAL**

Práctica Empresarial  Práctica Laboratorio  Contrato de Aprendizaje

Práctica Social

**Nombres y apellidos:** Camilo Alejandro Bermudez Mejia

**Programa:** Tecnología Electrónica

**Empresa:** ITM **Fecha:** noviembre 7 de 2014

Solicitamos a usted evaluar en forma objetiva las funciones y actividades del practicante para determinar su avance en la Empresa

<b>E: Excelente</b> Calificación 5.0	<b>B: Bueno</b> Calificación de 4.0 a 4.9	<b>A: Aceptable</b> Calificación de 3.0 a 3.9	<b>D: Deficiente</b> Calificación de 1.0 a 2.9	<b>NE: No Evaluable</b>
---	--	--	---	-------------------------

Seleccionar con una X

FACTORES A EVALUAR					
Saber Ser					
	E	B	A	D	NE
Pensamiento crítico	X				
Interés, motivación y compromiso con la práctica	X				
Proactividad y creatividad en su puesto de trabajo	X				
Comunicación asertiva	X				
Puntualidad y cumplimiento	X				
Presentación personal	X				
Adaptabilidad al puesto de trabajo	X				
Respeto por los demás	X				
Saber Disciplinar					
Conocimientos básicos del programa a aplicar	X				
Deseo y capacidad de actualizar sus conocimientos	X				
Autonomía	X				
Capacidad de investigación y aplicación al puesto de trabajo	X				
Manejo de los aplicativos internos de su puesto de trabajo	X				
Diseña estrategias para el mejoramiento de los procesos	X				
Conoce y comprende la normatividad de los procesos empresariales	X				
Saber hacer					
Habilidad y flexibilidad para aceptar los cambios internos de la Organización	X				
Comprende e interpreta las observaciones realizadas por el jefe inmediato para llevar a cabo las funciones	X				

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	<b>Guía No. 4 EVALUACIÓN FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL</b>	Código	FDE 077
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

Recursividad	X				
Calidad del trabajo realizado	X				
Capacidad de trabajo en equipo	X				
Responsabilidad en las tareas encomendadas	X				

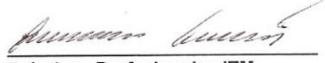
**EVALUACION FINAL:** Evalúe de (1 a 5), el desarrollo final de experiencia realizada por el aprendiz durante el período laborado en la empresa. (Véase escala de valoración definida en la parte superior)

CALIFICACIÓN	
NÚMERO	LETRAS
5.0	Cinco Cero

Observaciones y Sugerencias para complementar la formación del programa académico al cual pertenece el estudiante

*Se le recomienda al estudiante seguir con el ciclo de ingeniería*

  
 Coordinador en la empresa

  
 Prácticas Profesionales ITM

**Nota:**

Esta evaluación debe ser entregada a la Oficina de Prácticas un mes antes de finalizar la experiencia en la empresa.	Solicite en la empresa una carta con la constancia de la realización de Prácticas indicando fecha de iniciación y finalización.
--	---

**El ITM agradece a la empresa la acogida que les brindaron a nuestros estudiantes en el proceso de formación integral.**  
**Además ustedes contribuyeron en la proyección de nuestros jóvenes para actuar con autonomía académica y reconocer la trascendencia de la vida y el trabajo.**

ANEXO C – Carta de constancia del laboratorio.

Fecha		Actividad desempeñada por el estudiante	Hora ingreso	Hora salida	Total horas	Firma Laboratorista	Firma Docente Asesor	Firma Estudiante
A	M							
14	8	20	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	8	21	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	8	22	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	8	27	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	8	28	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	8	29	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	9	3	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	9	4	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	9	5	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	9	10	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	9	11	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	9	12	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	20.00	6		
14	9	17	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	22.00	8		
14	9	18	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	9	19	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	9	24	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	9	25	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	1	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	2	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	3	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	8	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	9	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	10	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	15	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	16	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	17	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	22	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	23	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	24	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	29	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	30	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	10	31	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	11	5	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		
14	11	6	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4		

<p>MODALIDAD PRACTICA TALLERES Y LABORATORIOS DE DOCENCIA O INVESTIGACIÓN DEL ITM</p> <p>Registro de actividades y cumplimiento de horas</p>		<p>Código</p> <p>Versión</p> <p>Fecha</p>	<p>FDE 146</p> <p>01</p> <p>2015-03-13</p>
<p>Institución Universitaria</p>			
<p>1017176876</p>			
<p>Documento de identidad:</p> <p>Nombre completo del estudiante:</p> <p>Programa académico ITM:</p> <p>Nombre completo del Docente Asesor:</p> <p>Fecha inicio práctica:</p> <p>Nombre Taller o Laboratorio:</p> <p>Ubicación:</p> <p>Campus:</p>		<p>Carnillo Alejandro Bermudez Mejia</p> <p>Tecnología en Electrónica</p> <p>Juan Guillermo Mejia Arango</p> <p>Agosto 20 de 2014</p> <p>Fecha fin práctica:</p> <p>Controladores Lógicos Programables</p> <p>M109</p> <p>Fraternidad</p>	
<p>Ruben Fonnegra</p>		<p>Noviembre 27 de 2014</p>	

# INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Código	FDE 089
Versión	03
Fecha	2015-01-22

14 11 7	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4				
14 11 12	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4				
14 11 13	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4				
14 11 14	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4				
14 11 18	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	22.00	8				
14 11 19	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4				
14 11 20	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4				
14 11 21	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4				
14 11 22	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	18.00	4				
14 11 26	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	21.00	7				
14 11 27	Apoyo a las funciones del laboratorio	14.00	16.00	2				
<b>TOTAL HORAS</b>								192

Firma Estudiante  
  
 Nombre y firma Laborantista  
 Ruben Fomnegra

Firma Profesor Asesor  
  
 Nombre y firma Profesor Universitario - Centro de Laboratorios y Líder del Grupo de Investigación

Ruben Fomnegra



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ANEXO D – Otros.

- Lista de figuras.

Fig. 1. Curva de respuesta al escalón para sistemas de primer orden	15
Fig. 2. Curva de respuesta al escalón para sistemas de segundo orden en función de la constante de amortiguamiento	17
Fig. 3. Forma de aplicar el escalón para obtener la curva de reacción.	18
Fig. 4. Curva de reacción para el modelo de primer orden con retardo.	20
Fig. 5. Planta de control de nivel de líquidos.	26
Fig. 6. Modificación del valor manual desde la pantalla HMI.	29
Fig. 7. Gráfica de la respuesta transitoria en lazo abierto.	30
Fig. 8. Gráfica del sistema en respuesta al escalón unitario.	32
Fig. 9. Diagrama de bloques de la planta en lazo cerrado.	33
Fig. 10. Diagrama de bode del sistema en lazo cerrado.	34
Fig. 11. Diagrama de bloques de la función continua contra la función discreta.	36
Fig. 12. Grafica de la función continua contra la función discreta en respuesta al escalón unitario.	37
Fig. 13. Ventana del administrador del SIMATIC Manager.	39
Fig. 14. Ventana del HW Config del administrador SIMATIC Manager.	40
Fig. 15. Modificación de la interrupción por alarma cíclica del bloque OB35.	41
Fig. 16. Gráfica del nivel al sintonizar el controlador PI por el criterio de Ziegler-Nichols.	46
Fig. 17. Gráfica del nivel al sintonizar el controlador PID utilizando el criterio de Cohen-Coon.	47

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Lista de tablas.

TABLA I.	Ajustes Ziegler-Nichols.	23
TABLA II.	Ajustes Cohen-Coon.	24
TABLA III.	Cronograma de actividades.	44

