

“Diseño y Simulación del Control del Proceso de Tratamiento y Sistema de Presión Constante de la Línea de Distribución de agua de una fábrica de bebidas gaseosas”

Andrés Galarza ⁽¹⁾, Benito Díaz ⁽²⁾, Efrén Herrera ⁽³⁾

Facultada de Ingeniería Eléctrica y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

ggalarza@espol.edu.ec ⁽¹⁾, bdiaz@espol.edu.ec ⁽²⁾, eherrera@espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

El presente proyecto presenta como objetivo principal el diseño eléctrico de fuerza y control del proceso de tratamiento de agua, el dimensionamiento de los equipos, y concentra su enfoque en el diseño eléctrico del sistema de presión constante de la línea de distribución de agua de la fábrica. Como antecedente, los diversos procesos de la planta se han visto afectados por el creciente consumo de agua, ocasionando la pérdida de presión de trabajo necesaria para la correcta operación de las líneas de producción. Para cumplir con el objetivo se utilizará un PLC con sus respectivos módulos entradas/salidas digitales y análogos, cinco variadores de frecuencia que comanden los motores de las bombas, una HMI que nos permita monitorear y modificar los parámetros de control y variables del sistema y la implementación de una red de comunicación profinet. Finalmente, con el diseño propuesto se espera contribuir a mejorar la estabilidad, reducción de tiempos improductivos y a la disminución de pérdidas de producción debido a paros imprevistos.

Palabras Claves: Sistema de Presión Constante, PLC, Variadores de Frecuencia, HMI, Profinet.

Abstract

This project has as its main objective the electrical design of power and control of water treatment process, the sizing of the equipment, and concentrates its focus on the electrical design of the system of constant pressure water line from the factory. As antecedent, the various factory processes have been affected by the growing consumption of water, causing the loss of operating pressure necessary for the correct operation of production lines. To meet the objective will be used a PLC with their respective modules inputs / outputs and analog, five frequency converters that operate pump motors, an HMI that allows us to monitor, modify the control parameters, system variables and implementation of a profinet communication network. Finally, the proposed design is expected helps to improve stability, reduced downtime and reduced production losses due to unplanned shutdowns.

Keywords: Constant Pressure System, PLC, Variable Frequency Drive, HMI, Profinet.

1. Introducción

A medida que crece la demanda o producción de un proceso los sistemas necesitan ser repotenciados total o parcialmente para cumplir con las necesidades de la producción. En este caso una de las fábricas de bebidas gaseosas del país ha aumentado el número de máquinas en su línea de producción incurriendo en el incremento de la demanda de agua para sus procesos, los cuales necesitan tener una presión de agua constante para que las máquinas funcionen correctamente.

Para soportar este requerimiento la empresa ha repotenciado la línea de distribución de agua con la incorporación de nuevos equipos y una nueva línea de filtrado. Por lo antes mencionado el proyecto que se presenta propone el diseño eléctrico del proceso de

tratamiento y sistema de presión constante de la línea de distribución principal de agua.

2. Generalidades

Actualmente la planta de tratamiento de agua está conformada por un Tanque Cisterna, el cual almacena el agua suministrada por la red pública, (5) bombas de 4 Hp que envían el agua hacia un Tanque Reactor al cual se le inyectan químicos tales como cal y cloro. Los flóculos biológicos presentes en el agua se sedimentan al fondo del Tanque Reactor y el agua se suministra por rebose hacia un tanque de equilibrio. En el tanque reactor intervienen un agitador de 3 Hp, una bomba dosificadora de cal de 1.5 Hp y una bomba dosificadora de cloro de 1 Hp. Posteriormente tres bombas de 10 Hp distribuyen el líquido hacia la etapa de filtración. Estas bombas son comandadas por

variadores de frecuencia con el propósito de regular la presión del sistema variando su velocidad. Finalmente el agua llega al manifold de distribución principal en donde se toma medida de la presión requerida por el sistema. Esta lectura es enviada al PLC de control para realizar la respectiva regulación de la presión demandada.

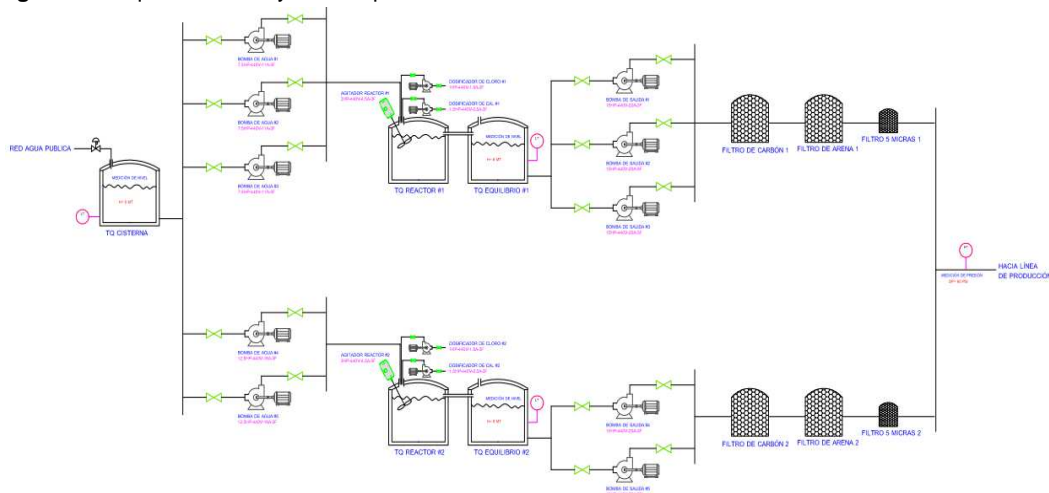
2.1 Problemática Actual

Como las máquinas envasadoras necesitan de cierta presión de trabajo para su correcto funcionamiento y al existir una elevada demanda de agua por la repotenciación de los diversos procesos de planta la presión de agua del sistema de distribución se ha visto disminuida provocando tiempos muertos y pérdidas de producción. Por otro lado los equipos de control han perdido fiabilidad y sus componentes en su mayoría presentan averías por su mal estado y por su largo tiempo de operación.

2.2 Proyecto Propuesto

Ya que el sistema ha sido repotenciado con la adición de una nueva línea de tratamiento de agua paralela a la actual, se ha propuesto la modificación del sistema de control de presión constante vigente con la finalidad de mantener la presión constante en todos los puntos de demanda. La nueva línea incorpora un nuevo tanque reactor, tanque de equilibrio, sistema de filtrado, dos motores de entrada de 12.5 Hp y dos motores de salida de 15 Hp. Por otro lado, la línea 1 sustituye sus cuatro motores de entrada de 4 Hp por tres motores de 7.5 Hp, y sus 3 motores de salida de 10 Hp han sido cambiados por 3 motores de 15 Hp. Véase figura 2.

Figura 2. Esquema del Proyecto Propuesto



El proyecto se enfoca en el control del sistema de presión constante cuyos componentes principales lo conforman las cinco bombas de agua a la salida de los tranques de equilibrio. El nuevo tablero eléctrico incorpora un PLC de mayor prestación, una HMI para la visualización y parametrización de los parámetros del sistema. Por medio del PLC se establecerá un lazo de control PID para manejar los variadores de frecuencia y regular su velocidad. La variable de retroalimentación proviene del transmisor de presión instalado en el manifold de distribución principal.

3. Sistemas de Presión Constante

Son aquellos sistemas que son desarrollados a base de bombeo a velocidad variable, que suministran agua a presión constante ante cualquier demanda de caudal. Esto se logra modificando la velocidad de las bombas a través de un control realimentado de la presión de salida.

4. Controladores PID

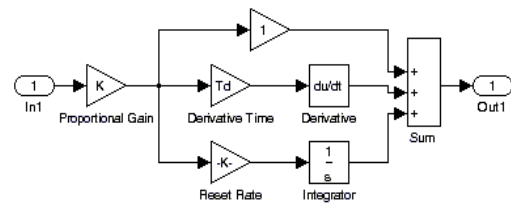


Figura 1. Esquema de un bloque PID

El controlador PID (Proporcional, Integral y derivativo) es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero de manera asintótica en el tiempo. El diagrama de bloques de un controlador PID se lo muestra en la figura 1.

4.1 Acciones de Control

El controlador PID está conformado por las siguientes acciones de control:

4.1.1. Acción Proporcional. La acción de control da una señal de salida que es proporcional al error, donde K_p es una ganancia proporcional ajustable tal como puede verse en (4.1). La señal $u(t)$ tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error $e(t)$ es cero. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente.

$$u(t) = K_p * e(t) \quad (4.1)$$

4.1.2. Acción Integral. La función principal de la acción integral es asegurar que la salida del proceso concuerde con la diferencia de estado estacionario. La salida del controlador es proporcional al error acumulado por lo tanto es un modo de control lento y proporciona una corrección para compensar las perturbaciones y mantener la variable controlada en el punto de consigna. Véase (4.2)

$$u(t) = \frac{K_p}{T_i} * \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (4.2)$$

4.1.2. Acción Derivativa. Tiene el carácter de previsión por lo que la acción de control sea más rápida, aunque tiene la desventaja porque amplifica la señal de ruido y puede provocar saturación en el controlador. Véase (4.3)

$$u(t) = K_p * T_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (4.3)$$

5. Dimensionamiento y Selección de equipos

Las características técnicas de los equipos de instrumentación y control para la automatización del proceso varían limitadamente entre fabricantes, pero se debe asegurar el cumplimiento de al menos los siguientes criterios:

- Poseer una arquitectura abierta
- No obsolescencia temprana del producto
- Escalabilidad

5.1 Equipos de Control

Entre los equipos de control considerados para el proyecto tenemos los siguientes:

5.1.1. PLC. Para el dimensionamiento del controlador Lógico Programable se consideró la cantidad de entradas/salidas digitales y analógicas, tamaño de memoria de programa, puertos de comunicación incorporado, características de entradas y salidas, voltaje de alimentación. Los equipos seleccionados fueron los siguientes:

- CPU 1214C, alimentación: 110/220 VAC, 14 entradas digitales a 24 VDC, 10 salidas digitales tipo relé, 2 entradas analógicas de 0-10 VDC, memoria de programa de 75 KB, puerto de comunicación Profinet incorporado, Ref.: **6ES7214-1BG31-0XB0**. Véase figura 3.



Figura 3. CPU 1214C, SIEMENS

- Módulo de Entradas Digitales SM1221, 16 entradas digitales a 24 VDC, PNP/NPN, Ref.: **6ES7221-1BH32-0XB0**. Véase figura 4.



Figura 4. SM1221, SIEMENS

- Módulo de Salidas Digitales SM1222, 8 salidas a relé, Ref.: **6ES7222-1HF32-0XB0**
- Módulo de Salidas Analógicas SM1231, 4x13 bits V/mA, Ref.: **6ES7231-1HD32-0XB0**

5.1.2. HMI. Para una aplicación básica como la requerida donde solo se requiere monitorear tanto alarmas, estados, variables de campo se ha escogido una HMI con una pantalla STN 256 colores, de 5.7", táctil con 4 teclas de función, con interfaz profinet incorporada.. Ref.: **6AV6647-0AD11-3AX0**. Véase figura 5.



Figura 5. HMI KTP600 PN, SIEMENS

5.2 Equipos de Instrumentación

Para la medición de presión de la salida del manifold de distribución principal de agua y para la medición indirecta del nivel de los tanques por medio se ha considerado el siguiente equipo:

5.2.1. Transmisor de Presión Manométrico. Para la medición de presión de agua se ha escogido un transmisor de presión con un rango de 0-10 bar y para la medición indirecta de nivel de los tanques se ha escogido un transmisor con un rango de 0-1 bar. Las referencias de estos equipos son: **PFT-SRB1X0SG1SSAAMSSZ** y **PFT-SRB010SG1SSAAMSSZ** respectivamente.

Entre las características del transmisor tenemos: Señal de salida de 4-20 mA a 2 hilos, temperatura de proceso en el rango de -30°C.....+70°C, zero y span ajustable, precisión ± 0.5 , voltaje de alimentación de 10-30 VDC y conexión en el proceso de G ¼ macho. Véase figura 6.



Figura 6. Transmisor de Presión PFT, SICK

5.3 Equipos de Accionamiento de motores

Los arrancadores considerados son: arranque directo, arranque por soft starter y arranque por variador de velocidad.

5.3.1. Arrancadores Directos. Para el cálculo de la corriente que nos permita dimensionar los elementos para el arrancador directo como lo son: Guardamotor, contactor, se hizo uso de (5.1) y (5.2). Los motores considerados para este tipo de arranque fueron para las 3 bombas de entrada de 7.5 Hp de la línea 1, los agitadores de 3 Hp de tanque reactor 1 y 2, dosificadores de cloro de 1 Hp de tanque reactor 1 y 2, dosificadores de cal de 1.5 Hp de tanque reactor 1 y 2.

$$I_{\text{GUARDAMOTOR}} = 1,25 * I_n \quad (5.1)$$

$$I_{\text{CONTACTOR}} = 1,3 * I_n \quad (5.2)$$

5.3.2. Arrancadores por Soft Starter. Este tipo de arrancador se lo considero para los motores de 12.5 Hp de las bombas de entrada de la línea 2. Para su dimensionamiento se consideró el nivel de voltaje de la red, la potencia requerida, la intensidad de consumo, tipo de aplicación y condiciones ambientales. Para el cálculo de la corriente para el dimensionamiento de los fusibles y contactor se consideró a (5.2) y (5.3) respectivamente.

$$I_{\text{FUSIBLE}} = 1,7 * I_n \quad (5.3)$$

5.3.3. Arrancadores por Variadores de Frecuencia. Este tipo de arrancador se lo considero para los 5 motores de 15 Hp que comandan las bombas de suministro de agua al manifold de distribución principal.. Para su dimensionamiento se consideró el nivel de voltaje de la red, la potencia requerida, la intensidad de consumo, tipo de aplicación y condiciones ambientales. Además se consideró que su módulo de control puertos de profinet incorporado para facilitar el montaje de una red con el PLC Para el cálculo de la corriente para el dimensionamiento de los fusibles y contactor se consideró a (5.3) y (5.4) respectivamente.

$$I_{\text{Breaker}} = 1,5 * I_n \quad (5.4)$$

5.4 Acometidas Eléctricas

Para su dimensionamiento debemos considerar lo siguiente:

- Tipo de conductor según condiciones ambientales
- Sección adecuada según intensidad a transportar

Para el cálculo del conductor se consideró utilizar (5.5) y para el cálculo de la caída de tensión (5.6)

$$I_{\text{conductor}} = 1,25 * I_n \quad (5.5)$$

$$\Delta V = R_{ac} * L * I_{\text{conductor}} \quad (5.6)$$

Dónde: (I_n) es la corriente nominal del motor, (ΔV) es el porcentaje de caída de tensión < 3%, (R_{ac}) es la resistencia en corriente alterna del conductor y (L) es la longitud del conductor.

A continuación se detalla un resumen de los equipos utilizados para el accionamiento de los motores tal como se muestra en la tabla 1.

6. Programación

6.1 Programación de PLC

El programa fue escrito en lenguaje escalera o lenguaje KOP en varios bloques de organización OB en donde se ejecutan las instrucciones para el control del arranque de los motores, control de llenado de tanques y control de presión constante. Para el control de presión constante se aprovechó la función tecnológica de Control PID que incluye el panel de sintonía el mismo que permitió el cálculo automático de los valores óptimos de ganancia, tiempo integral y tiempo derivativo. Además esta herramienta permite mostrar los resultados gráficamente, condiciones de error o avisos y aplica los valores encontrados. Todo esto fue posible en el software TIA PORTAL de siemens. Véase figura 7.

Tabla 1. Listado de equipos

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	MLFB	MARCA
Breaker 3P(250-315)A.30kA@440VAC	1	PZA	3VL4731-1DC36-0AA0	SIEMENS
Guardamotor (11-16)A.1NA+1NC	3	PZA	3RV2011-4AA10	SIEMENS
Guardamotor (4.5-6.3)A.1NA+1NC	2	PZA	3RV2011-1GA10	SIEMENS
Guardamotor (1.8-2.5)A.1NA+1NC	2	PZA	3RV2011-1CA10	SIEMENS
Guardamotor (2.8-4)A.1NA+1NC	2	PZA	3RV2011-1EA10	SIEMENS
Guardamotor (30-36)A.1NA+1NC	5	PZA	3RV2021-4PA10	SIEMENS
Contactador 16 A AC3.1NA+1NC	3	PZA	3RT2025-1AG20	SIEMENS
Contactador 7 A AC3.1NA+1NC	6	PZA	3RT2015-1AF01	SIEMENS
Contactador 25 A AC3.1NA+1NC	2	PZA	3RT2026-1AG20	SIEMENS
Seccionador p/fusibles NH-1. 160 A	7	PZA	3NP4270-0CA01	SIEMENS
Fusibles ultrarrápidos 32 A.NH-1	21	PZA	3NE4201	SIEMENS
Arrancador Suave 3RW40.25A/440VAC	2	PZA	3RW4026-1BB14	SIEMENS
Reactancia Trifásica p/15 Hp-440V	5	PZA	6SL3203-0CD23-5AA0	SIEMENS
Módulo de Potencia PM240 15HP.25A	5	PZA	6SL3224-0BE27-5UA0	SIEMENS
Unidad de Control CU 240 E-2PN	5	PZA	6SL3244-0BB12-1FA0	SIEMENS
BOP-2 Panel de Operador	5	PZA	6SL3255-0AA00-4CA1	SIEMENS
Cable para Comunicación Profinet	15	MT	6XV1840-2AH10	SIEMENS
Conector RJ45 metálico Profinet	14	PZA	6GK1901-1BB10-2AA0	SIEMENS

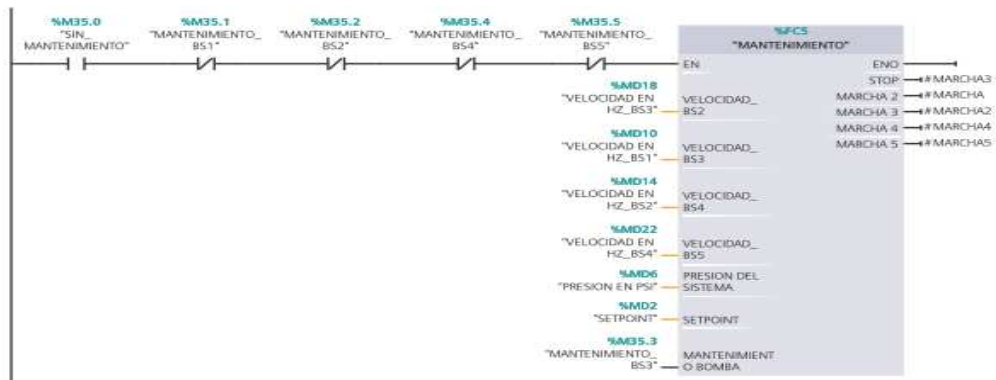


Figura 7. Líneas de programación en lenguaje escalar

6.2 Programación de HMI

El diseño de las pantallas de la HMI fue realizado basado en las necesidades de los operadores en donde es posible monitorear los niveles de los tanques, las variables eléctricas de los motores, setpoint de presión del sistema, realizar el encendido manual o automático de los motores, modificar parámetros de control, etc., tal como puede verse en las figuras 8 y 9 respectivamente.

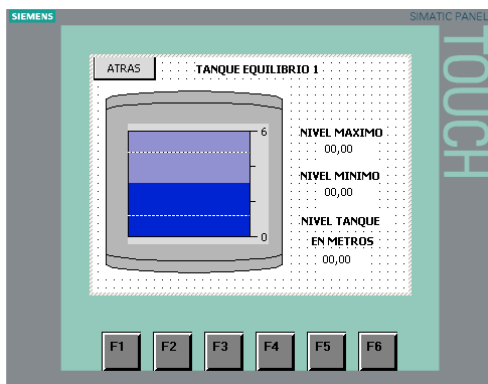


Figura 8. Monitoreo nivel de tanques



Figura 9. Control de encendido de bombas

7. Simulación

Para realizar el proceso de simulación del proceso se utilizó dos variadores de frecuencia Sinamics G120, 1 PLC S71200 CPU214, una HMI KTP600 PN en una red profinet y dos motores los cuales simulaban la acción de las bombas del sistema. Por medio de la pantalla HMI se realizó el autotuning del PID de las bombas para obtener los parámetros de control del proceso y mediante un potenciómetro digital se simuló la acción de la variable de retroalimentación. Se pudo observar el comportamiento de los variadores de frecuencia ante los cambios de alta y baja demanda de presión. Ante la demanda de presión del sistema uno de los variadores regula la presión por medio de la variación de la velocidad de rotación hasta llegar a su velocidad máxima, y si aún no se ha alcanzado el setpoint el segundo variador de velocidad entra en acción para ser el quien comande la regulación hasta alcanzar el valor deseado. Al alcanzar el valor deseado o ante una demanda baja de presión del sistema el ultimo variador de frecuencia mantiene su regulación hasta alcanzar su velocidad mínima de operación y su posterior apagado. El siguiente variador de igual forma regula su velocidad hasta alcanzar la velocidad mínima y apagarse. Véase figura 10.

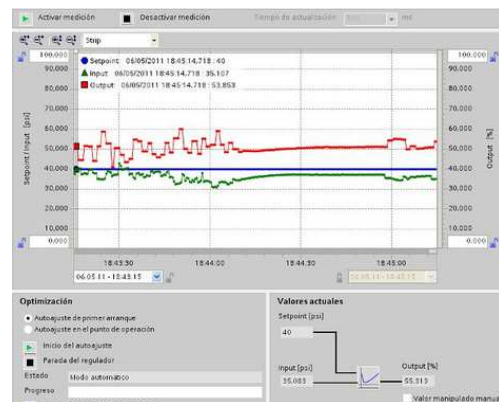


Figura 10. Panel de sintonía

8. Conclusiones

- Se concluye que mediante el diseño propuesto del sistema de control de presión constante mejorara la eficiencia de los procesos de planta ya que cuentan con un control mucho más estable, que permite mantener constante la presión de agua en el sistema de distribución logrando la continua operación de las máquinas y la disminución de paros de producción.
- Por medio del regulador PID integrado en el software de programación es posible la puesta en marcha rápida y sencilla del proceso ya que por medio del autotuning se pueden obtener los parámetros de regulación óptimos para el controlador PID
- Actualmente las potentes herramientas de software y hardware nos brindan una gran ventaja en el diseño y análisis de sistemas de control, característica inherente del PLC aprovechada para el modelado, diseño e implementación de los lazos de control que rigen el programa que controla el sistema de presión constante.

11. Referencias

- [1] Morilla García, Fernando, “Controladores PID”, <http://www.dia.uned.es/~fmorilla/MaterialDidactico/El%20controlador%20PID.pdf>, fecha de publicación enero 2007.
- [2] Mazzone, Virgilia, “Controladores PID”, <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>, fecha de publicación marzo 2002.
- [3] Universidad de León de México, “El controlador PID básico”, <http://ira.unileon.es/es/book/export/html/268>, fecha de consulta agosto 2013
- [4] Redrejo, José, “Diseño de sistemas de regulación y control”, http://infoplcn.net/files/documentacion/control_procesos/infoPLC_net_ControlPID.pdf, fecha de consulta agosto 2013.
- [5] Universidad Nacional de Tucuman de Argentina , “Diseño de sistemas de regulación y control”, <http://www.herrera.unt.edu.ar/controldeprocesos/>, fecha de consulta junio 2013.
- [6] Sistemas Hidroneumáticos S.A, “Manual de procedimiento para el cálculo y selección de sistemas de bombeo

<http://www.sishica.com/sishica/download/Manual.pdf>, fecha de consulta mayo 2013.

- [7] SIEMENS INDUSTRY, “SIMATIC WinCC (TIA PORTAL)-INTERACTION”, [“http://www.industry.siemens.com/topics/global/es/tia-portal/hmi-sw-tia-portal/wincc-tia-portal-es/interaccion/pages/default.aspx](http://www.industry.siemens.com/topics/global/es/tia-portal/hmi-sw-tia-portal/wincc-tia-portal-es/interaccion/pages/default.aspx), fecha de consulta agosto 2013.
- [8] Angulo Bahón, Cecilio, Raya Giner, Cristóbal, “Tecnologías de sistemas de control”, Universidad Politécnica de Catalunya, 2004.