

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL EN RED CON
RESPUESTA PREDICTIVA BASADA EN LA FUNCIÓN DE LA PLANTA**

**IMPLEMENTATION OF A NETWORKED CONTROL SYSTEM WITH
PREDICTIVE RESPONSE BASED ON THE PLANT FUNCTION**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE REDE COM
RESPOSTA PREDITIVA BASEADA NA FUNÇÃO DA PLANTA**

Ing. Paul Agustin Bonilla Agualongo.¹
Instituto Tecnológico Superior Tsa' Chila.
paulbonilla@tsachila.edu.ec

Fecha de recepción: 07/mayo/2020
Fecha de aceptación: 22/mayo/2020
Fecha de publicación: 08/junio/2020

ISSN:2600–5557/volumen 3/ Número 1/junio-2020/pp.92- 104

Como citar:

Bonilla, P. (2020)., 2020. Implementación de un sistema de control en red con respuesta predictiva basada en la función de la planta. Revista de Investigación Científica TSE' DE, 3(1),92-104

¹ Ingeniero electrónico con mención en Sistemas Industriales, en la Universidad Politécnica Salesiana. Docente del Instituto Superior Tecnológico Tsa' chila en la carrera de Tecnología Superior en Electrónico. Cursando el Master en Industria 4.0 en la UNIR.

Resumen

Un sistema de control red se caracteriza por usar un único medio para comunicarse con todos los elementos de campo y cerrar los diferentes bucles en un sistema de control a lazo cerrado. Para el caso de estudio, en una planta se implementa un algoritmo de control PID, sin embargo, al trabajar con redes de información basados en el Protocolo TCP/IP, éstos presentan retardos que comprometen la acción del controlador. En consecuencia, el tiempo de muestreo se vuelve asíncrono entorpeciendo la respuesta del actuador, por lo tanto, para compensar la ausencia de información se programa la función de transferencia de la planta que se activa para predecir el posible comportamiento del sistema que permita compensar la acción de control a ejecutar.

Palabras Claves: Sistemas de control en red; Función de transferencia; Predecir.

Abstract

A network control system is characterized by using a single means to communicate with all the field elements and close the different loops in a closed-loop control system. For the case study, a PID control algorithm is implemented in a plant, however when working with information networks based on the TCP / IP Protocol, these present delays that compromise the action of the controller. Consequently, the sampling time becomes asynchronous, hindering the response of the actuator, therefore, to compensate for the absence of information, the transfer function of the plant is programmed, which is activated to predict the possible behavior of the system that allows compensating the action of control to execute.

Keywords: Network control systems; Transfer function; Predict

Resumo

Um sistema de controle de rede é caracterizado por usar um único meio para se comunicar com todos os elementos de campo e fechar os diferentes loops em um sistema de controle de circuito fechado. Para o estudo de caso, um algoritmo de controle PID é implementado em uma planta, porém, quando se trabalha com redes de informação baseadas no protocolo TCP / IP, estas apresentam atrasos que comprometem a ação do controlador. Consequentemente, o tempo de amostragem torna-se assíncrono, dificultando a resposta do atuador, portanto, para compensar a ausência de informação, é programada a função de transferência da planta, que é ativada para prever o possível comportamento do sistema que permite compensar a ação. controle para executar.

Keywords: Sistemas de controle de rede; Função de transferência; Prever.

Introducción

La industria ha evolucionado acorde a las necesidades de nuevas eras con un mercado que exige sus productos de forma acelerada, múltiples procesos deben ser monitorizados y controlados continuamente para garantizar la mayor calidad de los artículos de venta. Varios elementos distribuidos por la planta no trabajan de manera aislada, las redes industriales surgieron como una solución para comunicarlos (Martinez & Guerrero, 2009).

En la industria se reconocen 2 redes que existen en la pirámide de automatización: las redes de información que se basan en el protocolo de comunicación TCP/IP y las redes industriales basadas en protocolos industriales. El principal problema de las redes industriales es tener un protocolo y cableado dedicados para los niveles más bajos de la pirámide de automatización. En las redes de información el tiempo de muestreo es no determinístico, es decir, la transferencia de información es aleatoria, no existe alguna garantía de que exista un periodo de tiempo constante para la transferencia de datos. Las redes de información no cierran el lazo cerrado de control, pero se usan para la monitorización de diferentes variables y parámetros de medición de un sistema, el algoritmo de control normalmente es local para no comprometer el tiempo de estabilidad del sistema. (F, Moyne, & Tilbury, 2001)

Los sistemas de control en red (NCS – por sus siglas en ingles Network Control Systems) basadas en redes de información, se caracterizan por usar un único medio para comunicarse con todos los elementos de campo. El principal inconveniente son los retardos propios de la red que entorpecen la acción de control. (Guinaldo, Sanchez, & Dormido, 2017)

Las soluciones que se aplican a los diferentes sistemas de control dependen de la sensibilidad de la variable de interés ante una respuesta, cada proceso posee

características particulares que deben de ser consideradas para una acción óptima de un controlador que trabaja con retardos. (Casanova, 2005).

Otra solución de gran relevancia es los sistemas de control por eventos que se basa en la evolución dinámica del sistema para realizar una acción de control, en los sistemas convencionales el avance del tiempo define las acciones de procesamiento y comunicación. Los múltiples beneficios que se obtienen de control por eventos son básicamente la liberación de carga innecesaria de trabajo para el controlador y red ya que solo es necesario realizar una respuesta bajo ciertos parámetros del sistema y no del tiempo. (S.Dormido, J.Sánchez, & E.Kofman, 2008). Muchos investigadores han propuesto diferentes tipos de soluciones que pueden reducir el efecto de los retardos aleatorios en la comunicación como:

Algoritmos de control no lineales de dos entradas y dos salidas para NCS con retrasos de tiempo aleatorios no gaussianos, donde se investiga una regresión automática no lineal general. La media móvil con modelo exógeno se utiliza para describir la planta. (Bogdan, Wilamowski, & Irwin, 2016)

Estrategia de control tolerante a fallas basada en la función de compensación de red neuronal de función de base radial para una clase de sistema de control en red con retardo de tiempo aleatorio. (Chuan, Yifei, & Qingwei, 2011).

Sistema de control en red no lineal basado en el control FNN (red neuronal difusa) que se utiliza para resolver problemas de retardos de red en vista de que los sistemas no lineales a menudo están involucrados en incertidumbres, arquitectura compleja y dificultad para modelar y simular en condiciones de red. Basado en el modelado modularizado TPCS de Matlab / Simulink (Feng, Da-I, & Ding, 2009).

El presente proyecto plantea establecer conocimiento práctico y teórico para la aplicación de redes de información en sistemas de control. Se implementa un

sistema de control PID que compensa la ausencia de información con la respuesta que genera la función de transferencia de la planta. Varios autores presentan soluciones novedosas, sin embargo, solo realizan simulaciones. Se implementa 2 nodos en la red como cliente y servidor. En el servidor se programa el algoritmo de control PID que recibe el valor del sensor y genera una respuesta para el actuador, el cliente está conectado directamente al sensor y actuador en la planta. Cuando no existe información el controlador activa la función de transferencia para intuir el posible comportamiento de la planta. Con los resultados obtenidos se puede valorar la eficiencia del algoritmo predictivo basado en la función de transferencia de la planta.

Importancia del Problema

El interés de desarrollar tecnologías en NCS es por los múltiples beneficios que se obtienen:

- Las redes de información no han sido explotadas en todo su potencial, la conexión de dispositivos físicos a la red se presenta como una nueva alternativa de comunicación en sistemas de control. Los protocolos industriales presentan múltiples ventajas, pero sus elevados costos representan un gran problema para pequeñas y medianas industrias.
- Los NCS presentan una gran adaptabilidad y escalabilidad por tener un protocolo general para los diferentes dispositivos del sistema, el ingreso a la red es ágil y rápido sin configuraciones complicadas.
- Los NCS tienen un cableado general lo que representan una reducción en costos y espacio, la red también posee la capacidad inalámbrica facilitando la movilidad, conectividad y funcionalidad de los diferentes elementos de campo.

Metodología

La presente investigación se basa en el método experimental. Se utiliza varias estrategias para la recolección y posterior análisis de datos.

Diseño del sistema

Se explica las diferentes características del nodo cliente y servidor. Se detalla el proceso PID, los elementos de campo y la arquitectura de la red.

Desarrollo del prototipo

Se explica el funcionamiento de los nodos cliente y servidor. La gestión de información entre los elementos del sistema de control a lazo cerrado, como se activa la función de transferencia para compensar los retardos de la red

Recolección de información

Por medio de la aplicación PLX-DAQ se puede enviar diferentes valores del sistema a una hoja de datos en EXCEL para su posterior valoración.

Análisis y valoración de Resultados

Se analiza la estabilidad del sistema al activarse la función de transferencia, el tiempo de retardo al que es sometido la red.

Desarrollo el sistema

Para el desarrollo de los diferentes elementos de la red se usa las tarjetas Arduino, su fácil programación y flexibilidad para trabajar la convierten en una herramienta que gestionan la comunicación y control del sistema (BricoGeek, 2019). Para el servidor se usa Arduino Ethernet y para el cliente Dragino YUN.

El cliente realiza peticiones al servidor, como respuesta obtienen ciertas acciones de control o información del sistema. Por medio del protocolo Http (Petición-respuesta) se envían información etiquetada del sensor y actuador. El servidor genera una respuesta por medio del algoritmo de control PID y la envía al cliente.

El servidor está conectado vía USB a una computadora para registrar diferentes valores en una hoja de EXCEL por medio de la aplicación PLX-DAQ.

Proceso PID en la planta

Para el control PID implementado en el cliente, se analiza el error del sistema (diferencia entre el valor de referencia y el valor medido por el sensor). El servidor genera el resultado del PID que se obtiene de la suma la variable proporcional, integral y derivativa. También a cada componente se multiplica por su respectivo coeficiente k_p , k_i , k_d . Para equilibrar el sistema es necesario establecer los valores de los coeficientes, caso contrario, la variable medida nunca llegara al valor de referencia. Se determinan el valor de los coeficientes por el método de prueba y error. La planta PID trabaja con el sistema Ball and Beam que consiste en una riel con un sensor para detectar la posición de una pelota, en un extremo del eje de la transmisión se encuentra el servomotor, el algoritmo se encarga de calcular el ángulo para posicionar la pelotita en el valor de $sp=15\text{cm}$ ante cualquier perturbación.

Configuración de la red

Para configurar Arduino Ethernet como servidor se deben incluir las librerías SPI y Ethernet, se configura la dirección MAC y dirección IP fija. También se configura la página Web donde se presenta el resultado del PID. Dragino Yun obtiene su dirección IP por medio del protocolo DHCP. Crear una petición en Dragino YUN es relativamente fácil, simplemente se debe usar el comando `client.get(mensaje)`, la variable mensaje es de tipo String, esta variable es la URL donde va la dirección del servidor y el puerto donde se creó los parámetros de proceso establecidos en el servidor. En la petición que realiza el cliente se ubica la dirección y el puerto correspondiente. Además de eso se indexan los valores de distancia de la pelota

sobre el riel. El servidor responde la solicitud el cliente enviando una respuesta donde van indexados el resulta del PID para el actuador.

PLX-DAQ

Para analizar el funcionamiento del sistema de control es necesario visualizar el valor de las variables medidas. La herramienta PLX-DAQ se incorpora en el servidor para visualizar las diferentes variables de interés del proceso PID, el valor de sensor y actuador poseen unas etiquetas que son reconocidas por el servidor. Separados los valores del mensaje total del cliente, son enviados a una hoja de Excel para realizar un análisis y valoración del algoritmo de control.

Función de Transferencia Planta PID.

Para determinar la función de Transferencia del sistema se utiliza la herramienta matemática MATLAB función Ident, adicional, se toman los datos obtenidos por la medición de los sensores instalados en la planta de control PID local (el algoritmo de control está programado en el cliente para obtener la función de transferencia), los datos que se necesitan son los valores del ángulo y la posición con las que se busca equilibrar el sistema. La función de transferencia obtenida por MATLAB esta expresada en transformada z del modelo de la planta de control PID. Finalmente, la ecuación que se obtiene es el modelo dinámico de la planta de control PID.

Función de transferencia PID durante la ausencia de información.

La función de transferencia obtenida en el PID local ahora es programada en el servidor. Durante la ausencia de información el algoritmo de control PID toma los posibles valores de la función de transferencia.

Resultados

Se analizan los datos obtenidos por PLX-DAQ, en el sistema PID se trabajaron con diferentes valores para los coeficientes K_p , K_i , K_d , pero al no contar algún algoritmo de compensación no se equilibra el sistema. La variable medida cambia drásticamente por la respuesta del actuador, tal como lo indica en el anexo el gráfico 1.

Se incorpora la función de transferencia obtenida por la función `ident` en el servidor implementado en Arduino, tal como lo indica en el anexo el gráfico 2.

Se incorpora la función de transferencia de la planta que intuye el comportamiento del sistema, se puede apreciar que la variable medida cambia paulatinamente. El sistema se equilibra a los 5400ms, tal como lo indica en el anexo el gráfico 3. Los coeficientes del PID son: $k_p=3$, $K_d=1.45$ y $K_i=0.02$.

Adicional se incorporó otro contador que permite conocer cada que tiempo se actualiza la información entre cliente y servidor. Este contador determina el retardo de la red. El tiempo máximo de retardo es 178ms, el tiempo mínimo de retardo es 89ms. El valor promedio del retardo es 116.54 ms, tal como lo indica en el anexo el gráfico 4.

Discusión

Es necesario analizar al sistema con las siguientes variables: tiempo de muestreo asíncrono (retardo de la red), tiempo de estabilidad y efecto de la compensación por la función de transferencia de la planta que se activa durante la ausencia de información.

Al analizar las gráficas del anexo 1, el sistema sin la función de transferencia de la planta, nunca se equilibra. A pesar de tratar de sintonizar los coeficientes del PID con diferentes valores. El tiempo para estabilizar el sistema no existe. Con un retardo en la red promedio de 116.54ms, es suficiente para deteriorar el proceso de

control. Bajo estas características se considera un sistema volátil, es decir, que la variable medida cambia drásticamente en pequeños lapsos de tiempo.

Al analizar la gráfica del anexo 3, el sistema se equilibra cuando los coeficientes son: $k_p=3$, $K_d=1.45$ y $K_i=0.02$. La función de transferencia ingresa valores al algoritmo PID durante 116.54ms (valor promedio de retardo de la red). Bajo estas condiciones el sistema se equilibra en 5.4s.

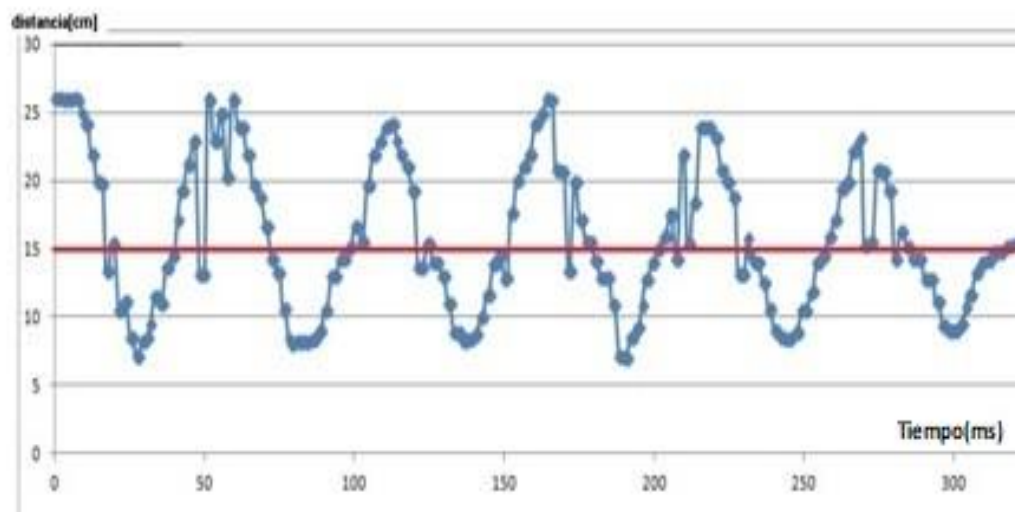
Conclusiones

Para el desarrollo de la presente investigación se implementó NCS que activa la función de transferencia de la planta para compensar la ausencia de información. Debido a los retardos propios de la red, el equilibrio del sistema se ve comprometido. La respuesta del actuador es muy abrupta o cambia radicalmente por la pérdida de información. El PID trabaja con los datos enviados por la planta, hasta que se actualice la información, la función de transferencia se activa estimando el posible comportamiento de la planta. La respuesta que se genera permite equilibrar al sistema.

Este proyecto está trabajando con procesos de control asíncronos. Se estima el tiempo promedio de retardo de la red, sin embargo, el tiempo máximo de retardo es de 178ms. Al implementar otros nodos en la red, el retardo de la red se va a incrementar. En un sistema industrial existen cientos de sensores y actuadores conector a diferentes controladores. Posiblemente se necesite de algoritmos de auto-sintonización para los coeficientes en función de los retardos.

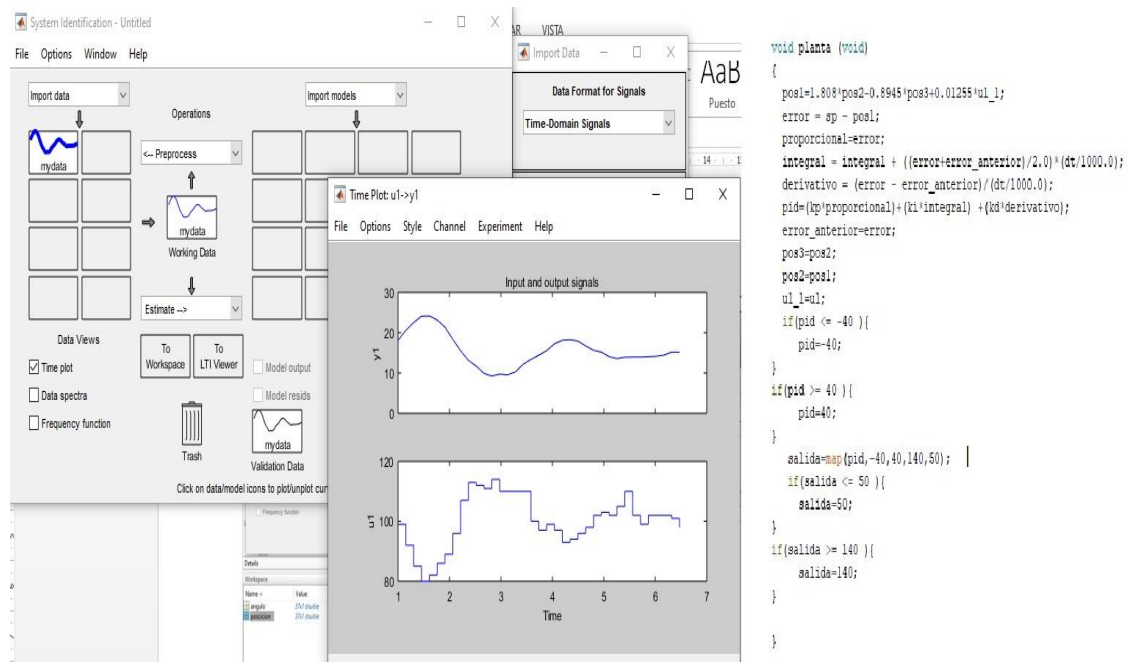
Anexos

Grafico 1. Sistema PID sin repuesta predictiva por la función de transferencia



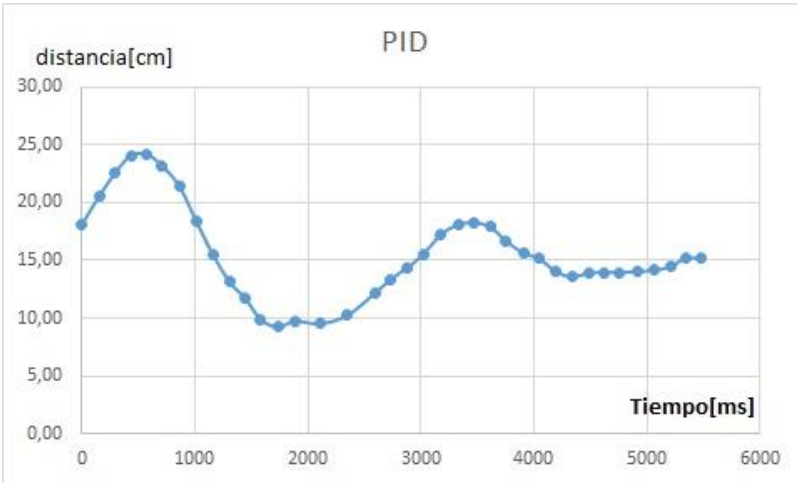
Fuente: Paul Bonilla, Ecuador, 2020.

Grafico 2. Función de transferencia obtenida en Matlab para Arduino



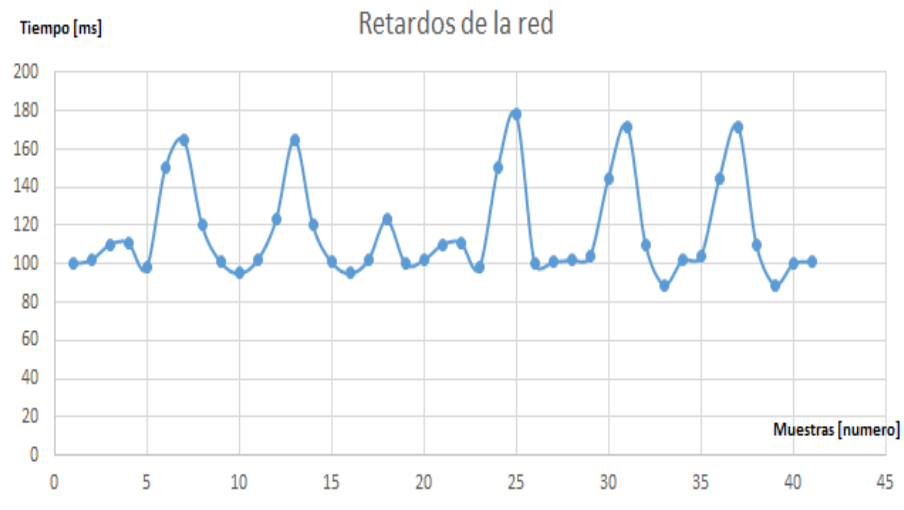
Fuente: Paul Bonilla, Ecuador, 2020.

Grafico 3. Sistema PID con repuesta predictiva por la función de transferencia



Fuente: Paul Bonilla, Ecuador, 2020.

Grafico 4. Retardos de la red



Fuente: Paul Bonilla, Ecuador, 2020.

Referencias Bibliográfica

- Bogdan, M., Wilamowski, J., & Irwin, D. (2016). *Industrial Communications Systems* -. CR-Press.
- BricoGeek. (3 de 11 de 2019). *BricoGeek*. Obtenido de BricoGeek.com: https://tienda.bricogeek.com/shields-arduino/749-ethernet-shield-w5500.html?search_query=Arduino+etherne&results=9
- Casanova, V. (2005). *Sistemas de control basados en red, modelado y diseño de estructuras de control*,. Universidad Politecnica de Valencia.
- Chuan, Z., Yifei, W., & Qingwei, C. (2011). Control adaptativo de tolerancia a fallas para una clase de sistema de control en red con retardo de tiempo aleatorio basado en red neuronal. Yantai: IEEE.
- F, L., Moyne, J., & Tilbury, D. (2001). Performance evaluation of control network control systems . *IEEE Transactions on control Systems*.
- Feng, P., Da-l, i. C., & Ding, y. X. (2009). Control de red neuronal difuso para sistema de control en red no lineal. Guilin: IEEE.
- Guinaldo, M., Sanchez, J., & Dormido, S. (2017). Control en red basada en eventos: de lo centralizado a lo distribuido . *Revista iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*.
- Martinez, L., & Guerrero, V. (2009). *Comunicaciones Industriales*. Mexico: AlfaOmega Grupo editor.
- Pillajo, C., & Hincapie, R. (2018). *Wireless Network Control Systems*. Quito: Abya Yala.
- Pulles, A., Pino, A., Bonzon, J., & Escalona, O. (2010). *Redes Inalámbricas para el monitoreo y control en tiempo real de sistemas de calentamiento de agua con colectores solares*. Mexico.
- S.Dormido, J.Sánchez, & E.Kofman. (2008). Muestro, Control y Comunicación Basados en eventos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 5-26.
- Salt, J., & V.Casanova, A. R. (2008). *Sistemas de control en red modelado y diseño de estructuras de control*. Valencia: Revista Iberoamericana de Automatica e informatica industrial.