

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BOLA Y  
VIGA USANDO LOGICA DIFUSA

LUZ MERY BERMUDEZ VALENCIA

CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INFORMATICA ELECTRONICA  
PROGRAMA DE TECNOLOGIA EN ELECTRONICA  
SOACHA  
2012  
DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BOLA Y  
VIGA USANDO LOGICA DIFUSA

LUZ MERY BERMUDEZ VALENCIA

Trabajo de grado para optar al titulo de Tecnólogo en Electrónica

Director:  
JHON FREDY VALCARCEL  
Ingeniero Electrónico

CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INFORMATICA ELECTRONICA  
PROGRAMA DE TECNOLOGIA EN ELECTRONICA  
SOACHA  
2012  
**DEDICATORIA**

A Dios, quien me dio la fortaleza y la oportunidad  
de poder realizar este que empezó como un sueño.

A mi esposo, padres, hermanos y amigos quienes  
Creyeron en mí y me acompañaron en este largo  
camino haciendo posible la elaboración de este este  
proyecto.

### **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre Mary quien con su amor y comprensión me animo para continuar  
hasta el final.

A mi esposo David Garzón que me acompañó en todo mi proceso de  
formación aportando su conocimiento en la mayoría de mis actividades en la  
universidad.

A mis compañeros Carlos Prieto y Numar Barinas que tuvieron la disposición para aprender conmigo.

Y por supuesto a mi profesor el Ingeniero John Fredy Valcárcel quien me entrego parte de su conocimiento y sacrifico su tiempo para guiarme dentro de mi proceso de aprendizaje.

A todos muchas gracias por que sin su apoyo no hubiera sido posible alcanzar este logro.

## **CONTENIDO**

RESUMEN

INTRODUCCION

JUSTIFICACION

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

Objetivo General

Objetivos Específicos

## METODOLOGIA

### 1. TEORIA DE SISTEMAS

#### 1.1 Definiciones previas

### 2. SISTEMAS DE CONTROL

#### 2.1 Definición

#### 2.2 Ventajas derivadas del uso del sistema de un sistema de control

#### 2.3 Sistemas de control en lazo abierto y en lazo cerrado

#### 2.4 Clasificación de las técnicas de control

### 3. SISTEMAS INTELIGENTES DE CONTROL

### 4. SISTEMAS DIFUSOS

#### 4.1 ¿Por qué sistemas Difusos?

#### 4.2 ¿Qué son Sistemas Difusos?

### 5. SISTEMAS DIFUSOS PARA CONTROL

#### 5.1 Definición

#### 5.2 Ventajas y límites del control difuso

#### 5.3 Recomendaciones de uso de control difuso

### 6. IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS MEDIANTE LÓGICA DIFUSA

## 7. EJEMPLOS DE SISTEMAS DIFUSOS DE CONTROL COMERCIALES

## 8. ASPECTOS GENERALES DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA BOLA Y VIGA

### 8.1 Justificación

### 8.2 Planteamiento del problema

### 8.3 Requerimientos Deseados

#### 8.3.1 Parametrización de la planta

#### 8.3.2 Selección del tipo de control

#### 8.3.3 Parametrización de los controladores

#### 8.3.4 Generación de

#### 8.3.5 Descripción del Sistema Bola y Viga

## 9. MODELADO DEL SISTEMA BOLA Y VIGA

### 9.1 Condiciones del problema

### 9.2 Ecuaciones del sistema

### 9.3 Representación en Matlab y respuesta a lazo abierto

## CONCLUSIONES

## BIBLIOGRAFIA

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Sistema de control

Figura 2. Sistema de control lazo abierto

Figura 3. Sistema de control Lazo cerrado o realimentados

Figura 4. Regla difusa de tipo MANDANI

Figura 5. Proceso de modelado difuso

Figura 6. Sistema Bola y viga

Figura 7. Función de transferencia del sistema





## **RESUMEN**

Este trabajo presenta la implementación de algoritmos de lógica difusa aplicados al sistema de control bola y viga con el cual se pretende establecer las diferencias existentes frente a los sistemas convencionales, el modelo planteado busca mantener una bola en un punto específico de la viga, superando cualquier perturbación que intente mover su posición, para este proyecto se utilizó un motor paso a paso SANYO DENKI 103G770-2519 que controlara el ángulo que la viga forma para obtener la posición de equilibrio de la bola (posición deseada), un sensor de distancia SHARP 2Y0A02 para detectar la posición de la bola que enviara los datos censados al micro controlador y un micro controlador PIC 18F4550 el cual realizara el análisis de los datos obtenidos y generara la respuesta del sistema.

Se encontrara el modelado del experimento (condiciones del problema, ecuaciones y respuesta del sistema) realizadas las ecuaciones y la identificación de la planta, se obtendrán los modelos matemáticos y la aproximación real del sistema.

Posteriormente, se utilizara la teoría para realizar el análisis y ajuste de los controladores de la planta ya sean de tipo proporcional, integral, derivativo o una combinación de ellos para elegir aquellos controladores que darán estabilidad al proceso.

## **INTRODUCCION**

Hasta finales del siglo XIX el control automático se caracterizó por ser empírico. El deseo de mejorar las respuestas transitorias y la exactitud de los sistemas de control, obligó a desarrollar la teoría de control. A través de los años se intensificó el desarrollo de los sistemas de control estableciendo centros de investigación, teniendo como resultados avances importantes.

Desde entonces se ha venido desarrollado la teoría moderna de control. Actualmente la tendencia de estos sistemas es hacia la optimización y digitalización total de los controladores, manipular procesos, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados.

Los sistemas de control más modernos deben ser estables frente a perturbaciones y errores en los modelos, hoy en día existen diferentes tipos de aplicaciones, una de ellas es la lógica difusa que ha tenido gran acogida, la razón por la cual tiene tanta aceptación es la facilidad para adaptarse a casos particulares, su habilidad para combinar expresiones lingüísticas con datos numéricos y no requerir de algoritmos muy sofisticados para su implementación, cada actividad cotidiana se encuentra involucrada con algún sistema de control, estos han sido de gran impacto para nuestra sociedad productos como lavadoras, hornos microondas, cámaras de video, Televisores y sistemas como control de tráfico son algunos ejemplos.

El desarrollo de este proyecto permite aplicar los conocimientos adquiridos en el área de control, experimentando los distintos métodos y buscando dar respuesta al problema de control Bola y viga basado en lógica difusa, para que los estudiantes de la CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS en sus practicas de laboratorio analicen las características que ofrece este sistema de control, establezca las diferencias respecto a los sistemas convencionales y vean en ella una alternativa diferente para sus planteamientos.

## **JUSTIFICACION**

Este proyecto beneficiaran directamente a los estudiantes de la CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS por que actualmente en sus prácticas de laboratorio no cuentan con material didáctico que les permita el estudio de los sistemas de control, por otra parte los docentes

contaran con material de apoyo que logre en los estudiantes identificar, diferenciar y analizar los sistemas de control, para aplicarlos a cualquier problema que se deba resolver.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS regional Soacha dentro de su oferta educativa ofrece la carrera Tecnología en Electrónica, la cual cuenta con estudiantes que cursan los diferentes semestres y dentro del pensum académico los estudiantes tienen la posibilidad de elegir electiva de control y/o electiva técnica, la mayoría de los estudiantes prefieren elegir el control ya que reconocen la importancia de ser competentes dentro del mercado actual, para lograr que el aprendizaje de los estudiantes sea mas practico y menos teórico, planteo el uso de sistemas físicos, en donde el estudiante pueda ver, analizar, diferenciar y encontrar nuevas alternativas para la solución de problemas particulares.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Implementar un sistema de control bola y viga usando lógica difusa, que permita establecer las diferencias fundamentales frente a sistemas clásicos de control P, PI, PID, y que tendrá como fin particular la enseñanza de los sistemas de control.

### **Objetivos Específicos**

- Establecer las diferencias con los sistemas clásicos de control frente a sistemas que implementan lógica difusa.
- Implementar los algoritmos de lógica difusa en un micro controlador o un sistema digital.
- Elaborar una interfaz grafica para la manipulación del sistema de control, usando un lenguaje como VB.
- Establecer y simular (Matlab / Scilab) el modelo matemático de todo el sistema.
- Elaborar una guía laboratorio y manual de uso de la planta didáctica

## **METODOLOGIA**

Los siguientes son los pasos a seguir en el diseño e implementación del sistema de control (planta)

### **INVESTIGACIÓN**

Recolección de información sobre las diferentes herramientas de posible utilización para el diseño e implementación de la planta. Para esto se utilizara consultas en la red y tutorías con los docentes encargados en el área.

### **DISEÑO Y SIMULACIÓN**

Es la etapa mas compleja del proyecto, en ella se realizan cálculos para cumplir con un funcionamiento óptimo, adicionalmente se evalúan y se ejecutan por medio de las simulaciones las respuestas posibles de cada bloque y según la respuesta se realiza correcciones para obtener un modelo funcional listo para ser implementado.

### **IMPLEMENTACIÓN EN PROTOBOARD Y BAQUELAS UNIVERSALES**

Los modelos obtenidos en la simulación son implementados y optimizados en montajes reales, donde se observa el comportamiento de los componentes y su respuesta en conjunto. En esta etapa son ubicados y corregidos los errores de funcionamiento hasta obtener un modelo mas ideal.

### **PRUEBAS SATISFACTORIAS**

Son realizadas al dispositivo y dependiendo de las respuestas obtenidas se evalúan posibles cambios, cuando se tenga todo el sistema será probado para mejorar características como acoples de impedancias, filtrado de ruidos y en general obtener mejoras en pro del buen funcionamiento de la planta.

### **MODIFICACIONES**

Esta etapa del proceso depende en su totalidad de las fallas registradas en la implementación en protoboard, baquelas y de la realización de las pruebas.

### **DISEÑO Y ENSAMBLE EN PCB**

En esta etapa se diseñan los circuitos impresos, teniendo en cuenta algunas condiciones:

- La ubicación de bornes en el sistema para la inspección de los mismos en el montaje final entregados al laboratorio.
- Las fuentes de alimentación y las protecciones del sistema.

## **DISEÑO DE LA ESTRUCTURA**

La ejecución de esta etapa depende del tamaño y las características físicas de las tarjetas que conforman el módulo, según su tamaño y los sitios de ubicación de los bornes de conexión, se realizará un diseño adecuado donde sean incluidas señalizaciones del proceso.

## **DISEÑO DE GUIA**

Luego de la implementación final se elaborarán la guía sobre el funcionamiento y la forma de operación de la planta. Se realizaran pruebas y se tomaran datos para comparar el resultado con los otros métodos.

## **1 TEORIA DE SISTEMAS**

### **1.1 Definiciones previas**

#### **Sistema:**

Combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado.

#### **Control:**

Es la acción o el efecto de poder decidir sobre el desarrollo de un proceso o sistema, también se puede entender como la forma de manipular ciertas variables para conseguir que ellas u otras variables actúen de la forma

deseada

Sistema de Control:

Arreglo de componentes físicos interconectados de forma que se puedan comandar dinámicamente.

Entrada:

Estimulo aplicado al sistema de control para producir una respuesta específica.

Salida:

Respuesta obtenida que puede ser diferente a la especificada

Variable controlada:

Condición que se mide y controla.

Variable manipulada:

Condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

Controlar:

Medir la variable controlada y alterar la variable manipulada para corregir o limitar la variable controlada.

Planta: Parte del sistema que se controla.

Proceso: Operación continua, marcada por cambios graduales que se suceden uno a otro de una forma relativamente fija y que conduce a un resultado determinado.

Cualquier operación que se va a controlar.

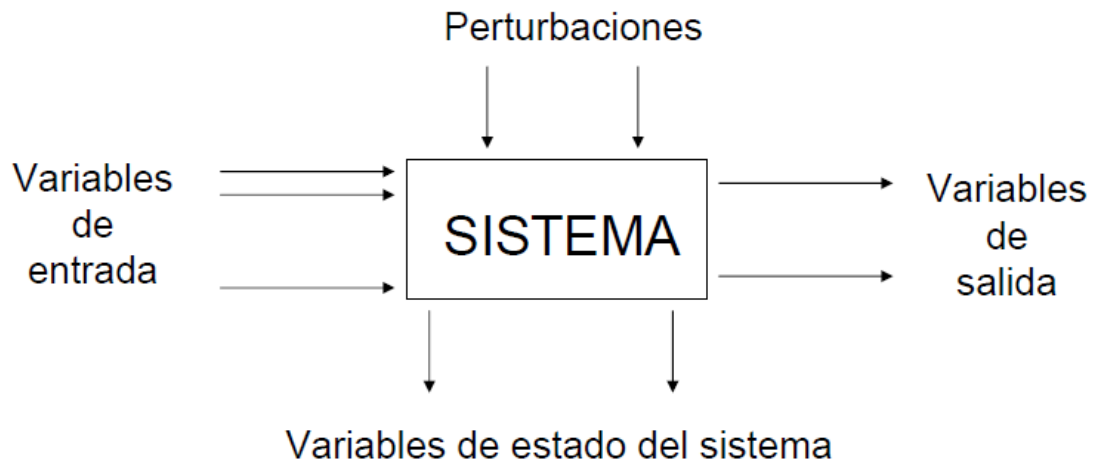
Perturbación: Señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. (Internas y Externas (entrada))

## 2. SISTEMAS DE CONTROL

### 2.1 Definición

Conjunto o combinación de componentes que actúa conjuntamente y que cumple un determinado objetivo

**Figura 1. Sistema de control**



### 2.2 Ventajas derivadas del uso del sistema de un sistema de control



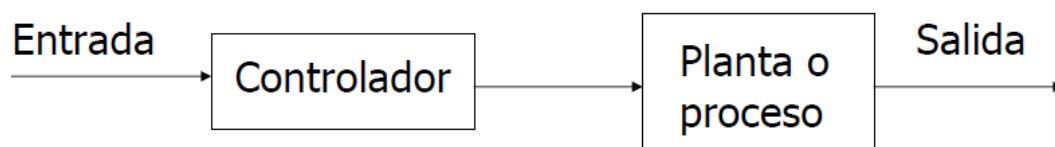
- Las técnicas de control automático tienen un campo prácticamente ilimitado de aplicación.
- Es útil contar con sistemas capaces de mantener todos los parámetros “controlados” sin la intervención humana.
- En ocasiones se consigue optimizar la evolución del proceso
- Situaciones de elevada complejidad
- Situaciones en las que se debe operar en tiempo de respuesta corto
- Pueden eliminar fallos (distracciones, cansancio, tensión...)

### 2.3 Sistemas de control en lazo abierto y en lazo cerrado

#### Sistema de control Lazo abierto:

En este sistema de control la acción es independiente de la salida, por lo tanto no hay realimentación y a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija, la precisión depende de la calibración y por lo general se evidencia una afectación frente a las perturbaciones. Este tipo de controladores genera secuencias de instrucciones como respuesta a las distintas órdenes o variables de entrada

**Figura 2. Sistema de control lazo abierto**



#### Sistema de control Lazo cerrado o realimentados:

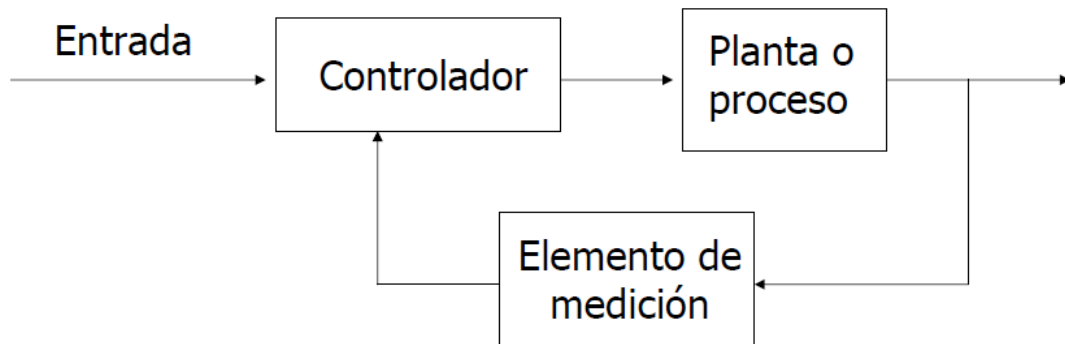
Este sistema de control Mantiene una relación pre-establecida entre la entrada y la salida, comparándolas y utilizando la diferencia como parámetro de control, su comportamiento es adecuado en presencia de perturbaciones

por ejemplo: sistema de control de la temperatura de una habitación o sistema de control de la velocidad de un vehículo.

Tipos de sistemas de control realimentados:

- Reguladores. (Ej. Termostato)
- Servomecanismos. (Ej. brazo de robot)
- La señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control
- Se utiliza la realimentación para reducir el error del sistema (“lazo cerrado”)

**Figura 3. Sistema de control Lazo cerrado o realimentados**



## 2.4 Clasificación de las técnicas de control

### Sistemas de control continuo

Son sistemas que operan con señales continuas o analógicas y su principal característica es presentar continuidad tanto en magnitud como en tiempo, normalmente la función de control se implementa con circuitos electrónicos. Los primeros sistemas de adquisición de datos (así como sistemas automáticos de control) operaron como sistemas continuos. A estos sistemas actualmente se les conoce como sistemas o controles convencionales y su principal característica es que registran y manipulan la información mediante señales analógicas, tales como voltaje, corriente, presión, temperatura, posición o alguna otra variable física. Estas señales tienen la característica de presentar continuidad tanto en

magnitud como en tiempo (de ahí el nombre de sistemas continuos). Así definiremos a los sistemas continuos como aquellos que operan o manipulan información en forma continua. La continuidad en magnitud se puede definir bajo la característica de que ante un rango definido de la variable o señal se tienen un número infinito de valores intermedios.

### Sistemas de control digital

Estos sistemas utilizan tecnología digital por su mayor flexibilidad en diseño, mayor capacidad para almacenar y manipular datos, mejorar problemas como retardos y longitud de palabra inapreciables, permite además la inclusión de procesos de aprendizaje, control adaptativo, conocimiento experto y otros conceptos avanzados. Los controladores digitales para plantas continuas necesitan conversión analógica-digital y viceversa

### Sistemas de eventos discretos

Estos sistemas usan control secuencial, control lógico programable, control dinámico de eventos discretos. Las acciones de control se determinan como respuesta a las características secuenciales y combinatorias observadas de un conjunto de órdenes y condiciones sensoriales, por lo general las entradas y realimentación son de carácter binario así como las salidas en algún momento, el diseño de estos sistemas se realiza mediante una tabla de transición de estados

## 3. SISTEMAS INTELIGENTES DE CONTROL

### Control inteligente

Desarrollo de métodos de control para emular características importantes de la inteligencia humana: adaptación, aprendizaje, tratamiento de grandes cantidades de datos, y tratamiento de incertidumbre.

### Área con límites cambiantes

Lo que es control inteligente hoy será simplemente control mañana.

### Área interdisciplinar

Control, Ciencias de la Computación e Investigación Operativa, incluye al control convencional.

El informe Task Force on Intelligent Control define el control inteligente a través de varias propiedades propias de los sistemas inteligentes:

- Adaptación y aprendizaje: Capacidad para adaptarse a condiciones cambiantes.
- Autonomía e inteligencia: Habilidad para actuar adecuadamente en un entorno con incertidumbre.
- Estructuras y jerarquías: Arquitectura funcional apropiada para afrontar problemas complejos.

#### 4. SISTEMAS DIFUSOS

##### 4.1 ¿Por qué sistemas Difusos?

- ✓ Demasiada complejidad para la obtención de descripciones precisas en algunos sistemas reales. Es necesario introducción aproximación.
- ✓ Es necesaria una teoría que permita formular el conocimiento humano de forma sistemática e incluirlo en sistemas de ingeniería.

##### 4.2 ¿Qué son Sistemas Difusos?

Difuso Sin. Borroso, confuso, vago, con incertidumbre.

Son sistemas basados en el conocimiento o sistemas basados en reglas  
Regla SI\_ENTONCES: Describe qué hacer cuando se presenta una determinada situación

SI la velocidad del coche es alta ENTONCES pisar con fuerza baja el acelerador

Ejemplos:

- Control de la velocidad de un móvil
- Control de temperatura
- Descripciones sobre un sistema

Los principales campos de investigación son el control, procesamiento de señales, circuitos integrados, sistemas expertos (Economía, medicina, psicología, etc.)

## 5. SISTEMAS DIFUSOS PARA CONTROL

### 5.1. Definición

Sistema experto en tiempo real que implementa una parte de la forma de operar de una persona o de un proceso con experiencia en ingeniería que no puede expresarse fácilmente como parámetros PID o como ecuaciones diferenciales, sino como reglas situación-acción

### 5.2. Ventajas y límites del control difuso

- ✓ Emplea el conocimiento experto para conseguir un grado de automatización mayor en algunos casos de control de procesos industriales (ejemplo industria química) el grado de automatización es muy bajo. Muchas de las acciones son realizadas por operadores que basan su conocimiento en la experiencia pero que difícilmente se puede expresar con ecuaciones diferenciales, pero solo si existe conocimiento relevante del proceso y su control que pueda expresar en términos de lógica difusa (Sistema fácil de diseñar, de modificar, simplificado con rapidez de funcionamiento)
- ✓ Control no lineal robusto, en situaciones de perturbación externa, un controlador PID afronta el problema con una compensación entre reacciones rápidas con excesos significativos o reacciones suaves pero lentas. El control difuso cubre un amplio rango de parámetros del sistema y puede afrontar la mayoría de las perturbaciones, aunque generalmente es así, aún no están bien formalizadas las características necesarias para que el control difuso sea robusto y estable
- ✓ Reduce el tiempo de desarrollo y mantenimiento, el control difuso posee dos niveles de abstracción (reglas y parámetros) que permite un diseño conjunto entre expertos en el problema e ingenieros electrónicos sin embargo la adquisición de conocimiento, codificación,

prueba y depuración necesarios en control difuso requiere un alto grado de preparación del experto

- ✓ Marketing y patentes, en Japón, control difuso se asocia a moderno, de alta calidad y amigable con el usuario. Además, el control difuso permite diseñar soluciones de calidad equivalente salvando las patentes existentes, aunque en Europa no tiene tanta fama como en Japón. Además, muchas veces interesa ocultar el término difuso, por ejemplo “sistema de enfoque automático difuso” en una cámara de vídeo

### 5.3. Recomendaciones de uso del control difuso

El control difuso es una excelente idea si:

- El proceso es muy complejo y no hay un modelo matemático simple
- El proceso no es lineal
- Si ya existe una solución basada en sistemas difusos para resolver un problema similar
- Si no estamos satisfechos con la solución existente respecto a alguno de estos criterios o es un problema que no se puede resolver con control clásico.
- Si ciertas partes del sistema son desconocidas, no medibles o con incertidumbre, se debe optar por un diseño basado en lógica difusa.
- Si se desconoce el modelo matemático del sistema o éste es complejo.

El control difuso no es una buena idea si:

- El control convencional teóricamente rinde un resultado satisfactorio
- Existe un modelo matemático fácilmente soluble y adecuado
- El problema no es soluble
- Si tenemos una buena solución en términos de control PID, con rendimiento del sistema, costes de desarrollo y mantenimiento satisfactorios

## 6. IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS MEDIANTE LÓGICA DIFUSA

Modelo: esquema teórico de un sistema que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento, los modelos son útiles para realizar simulaciones, analizar un sistema, comprender sus mecanismos subyacentes, diseñar nuevos procesos o controlar automáticamente sistemas

Todo modelo debe cumplir requisitos básicos de precisión (representar con fidelidad la realidad que se está modelando) e interpretabilidad (describir el sistema de forma legible) y requisitos contradictorios ya que un modelo demasiado simple no puede representar adecuadamente las características relevantes del sistema, adicionalmente el modelado se puede realizar con Sistemas Basados en Reglas Difusas (SBRDs) (Modelado difuso Lingüístico) Atiende al poder descriptivo (Modelado difuso Preciso) Atiende al poder aproximativo.

Figura 4. Regla difusa de tipo MANDANI

**Si presión\_atmosférica es Baja ENTONCES probabilidad\_Iluvia es Alta**

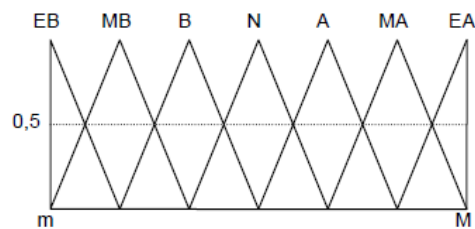
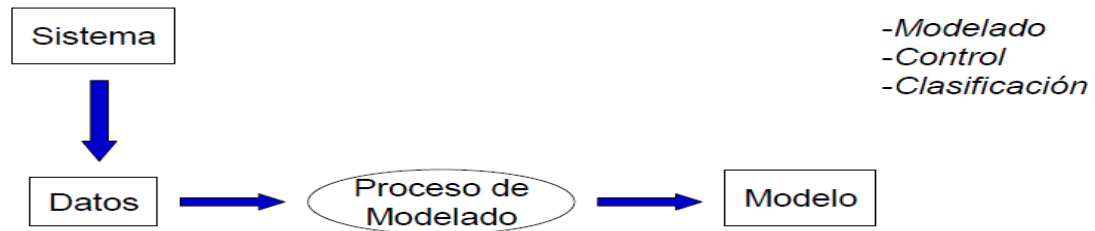


Figura 5. Proceso de modelado difuso



## 7. EJEMPLOS DE SISTEMAS DIFUSOS DE CONTROL COMERCIALES

Productos de consumo como lavadoras, hornos microondas, Cámaras de videos, Televisores, Traductores. En sistemas como ascensores, trenes, grúas, automoción (motores, transmisión, frenos...), Control de tráfico. En Software: como diagnóstico médico, seguridad, comprensión de datos

### "Lavadora difusa" (Matsuhita Electronic Industrial)

Objetivo: Determinar automáticamente el ciclo de lavado adecuado al tipo y cantidad de suciedad y al tamaño de la colada.

Entradas: Suciedad, tipo de suciedad y tamaño de la colada.

Salida: Ciclo de lavado.

Sensores ópticos - tipo y cantidad de suciedad

Estabilizador de imágenes digitales (Matsuhita)

Objetivo: Eliminar vibraciones involuntarias

Construido con reglas del tipo:

SI todos los puntos de la imagen se mueven en la misma dirección

ENTONCES la mano se mueve

SI solo algunos puntos se mueven

ENTONCES la mano no se mueve

Se compara la imagen actual con otras imágenes en memoria



## Sistemas difusos en coches

Sistema de transmisión automática Mitshubichi GalantS SaturnSL1 de General Motors  
Control de temperatura  
Sistema de suspensión difusa (Mitshubichi)

## 8. ASPECTOS GENERALES DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA BOLA Y VIGA

### 8.1 JUSTIFICACION

Este proyecto beneficiaran directamente a los estudiantes de la CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS por que actualmente en sus prácticas de laboratorio no cuentan con material didáctico que les permita el estudio de los sistemas de control, por otra parte los docentes contarán con material de apoyo que logre en los estudiantes identificar, diferenciar y analizar los sistemas de control, para aplicarlos a cualquier problema que se deba resolver

### 8.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS regional Soacha dentro de su oferta educativa ofrece la carrera Tecnología en Electrónica, la cual cuenta con estudiantes que cursan los diferentes semestres y dentro del pensum académico los estudiantes tienen la posibilidad de elegir electiva de control y/o electiva técnica, la mayoría de los estudiantes prefieren elegir el control ya que reconocen la importancia de ser competentes dentro del mercado actual, para lograr que el aprendizaje de los estudiantes sea mas practico y menos teórico, planteo el uso de sistemas físicos, en donde el

estudiante pueda ver, analizar, diferenciar y encontrar nuevas alternativas para la solución de problemas particulares.

### 8.3 REQUERIMIENTOS DESEADOS

Las aplicaciones o simulaciones que hacen parte de la implementación deben ser diseñadas de manera que otorguen al estudiante cierta libertad, pues el propósito es que sirva de herramienta educativa de fácil acceso permitiendo al estudiante aplicar los conocimientos adquiridos en el área de control. Por este motivo se debe evaluar cuidadosamente las características que se deben tener en cuenta para el diseño de esta implementación.

#### 8.3.1 Parametrización de la planta

Las aplicaciones de la planta virtual deben estar en la capacidad de permitir al usuario modificar los parámetros numéricos de la función de transferencia del modelo a simular, de esta forma el estudiante forma parte activa de en la construcción del propio modelo entre los parámetros a modificar se encuentran la ganancia del proceso y el tiempo de estabilización

#### 8.3.2 Selección del tipo de control

En la simulación de esta implementación se permite la elección entre 2 técnicas de control una que es la convencional que es un control PID y la otra que es el control difuso. Con el fin de comparar resultados entre el control clásico y el control inteligente

#### 8.3.3 Parametrización de los controladores

El estudiante esta en la libertad de diseñar sus propios controladores

e implementarlos en el sistema, es decir que la aplicación le deben permitirle ingresar de sus propios datos al controlador. Si el estudiante elige el controlador PID, se le debe admitir la variación de las diferentes ganancias (Proporcional, Integral y Derivativa), pero si por el contrario escoge el control Fuzzy debe tener la autonomía para escoger el número de conjuntos difusos con que desea trabajar, la base de reglas los conjuntos difusos y las ganancias.

#### 8.3.4 Generación de datos

Una vez el estudiante implemente la técnica de control y alcance los resultados deseados, la planta debe permitir exportar los datos obtenidos con el fin de realizar el análisis posterior.

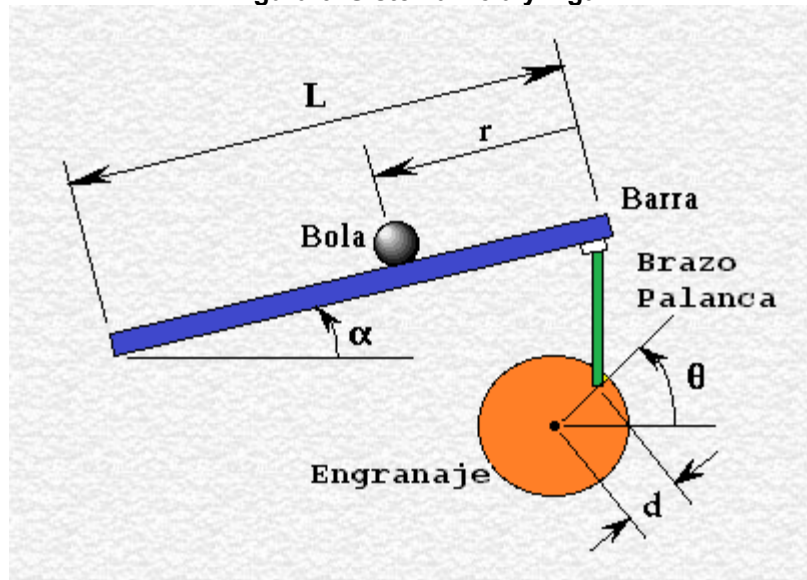
#### 8.3.5 Descripción del Sistema Bola y Viga

El sistema de control Bola y viga consiste en una viga sobre la cual corre una bola, por un extremo se encuentra sujeta a un motor paso a paso que controla su movimiento y por el otro lado se encuentra un sensor de distancia cuya función es censar su posición enviando distintos voltajes dependiendo del lugar e donde se encuentre ubicada la bola. El objetivo es controlar la posición de la bola en un solo lugar y que ante perturbaciones se estabilice rápidamente en ese punto de referencia

### 9. MODELADO DEL SISTEMA BOLA Y VIGA

Se coloca una bola sobre una viga, se adiciona un pivote en uno punto del disco del motor. A medida que el motor gira un ángulo  $\theta$ , el pivote cambia el ángulo de la barra en  $\alpha$ . Cuando se cambia el ángulo a partir de la posición vertical, la gravedad ocasiona que la bola ruede a lo largo de la viga. Debe diseñarse un controlador para este sistema de modo que pueda manipularse la posición de la bola.

Figura 6. Sistema Bola y viga



### 9.1 Condiciones del problema

Para este problema, asumimos que la bola rueda sin resbalamiento y la fricción entre la barra y bola es despreciable. Las constantes y variables para este ejemplo se definen como sigue:

M	masa de la bola	0.005 kg
R	radio de la bola	0.021 m
d	offset de brazo de palanca	0.033 m
g	aceleración gravitacional	9.8 m/s <sup>2</sup>
L	longitud de la barra	0.74 m
J	momento de inercia de la bola	8.82e-7 kgm <sup>2</sup>
r	coordenada de posición de la bola	
alpha	coordenada angular de la barra	
theta	ángulo del servo engranaje	

Los criterios de diseño para este problema son:

- Tiempo de Establecimiento menor que 2 mili segundos
- Sobre pico menor que 5%

### 9.2 Ecuaciones del sistema

El Lagrangiano de movimiento para la bola está dado por la siguiente ecuación:

$$0 = \left( \frac{J}{R^2} + m \right) \ddot{r} + mg \sin \alpha - mr(\dot{\alpha})^2$$

La linealización de esta ecuación alrededor del ángulo de la barra,  $\alpha = 0$ , nos da la siguiente aproximación lineal del sistema:

$$\left( \frac{J}{R^2} + m \right) \ddot{r} = -mg\alpha$$

La ecuación que relaciona el ángulo de la barra con el ángulo del engranaje puede aproximarse a una relación lineal mediante la ecuación de abajo:

$$\alpha = \frac{d}{L}\theta$$

Sustituyéndola en la ecuación previa, tenemos:

$$\left( \frac{J}{R^2} + m \right) \ddot{r} = -mg\left(\frac{d}{L}\right)\theta$$

**Función de Transferencia**

Tomando transformada de Laplace de la ecuación de arriba, se encuentra la siguiente ecuación:

$$\left( \frac{J}{R^2} + m \right) R(s) s^2 = -\frac{mgd}{L} \Phi(s)$$

NOTA: Cuando se toma Transformada de Laplace para hallar la función de transferencia se asume que las condiciones iniciales son nulas.

Reacomodando encontramos la función de transferencia del ángulo del engranaje ( $\theta(s)$ ) a la posición de la bola ( $R(s)$ ).

$$\frac{R(s)}{\theta(s)} = -\frac{mgd}{L\left(\frac{J}{R^2} + m\right)} \frac{1}{s^2}$$

Debe notarse que la función de transferencia de la planta de arriba es un doble integrador. Como ésta es marginalmente estable nos proveerá de un arduo problema de control.

### Espacio de Estado

El sistema de ecuaciones linealizado puede representarse también en la forma espacio de estado. Esto puede hacerse seleccionando la posición de la bola ( $r$ ) y velocidad ( $\dot{r}$ , por  $r$  punto) como las variables de estado y el ángulo del engranaje ( $\theta$ ) como la entrada. La representación espacio de estado se muestra abajo:

$$\theta \begin{bmatrix} \dot{r} \\ \ddot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{mgd}{L\left(\frac{J}{R^2} + m\right)} \end{bmatrix} \theta \begin{bmatrix} \dot{r} \\ \ddot{r} \end{bmatrix}$$

Sin embargo, para nuestro ejemplo de espacio de estado usaremos un modelo ligeramente diferente. La misma ecuación se aplica todavía para la bola pero en lugar de controlar la posición a través del ángulo del engranaje,  $\theta$ , controlaremos  $\alpha$  doble punto. Esto es esencialmente el control del torque de la barra. La representación de este sistema se muestra abajo:

$$\begin{bmatrix} \dot{r} \\ \ddot{r} \\ \dot{\alpha} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -mg & 0 \\ 0 & 0 & \left(\frac{J}{R^2} + m\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ \dot{r} \\ \alpha \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \mu$$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ \dot{r} \\ \alpha \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix}$$

Note: Para este sistema no deben usarse el engranaje y el brazo de palanca para controlar la posición de la bola en su lugar; un motor en el centro de la barra aplicará el torque

### 9.3 Representación en Matlab y respuesta a lazo abierto

#### ➤ Función de Transferencia

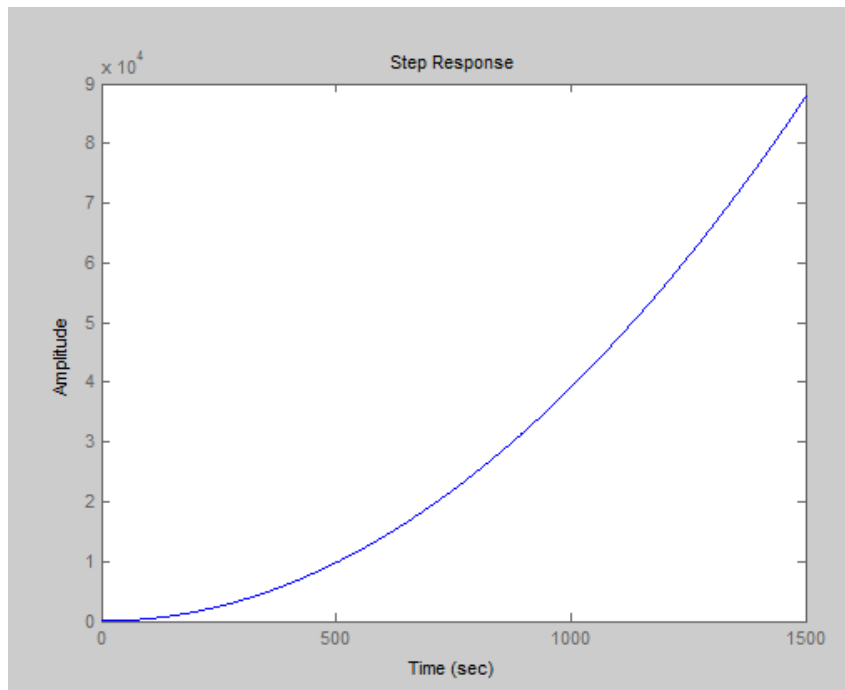
La función de transferencia encontrada a partir de la transformada de Laplace puede implementarse en Matlab entrando el numerador y el denominador como vectores. Para lograrlo debemos crear un [archivo-m](#) y copiar el siguiente texto en él:

- $m = 0.005$ ;  $R = 0.021$ ;  $g = -9.8$ ;  $L = 0.74$ ;  $d = 0.033$ ;  $J = 9.99e-6$ ;  $K = (m \cdot g \cdot d) / (L \cdot (J/R^2 + m))$ ;  $num = [-K]$ ;  $den = [1 \ 0 \ 0]$ ; `printsys(num,den)`

La salida debería ser:  $num/den = 0.31216 / s^2$

Ahora, la respuesta de la bola a una entrada escalón de 0.25 m. Para hacerlo se debe agregar la siguiente línea al archivo-m: `step(0.25*num,den)` Debería verse la figura siguiente mostrando las posiciones de la bola como función del tiempo:

**Figura 7. Función de transferencia del sistema**



De esta figura es claro que el sistema es inestable a lazo abierto, causando que la bola se deslice afuera de la barra. Por lo tanto, se requiere de algún método para controlar la posición de la bola en este sistema.



## **CONCLUSIONES**

A través de esta implementación los estudiantes lograron fácilmente visualizar y establecer las diferencias existentes entre los sistemas clásicos de control y la lógica difusa

Se logro comprobar lo fácil y o practico que es diseñar controladores difusos para diferentes tipos de procesos

La planta didáctica permite al estudiante interactuar con las etapas del proceso y entender su funcionamiento.

La mayor contribución de este proyecto mostrar a los estudiantes que a través de material didáctico, se logra un mejor aprendizaje y que a futuro se pueden realizar mas y mejores implementaciones para el laboratorio

## **BIBLIOGRAFIA**

[1] Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales -  
COUGHLIN

[2] Ingeniería de Control Moderna - Katsuhiko Ogata- 2003

[3] Fundamentos de Inteligencia Artificial - Luis Alvarez Munarriz- 1994

[4] [http://www.ib.cnea.gov.ar/~instyct/ Tutorial\\_Matlab\\_esp/ball.html](http://www.ib.cnea.gov.ar/~instyct/ Tutorial_Matlab_esp/ball.html)

[5] <http://www.valvias.com/prontuario-momento-de-inercia.php>

[6] <http://www.ing.una.py/APOYO/CONTROL%20CON%20SCILAB/PID/PID.html#pid>

[7] <http://www.slideshare.net/Telecomunefasenaes/funciones-de-transferencia>

[8] [http://www.multion.com.mx/\\_webinars/webinars\\_mtlb\\_mes.html](http://www.multion.com.mx/_webinars/webinars_mtlb_mes.html) /Model Based Design para el Desarrollo del Sistema de Control del problema Ball and Beam