

UTN

*Facultad Regional Buenos Aires*

# *Fuzzy Logic*

## Control Por Lógica Difusa

Leonardo Davico

Grupo: GIA

Año: 2001

# Control por Lógica Difusa

## Introducción

### De donde viene la Lógica Difusa

El concepto de Lógica Difusa fue concebido por Lofti Zadeh, un profesor de la universidad de California en Berkley, y no fue presentado como una metodología de control sino como una forma de procesar información permitiendo que existan grados de pertenencia parciales en vez de solo grados discretos. Este concepto no fue aplicado a los sistemas de controles hasta los años 70' debido a la limitada capacidad de las computadoras de la época. El profesor Zadeh partió del razonamiento de que las personas no necesitan una entrada de precisos datos numéricos y aun son capaces de realizar eficientes tareas de control adaptativo.

Si los controladores por realimentación pudieran ser programados para aceptar entradas imprecisas y ruidosas, estos serian mucho más efectivos y quizás más fáciles de implementar.

### Que es Lógica Difusa

En este contexto Lógica Difusa es una metodología para resolver problemas de control que puede ser implementado en sistemas que van desde simples y pequeños microcontroladores hasta grandes y sofisticados sistemas de adquisición y control. Puede ser implementada en Software, Hardware o una combinación de ambos. Lógica Difusa brinda un camino sencillo para llegar a una conclusión a partir de una entrada de información vaga, ambigua, imprecisa, ruidosa y hasta desaparecida.

La Lógica Difusa enfrenta los problemas imitando a la manera en que un humano toma decisiones solo que mucho mas rápido.

### Diferencia con los métodos convencionales de Control

De donde viene la Lógica Difusa incorpora una sencilla aproximación basándose en reglas del tipo IF X AND Y THEN Z para poder resolver los problemas de control en vez de tratar de modelizar matemáticamente el sistema. El modelo de Lógica Difusa esta basado en forma empírica, recayendo mas bien en la experiencia del operador mas bien que en la comprensión técnica del sistema. Por ejemplo en vez de tratar con un control de temperatura en términos como "SP=500F", "T<1000F", o "210C<TEMP<220C", se trata en términos como "IF (proceso demasiado frío) AND (el proceso esta enfriándose) THEN (calentar el proceso)" o "IF (proceso demasiado caliente) AND (el proceso esta calentándose rápido) THEN (enfriar pronto el proceso)".

Estos términos son imprecisos pero son muy descriptivos acerca de lo que esta sucediendo con el proceso actualmente.

## Como funciona la Lógica Difusa

La Lógica Difusa requiere algunos parámetros numéricos para poder operar como son lo que se considera el error significativo y la tasa de cambio del error significativo, pero por lo general los valores exactos de estos números no son críticos frecuentemente, excepto en los casos en que se desee una respuesta muy rápida.

Por ejemplo un sencillo control de temperatura puede utilizar un único sensor cuyos datos son restados con la señal de comando para obtener el "error" que luego de ser diferenciado en el tiempo permite conocer la tasa de error o "derivada del error" o "error punto". El error tendrá unidad de °C, se considera como error pequeño 2°C y uno grande de 5°C. La unidad de la derivada del error será el °C/min, un derivada de error pequeña será 5°C/min mientras que uno grande será de 15°C/min. Estos Valores no tienen por que ser simétricos y podrán ser ajustados una vez que el sistema este operando para mejorar el rendimiento. La Lógica Difusa es tan flexible que es probable que funcione por primera vez sin ningún ajuste.

## Porque se utiliza Lógica Difusa

La Lógica Difusa ofrece características únicas que la hacen una elección particularmente buena para muchos problemas de control.

1. Es inherentemente robusta debido a que no necesita entradas libres de ruido y precisas y puede ser programada para reaccionar en forma segura si se quita o se destruye u sensor de realimentación. La salida de control es suave a pesar de variadas condiciones de entrada.
2. Debido a que el controlador difuso procesa reglas definidas por el usuario para gobernar el sistema, estas pueden ser modificadas y ajustadas para mejorar o alterar drásticamente la respuesta del sistema. También puede agregarse fácilmente nuevos sensores por medio de nuevas reglas adecuadas.
3. El sistema de control por Lógica Difusa no esta limitado a unas pocas entradas y salidas. Puede agregarse cualquier sensor que brinde alguna información de la reacción del sistema, esto permite que los sensores puedan ser imprecisos y económicos manteniendo un bajo costo global del sistema.
4. Debido a que se basa en una matriz de reglas puede tener cualquier numero de entradas y salidas razonables, ya que la cantidad de reglas crece demasiado con muchas entrada / salidas.
5. La Lógica Difusa puede controlar sistemas alineales para los que sería difícil o imposible la modelización matemática

## Como se Utiliza Lógica Difusa

1. Se define los objetivos del control y su criterio: ¿Que trato de Controlar?. ¿Que debo hacer para controlar el sistema?¿Qué clase de respuesta necesito?¿Cuáles son los modos de falla posibles del sistema?
2. Determinar las relaciones entre entrada y salida y elegir un numero mínimo de variables de entrada para el motor de Lógica Difusa (típicamente error y derivada del error).
3. Usando las estructura en base a reglas de la Lógica Difusa, partir el problema en una serie de reglas IF Z AND Y THEN Z que definan la respuesta deseada de la salida para una dada condición de entrada.
4. Crear las funciones de pertenencia que definen el significado de los valores de las Entrada / Salidas usados en las reglas.
5. Crear las rutinas de pre y post procesamiento si se implementan en software, sino deberán ser implementadas en el motor de Lógica Difusa por Hardware.
6. Probar el sistema, evaluar los resultados, ajustar las reglas y las funciones de pertenencia y volver a probar hasta que se obtengan resultados satisfactorios.

## Variables Lingüísticas

En 1973, el profesor Lofti Zadeh propuso el concepto de variable lingüística o variables "difusas". Se debe pensar en ellas como objetos lingüísticos o palabras, en vez de números. El sensor de entrada es un sustantivo (Ej. "temperatura", "desplazamiento", "velocidad", "flujo", "presión"). Debido a que el error es solo la diferencia puede pensarse del mismo modo.

Las mismas variables difusas son adjetivos que modifican dichos sustantivos (Ej. error "positivo grande", error "positivo pequeño", error "cero", error "negativo pequeño", error "negativo grande"). Como mínimo se debe contar con positivo, cero y negativo para cada uno de los parámetros. Adicionalmente puede agregarse rangos como "muy grande" y "muy pequeño" para extender la respuesta a condiciones excepcionales o muy alineales, pero estas no son necesarias en sistemas básicos.

## La Matriz de Reglas

Los parámetros difusos como error y derivada del error estaban modificados por los adjetivos "negativo", "cero" y "positivo". Para visualizar esto imagine la implementación mas sencilla , una matriz de 3x3. Las columnas representan error "negativo", "cero" y "positivo" las filas representan derivada del error "negativo", "cero" y "positivo". Esta construcción plana se denomina matriz de reglas. Esta tiene dos condiciones de entrada "error" y "derivada del error", y una conclusión de respuesta de salida en cada intersección.

En este caso existen nueve posibles productos lógicos(AND) de conclusiones de salida.

El numero máximo de reglas posibles es simplemente el producto de cantidad de filas y columnas. Puede ser que la definición de alguna de estas reglas no sea necesaria

debido a que algunas condiciones de entrada nunca se presentaran en la operación normal. El objetivo principal de esta construcción es mapear el universo de entradas posibles manteniendo al sistema suficientemente controlado.

## El Comienzo del Proceso

El primer paso en la implementación de Lógica Difusa es definir que es lo que se controlará y como. Tomaremos por ejemplo el desarrollo de un simple control proporcional de temperatura con un elemento de calefacción eléctrico y un ventilador de velocidad variable. Una señal de salida positiva indica 0 – 100 por ciento de calefacción mientras que una señal negativa indica 0 – 100 de enfriamiento. El control de temperatura se logra utilizando ambos elementos activos en forma correctamente balanceada y adecuada.

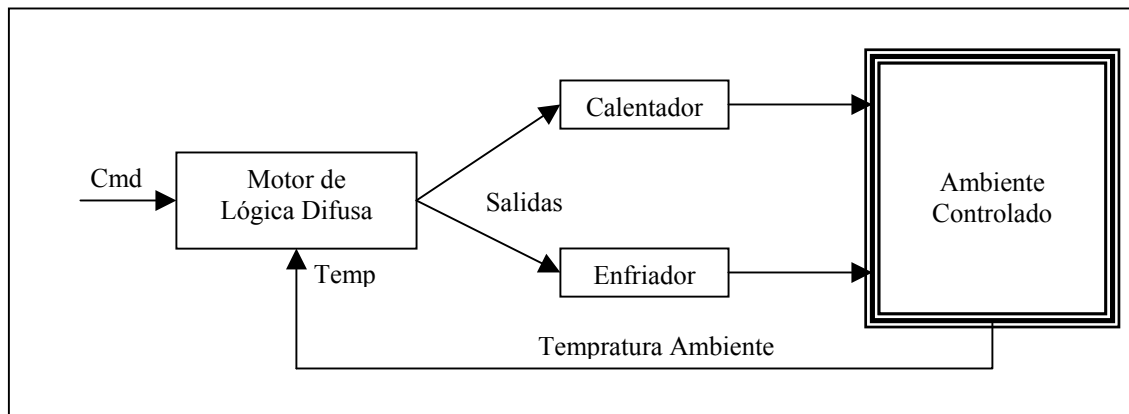


Fig 1 Sencillo diagrama en bloques del sistema de control

Cmd:	Temperatura Deseada.
Temp:	Sensor de realimentación en el ambiente controlado
Error:	Cmd – Temp. ( + = frío, - = caliente)
Derivada del Error:	$d(\text{Error})/dt$ ( + = enfriándose, - = calentándose)
Salida:	Calentar o Sin Cambio o Enfriar

Es necesario establecer un sistema de significados para representar las variables lingüísticas en la matriz de reglas. Para este ejemplo se utilizaran los siguientes términos:

- "N"= error o  $d(\text{error})/dt$  "negativo"
- "Z"= error o  $d(\text{error})/dt$  "cero"
- "P"= error o  $d(\text{error})/dt$  "positivo"
- "C"= salida "calentar"
- "-"= "Sin Cambio"
- "E"= salida "enfriar"

Se debe definir debe definir la menor cantidad de productos de combinaciones de entrada y su conclusión de respuesta de acción usando esos términos. Para una matriz de 3x3 con salidas de calentar y enfriar será necesario definir las nueve reglas.

Se harán algunas definiciones:

### Entrada 1

Error= Comando – Realimentación

P = Frío      Z = Bien      N = Caliente

### Entrada 2

$d(\text{Error})/dt = d(\text{Comando} - \text{Realimentación})/dt$

P = Calentándose      Z = Sin cambio      N = Enfriándose

### Salida

P = Hacer Calentar      Z = No cambiar      N = Hacer Enfriar

## Reglas para la Operación del Sistema

Las reglas lingüísticas que describen el sistema de control consisten de dos partes; un bloque antecedente (entre el IF y el THEN) y un bloque consecuente (lo que sigue al THEN). Dependiendo del sistema puede que no sea necesario evaluar todas las combinaciones de entrada posibles debido a que puede ser que no ocurran nunca. Si estas simplificaciones se hacen por un operador con experiencia se lograra lograr mejoras en el sistema debido a la reducción de procesamiento innecesario.

### Estructura de Reglas

1. IF error =N AND  $d(\text{error})/dt = N$  THEN salida=E
2. IF error =Z AND  $d(\text{error})/dt = N$  THEN salida=C
3. IF error =P AND  $d(\text{error})/dt = N$  THEN salida=C
4. IF error =N AND  $d(\text{error})/dt = Z$  THEN salida=E
5. IF error =Z AND  $d(\text{error})/dt = Z$  THEN salida= -
6. IF error =P AND  $d(\text{error})/dt = Z$  THEN salida=C
7. IF error =N AND  $d(\text{error})/dt = P$  THEN salida=E
8. IF error =Z AND  $d(\text{error})/dt = P$  THEN salida=E
9. IF error =P AND  $d(\text{error})/dt = P$  THEN salida=C

### Matriz de Reglas

		Error		
		N	Z	P
$d(\text{Error})/dt$	N	E	C	C
	Z	E	-	C
	P	E	E	C

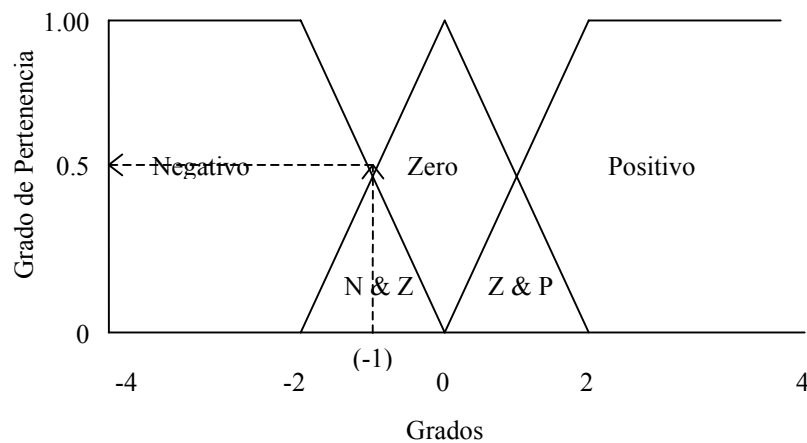
Este es un caso muy sencillo pero podrían agregarse derivadas de orden mayor si fuera necesario, esto mejoraría la respuesta pero haría que el sistema sea mas complejo.

## Funciones de Pertenencia

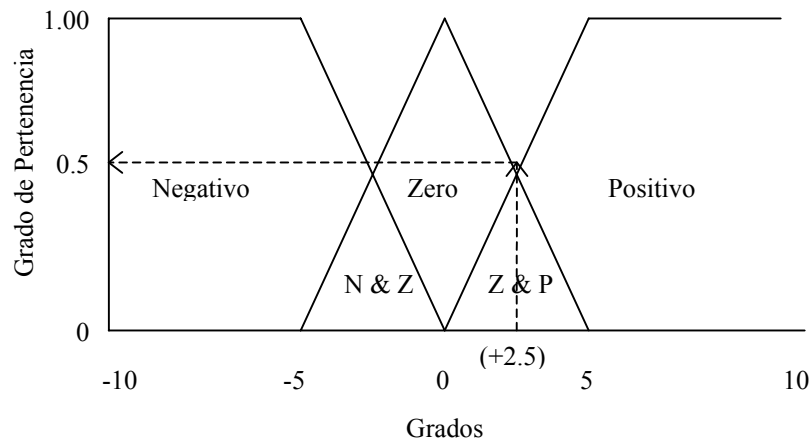
La pregunta ahora es como se aplican las reglas anteriormente mencionadas. Esto da lugar al concepto de funciones de pertenencia. La función de pertenencia es una representación gráfica de la magnitud de participación de cada entrada. Esta asocia un peso a cada una de las entradas que están siendo procesadas, define el solapamiento funcional de entradas y en ultima instancia determina la repuesta de salida. Las reglas utilizan el valor de pertenencia como factores de peso para determinar su influencia en la conclusión del conjunto de salidas difusas.

Una vez que las funciones son inferidas, pesadas y combinadas, estas son defusificadas en una única salida continua que es el que gobierna al sistema.

**Eiemplo de función de nertenencia de Error**



**Eiemplo de función de nertenencia de  $d(\text{Error})/dt$**



## Grado de pertenencia de las Entradas

$$\begin{aligned} \text{"Error"} = -1.0 & \rightarrow \text{"negativo"} = 0.5 \text{ y "cero"} = 0.5 \\ \text{"d(Error)/dt"} = +2.5 & \rightarrow \text{"cero"} = 0.5 \text{ y "positivo"} = 0.5 \end{aligned}$$

Remplazando esto en la matriz de raíces vemos que debido al valor del error quedan seleccionadas las reglas 1,2,4,5,7,8 mientras que la derivada del error selecciona desde la 4 a la 9. Al combinar lógicamente las reglas (mínimo) solo cuatro(4, 5, 7, 8) son disparadas es decir dan como resultado mas de cero y se obtiene la fuerza con que es disparada cada regla (peso).

1. IF error =N AND d(error)dt =N THEN salida = E (0.5 & 0.0 = 0.0)
2. IF error =Z AND d(error)dt =N THEN salida = C (0.5 & 0.0 = 0.0)
3. IF error =P AND d(error)dt =N THEN salida = C (0.0 & 0.0 = 0.0)
4. IF error =N AND d(error)dt =Z THEN salida = E (0.5 & 0.5 = 0.5)
5. IF error =Z AND d(error)dt =Z THEN salida = - (0.5 & 0.5 = 0.5)
6. IF error =P AND d(error)dt =Z THEN salida = C (0.0 & 0.5 = 0.0)
7. IF error =N AND d(error)dt =P THEN salida = E (0.5 & 0.5 = 0.5)
8. IF error =Z AND d(error)dt =P THEN salida = E (0.5 & 0.5 = 0.5)
9. IF error =P AND d(error)dt =P THEN salida = C (0.0 & 0.5 = 0.0)

## Realización de Inferencia

Los productos lógicos de cada regla deben ser combinados o deducidos antes de poder ser pasados a la etapa de defuzificación.

Existen varios métodos de inferencia o de combinación: max-min, max-producto, promedio, raíz de la suma de cuadrados (RSS).

En este ejemplo sencillo se utilizara este ultimo método ya que es uno de los mejores.

$$\text{"negativo"} = (R1^2 + R4^2 + R7^2 + R8^2)^{1/2} = (0.0^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.5^2)^{1/2} = 0.866 \text{ (Enfriar)}$$

$$\text{"cero"} = (R5^2)^{1/2} = 0.5 \text{ (Sin Cambio)}$$

$$\text{"positivo"} = (R2^2 + R3^2 + R6^2 + R9^2)^{1/2} = (0.0^2 + 0.0^2 + 0.0^2 + 0.0^2)^{1/2} = 0.0 \text{ (Calentar)}$$

De esta manera se ha calculado la fuerza de activación de cada una de las funciones de pertenencia de las variables de salida.

## Defuzificación

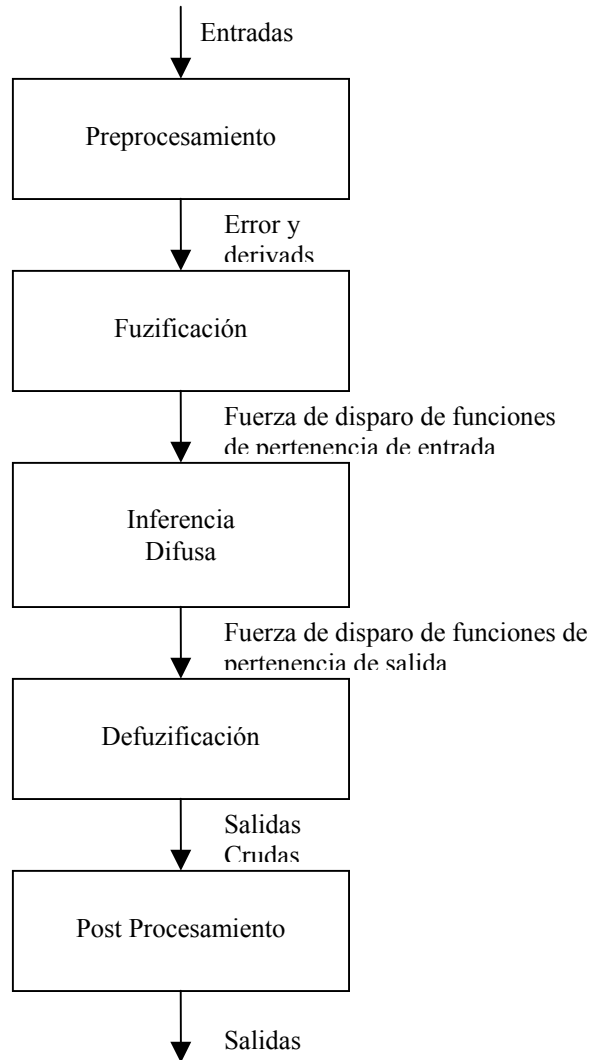
La defuzificación de los datos para volver a una salida continua se realiza combinando los resultados obtenidos en la inferencia y calculando el centroide de cada una de las funciones de pertenencia de la variable de salida. La salida será el promedio pesado de cada uno de los centroides por su respectiva fuerza de activación.



$$\text{Salida} = \frac{(\text{cent\_neg} \times \text{fuerza\_neg} + \text{cent\_cero} \times \text{fuerza\_cero} + \text{cent\_pos} \times \text{fuerza\_pos})}{\text{fuerza\_neg} + \text{fuerza\_cero} + \text{fuerza\_pos}}$$

## Estructura de un Sistema de Lógica Difusa

La estructura esta compuesta de 5 etapas.



En los sistemas de tiempo real se requiere que cada uno de estos bloques pueda ser ejecutado en un tiempo que no debe exceder un máximo especificado ya que de lo contrario puede abrirse el lazo de control

## Bibliografía

1. "Bringing Fuzzi Logic Into Focus", Byron Miller, Embedded Systems Prog ,Diciembre 1995
2. "Fuzzy Logic Basics: Intuitive rules replace complex math" Brubaker,EDN, Junio 18,1992 p.111
3. "The Fuzzi Systems Hanbook", Cox, Academic Press, 1994