

# Capítulo 2

## Sistemas Expertos y

### Lógica Difusa

#### 2.1 Sistemas Expertos

Los sistemas expertos son programas computacionales diseñados para tener disponibles las habilidades de los expertos a los no expertos. Estos programas tratan de emular los patrones de razonamiento del experto. Algunos de los primeros sistemas expertos fueron los programas de Dendral en 1965, los cuales determinaban la estructura molecular de la información de un espectrómetro de masa; Rule Interpreter (RI) desarrollado por McDermott usado para configurar sistemas computacionales y MYCIN (llamado así porque muchos antibióticos tienen el sufijo “mycin”)

paradiagnósticos médicos. Desde mediados de 1960's se desarrollaron varios sistemas expertos en diferentes áreas, desde lanzamientos aeroespaciales hasta unidades de monitoreo de cuidados intensivos [7].

Podemos ver el conocimiento humano como declarativo, es decir, hechos que son guardados en la memoria y como procedimientos, habilidades para utilizar el conocimiento declarativo para algún propósito. Los sistemas expertos no son considerados como sistemas de Inteligencia Artificial, ya que un sistema experto no aprende ni mejora con la experiencia, sin embargo, si agregamos hechos a su base de datos, adquiere conocimientos y si agregamos reglas, aumenta sus habilidades.

Existen varias formas para crear programas que actúen como sistemas expertos, los primeros y más utilizados son los sistemas basados en reglas, los cuales usan reglas si-entonces para representar el proceso de razonamiento del experto (si la información coincide con ciertas condiciones especificadas, entonces se toman las acciones apropiadas). Algunos expertos en conocimiento, opinan que una parte significativa del razonamiento humano puede expresarse en forma de reglas, lo que le da un interés adicional a los sistemas basados en reglas. Algunas otras maneras de diseñar sistemas expertos son: redes semánticas o asociativas, frames, y redes neuronales [8].

## **2.2 Lógica Difusa**

Los primeros estudios de la lógica difusa fueron realizados en 1965 por el ingeniero Lotfy A. Zadeh, con el principio de incompatibilidad: “Conforme la complejidad de un sistema aumenta, nuestra capacidad para ser precisos y construir

instrucciones sobre su comportamiento disminuye hasta el umbral más allá del cual, la precisión y el significado son características excluyentes”[7]. La lógica difusa permite a los sistemas trabajar con información que no es exacta, es decir dicha información contiene un alto grado de imprecisión, contrario a la lógica tradicional que trabaja con información definida y precisa.

### 2.2.1 Conjuntos Difusos

Existen conceptos que no tienen límites claros, es por eso que surge la necesidad de trabajar con conjuntos difusos. Un conjunto difuso se encuentra asociado por un valor lingüístico que está definido por una palabra, etiqueta lingüística o adjetivo.

En los conjuntos difusos la función de pertenencia puede tomar valores del intervalo entre 0 y 1, y la transición del valor entre cero y uno es gradual y no cambia de manera instantánea como pasa con los conjuntos clásicos [7]. Un conjunto difuso en un universo en discurso puede definirse con la siguiente ecuación (1):

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\} \quad (1)$$

Donde  $\mu_A: x \rightarrow [0,1]$  es la función de pertenencia,  $\mu_A(x)$  es el grado de pertenencia de la variable  $x$  y  $U$  es el universo en discurso. Entre más cerca esté  $A$  del valor 1, mayor será la pertenencia del objeto  $x$  al conjunto  $A$ .

### 2.2.2 Funciones de pertenencia

Las funciones de pertenencia nos permiten representar gráficamente un conjunto difuso. En el eje “x” (abscisas) se representa el universo en discurso, mientras que en el eje “y” (ordenadas) se sitúan los grados de pertenencia en el intervalo [0,1].

Para definir un conjunto difuso, se puede utilizar cualquier función, sin embargo, hay ciertas funciones que son más frecuentemente usadas debido a su simplicidad matemática, entre ellas podemos mencionar las funciones tipo triangular, trapezoidal, parabólicas y gaussiana.

Este proyecto se enfoca al uso de funciones triangulares (figura 2.1) y trapezoidales (figura 2.2) ya que son éstas las que representan los conjuntos del control que se propone, la función de pertenencia de un elemento x se puede calcular de la siguiente manera ecuación [2] para funciones triangulares y ecuación [3] para funciones trapezoidales [9]:

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x - P_1}{P_2 - P_1} & P_1 < x < P_2 \\ \frac{P_3 - x}{P_3 - P_2} & P_2 < x < P_3 \\ 0 & x < P_1 \quad \text{ó} \quad x > P_3 \\ 1 & x = P_2 \end{cases} \quad (2)$$

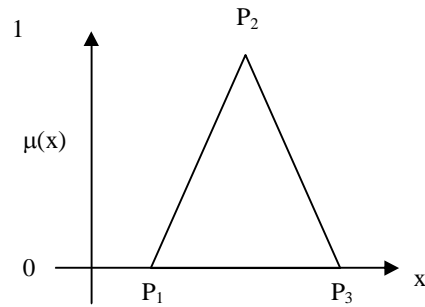


Figura 2.1 Función de pertenencia de un conjunto triangular

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-P_1}{P_2-P_1} & P_1 < x < P_2 \\ 1 & P_2 < x < P_3 \\ \frac{P_4-x}{P_4-P_3} & P_3 < x < P_4 \\ 0 & x < P_3 \text{ ó } x > P_4 \end{cases} \quad (3)$$

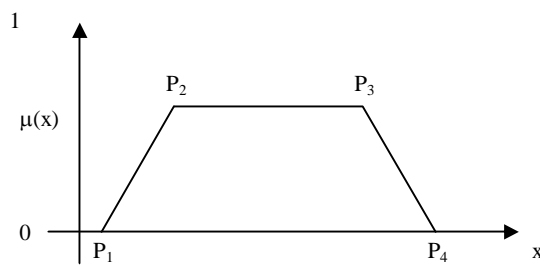


Figura 2.2 Función de pertenencia de un conjunto trapezoidal

La figura.2.3 muestra un ejemplo de una variable difusa que describe la temperatura del agua de una regadera, como se puede observar esta formado por 5 conjuntos difusos que conforman el universo en discurso “Temperatura”, estos conjuntos difusos tienen un valor lingüístico asociados a ellos como: “Helado”, “Frío”, “Ambiente”, “Tibio”, “Caliente”, cada conjunto es definido por 3 puntos por ser un conjunto triangular, si tomamos como ejemplo Frío estaría limitado por T1, T2 y T3. Si tomamos como entrada la x que se encuentra representada en la figura 2.3 por la flecha podemos decir que la función de pertenencia es  $\mu(x) = 0.4$  para el conjunto “Frío” y  $\mu(x) = 0.6$  para el conjunto “Ambiente”.

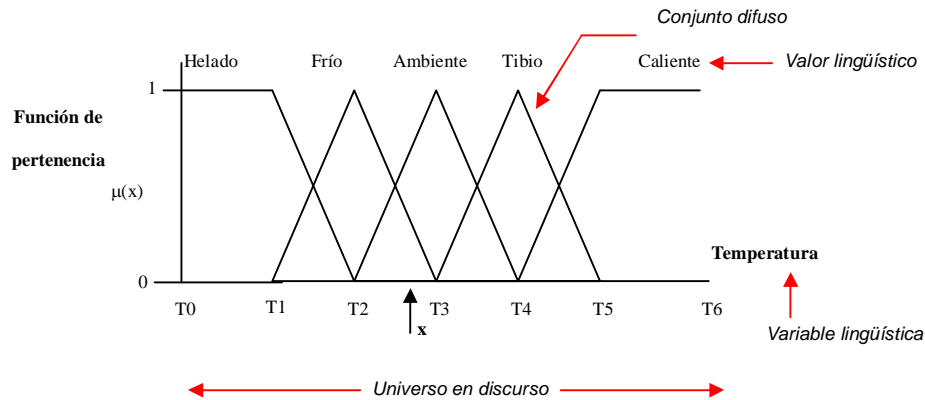


Figura 2.3 Conjunto Difuso “Temperatura”

### 2.3 Control Difuso

El control difuso es una alternativa práctica para resolver una variedad de complejas aplicaciones de control, ya que propone un método para construir controles no lineales a través de información heurística. Al desarrollar un controlador difuso es

posible prescindir de la rigidez matemática y transmitir el raciocinio humano a un sistema. El diagrama a bloques de un control difuso se muestra en la figura 2.4, y está compuesto de los siguientes 4 elementos:

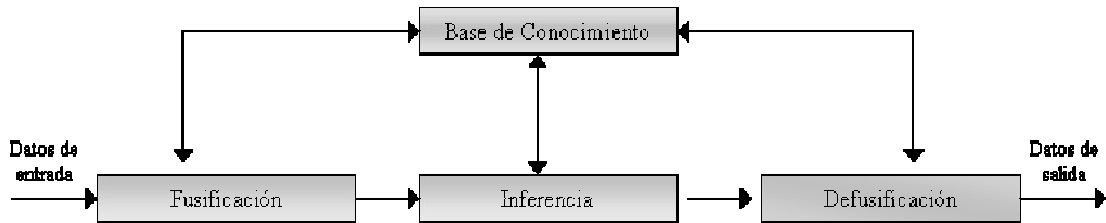


Figura 2.4 Diagrama a bloques de un control difuso

### 2.3.1 Fusificación

La fusificación tiene como objetivo convertir valores crisp o valores reales en valores difusos. En la fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos [8].

### 2.3.2 Base de Conocimiento

La base de conocimiento contiene el conocimiento asociado con el dominio de la aplicación y los objetivos del control. En esta etapa se deben definir las reglas lingüísticas de control que realizarán la toma de decisiones que a su vez decidirán la forma en la que debe actuar el sistema [8].

### 2.3.3 Inferencia

La inferencia es el proceso mediante el cual se genera un mapeo para asignar a una entrada una salida utilizando lógica difusa. El proceso de inferencia provee las bases para la toma de decisiones del sistema. Este proceso involucra la utilización de funciones de pertenencia y las reglas generadas en la base de conocimiento. Existen diferentes métodos de inferencia, los más comunes son los de Mamdani y Takagi-Sugeno-Kang.

El método Mamdani utiliza reglas tipo si-entonces (if-else). Una regla de la base de reglas o base de conocimiento tiene dos partes, el antecedente y la conclusión como se observa en la figura 2.5. En un sistema difuso tipo Mamdani tanto el antecedente como el consecuente de las reglas están dados por expresiones lingüísticas [7].

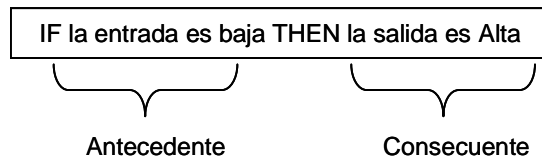


Figura 2.5 Regla tipo si-entonces Mamdani

Las reglas de la base de conocimiento de un sistema Sugeno son diferentes a las de los sistemas Mamdani pues el consecuente de estas reglas ya no es una etiqueta lingüística sino que es una función de la entrada que tenga el sistema en un momento dado (figura 2.6).

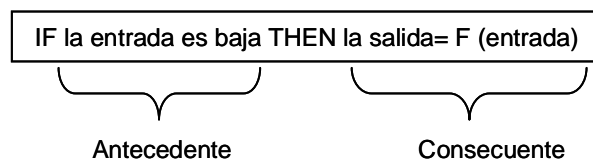


Figura 2.6 Regla tipo si-entonces Sugeno



En los sistemas difusos tipo Sugeno, los valores que arrojan los consecuentes de las diferentes reglas que se han activado en un momento determinado ya son valores numéricos por lo que no se necesita una etapa de defusificación [7].

### 2.3.4 Defusificación

Después de la inferencia, tendremos una conclusión difusa, una variable lingüística cuyos valores han sido asignados por grados de pertenencia, sin embargo usualmente necesitamos un escalar que corresponda a estos grados de pertenencia, ha este proceso se le llama defusificación. En la defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método del Centroide, método promedio máximo, método del promedio ponderado y método de membresía del medio del máximo [8].

Método promedio máximo: es el más simple. En la figura 2.7 el máximo grado de membresía abarca desde el valor de  $x = 43$  hasta  $x = 55$ . El promedio es 49, este es el valor de salida de la defusificación por el método del promedio máximo, y esta dado por la ecuación (4):

$$\text{Método promedio máximo} = \frac{x_{\max_1} + x_{\max_2}}{2} \quad (4)$$

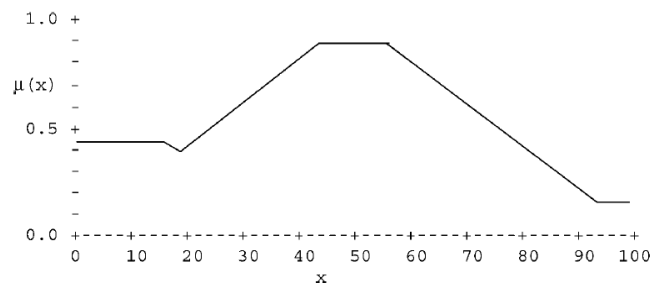


Figura 2.7 Método promedio máximo

Método promedio ponderado: En la figura 2.7 tenemos dos máximos de  $x=0$  a  $x= 15$  con un grado de membresía de  $\mu_1= 0.42$  y el segundo de  $x=43$  a  $x= 55$  con un grado de membresía de  $\mu_2= 0.88$ . Tomamos el promedio de los dos máximos, cada uno con su grado de membresía y se suman los productos, y se divide esta suma con la suma de las membresías, para este caso el valor de salida de defusificación sería 35.6 y si tenemos  $n$  máximos locales la ecuación (5) general es:

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (x \max_i \cdot \mu(x \max_i))}{\sum \mu(x \max_i)} \quad (5)$$

Donde:

- $n$ = número de máximos
- $x_{max}$ = valor de  $x$  del máximo
- $\mu(x_{max})$ = es el valor de pertenencia del máximo

Método de centroide: es el más utilizado por los ingenieros de control. Este método también conocido como Centro de Área (COA) calcula el centro de gravedad del polígono que se generó en la inferencia [8].

En este capítulo se dio una breve introducción a los sistemas expertos y a la lógica difusa. Se describieron las partes de un control difuso. Estos conceptos se utilizarán en el Capítulo 3 para diseñar el control difuso para el sistema de enderezado de chasis en frío.