INTRODUCCIÓN.

La lógica difusa nace en 1965 a partir de la publicación del artículo "Fuzzy Sets" escrito por Lofti A. Zadeh para la revista Information and Control. En contraste con la lógica convencional, que utiliza conceptos absolutos para referirse a la realidad, la lógica difusa la define en grados variables de pertenencia a los mismos, siguiendo patrones de razonamiento similares a los del pensamiento humano.

Así por ejemplo, mientras dentro del marco rígido de la lógica formal un recinto está solamente "oscuro" (0) o claro (1), para la lógica difusa son posibles también todas las condiciones relativas intermedias percibidas por la experiencia humana como "muy claro", "algo oscuro", "ligeramente claro", "extremadamente oscuro", etc. Las condiciones extremas o absolutas asumidas por la lógica formal son sólo un caso particular dentro del universo de la lógica difusa. Esta última nos permite ser relativamente imprecisos en la representación de un problema y aún así llegar a la solución correcta.

Actualmente, muchos productos de uso corriente (cámaras fotográficas y de video, lavadoras, aparatos de aire acondicionado, refrigeradores, alarmas, electrodomésticos, etc.), así como una gran variedad de controladores industriales, dispositivos médicos, sistemas de seguridad en reactores nucleares, robots y otros sistemas relativamente complejos, están basados en la lógica difusa.

BREVE RESEÑA HISTÓRICA.

Desde la época de los grandes filósofos griegos se ha venido cuestionando la efectividad de la dicotomía cierto-falso y posteriores pensadores también han formulado sus conceptos hasta cuando Zadeh habla de los conjuntos difusos y moldea luego la teoría de la lógica difusa como se observa a continuación:

- En el 380 A.C., Aristóteles propone la existencia de grados de verdad o falsedad.

- En el siglo XVIII, en Inglaterra el filósofo David Hume habla de la lógica del sentido común (razonamiento basado en la experiencia que la gente comúnmente adquiere de sus vivencias por el mundo). El filósofo norteamericano Charles Sander Pierce, fue el primero en considerar la vaguedad en vez de la dicotomía cierto-falso, como una forma de enmarcar cómo el mundo y las personas funcionan. También en este siglo es inventada la teoría original de conjuntos clásicos de unos y ceros por el matemático alemán Georg Kantor.

- En 1920 el filósofo polaco Jan Lukasiewicz propone la primera lógica de vaguedad. Desarrolló conjuntos con posibles valores de pertenecía 0, ½ y 1 (lógica trivaluada). Posteriormente los extendió hacia un número infinito de valores entre 0 y 1 (lógica multivaluada).

- En 1962 Lotfi Zadeh cuestiona la efectividad de las matemáticas tradicionales, las cuales resultaban intolerantes ante la imprecisión y ante verdades parciales.

- En 1964 Aparece por primera vez la noción de conjuntos difusos en un memorándum debido al mismo Zadeh en la Universidad de California en Berkeley. Dicho memorándum es publicado un año más tarde bajo el título: "Fuzzy Sets" (Conjuntos difusos).

- En 1965, la revista "Information and Control" publica el memorándum anterior, en donde aparece el artículo de Zadeh, "Fuzzy Sets".

- En 1971, Zadeh publica el artículo, "Quantitative Fuzzy Semantics", en donde Introduce los elementos formales que acabarían componiendo el cuerpo de la doctrina de la lógica difusa y sus aplicaciones tal como se conocen en la actualidad.

- En 1974, el Británico Ebrahim Mandani, demuestra la aplicabilidad de la lógica difusa en el campo del control. Desarrolla el primer sistema de control Fuzzy práctico, la regulación de un motor de vapor.

- A finales de los 70's, Los ingenieros daneses Lauritz Peter Holmbland y jens-Jurgen Ostergaard desarrollan el primer sistema de control difuso comercial, destinado a una planta de cemento. Los japoneses empiezan a explotar la lógica difusa de forma masiva. Los occidentales asumieron una actitud reacia principalmente por dos razones: la primera era porque la palabra "Fuzzy" sugería algo confuso y sin forma, y la segunda porque no había forma de probar analíticamente que la teoría funcionaba correctamente, ya que el control fuzzy no estaba basado en modelos matemáticos.

- Aparecen toda una serie de investigadores japoneses en el campo de la lógica difusa tales como Sugeno, Togai, Bart Kosko (el fuzzsensei), entre otros.

- En 1986, Yamakawa, publica el articulo, "Fuzzy Controller hardward system". Desarrolla controladores fuzzy en circuitos integrados.

- En 1987, se inaugura en Japón el subterráneo de Sendai, uno de los más espectaculares sistemas de control difuso creados por el hombre. Desde entonces el controlador inteligente ha mantenido los trenes rodando eficientemente.

- En 1987, "FUZZY BOOM", se comercializan multitud de productos basados en la lógica difusa (sobre todo en Japón).

¿QUÉ ES LA LOGICA DIFUSA?

La lógica difusa es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta, en general la lógica difusa imita como una persona toma decisiones basada en información con las características mencionadas. Una de las ventajas de la lógica difusa es la posibilidad de implementar sistemas basados en ella tanto en hardware como en software o en combinación de ambos.

Se fundamenta en los denominados conjuntos difusos y un sistema de inferencia difuso basado en reglas de la forma “SI…ENTONCES…..”, donde los valores lingüísticos de la premisa y el consecuente están definidos por conjuntos difusos, es así como las reglas siempre convierten un conjunto en otro.

En Inteligencia artificial, la *lógica difusa*, o *lógica borrosa* se utiliza para la resolución de una variedad de problemas, principalmente los relacionados con control de procesos industriales complejos y sistemas de decisión en general. Los sistemas basados en lógica difusa, imitan la forma en que toman decisiones los humanos, con la ventaja de ser mucho más rápidos. Estos sistemas son generalmente robustos y tolerantes a imprecisiones y ruidos en los datos de entrada.

CONJUNTOS DIFUSOS (FUZZY SETS).

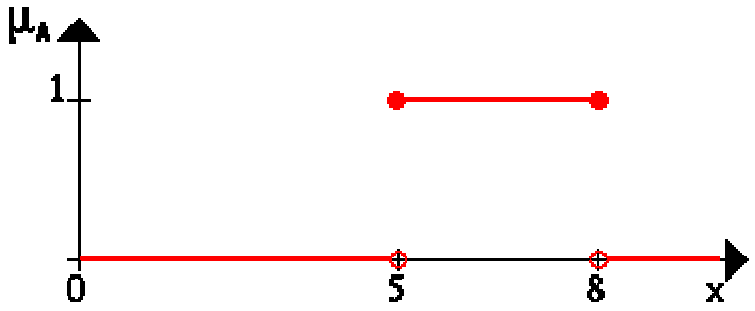
Un conjunto difuso es un aquel que puede contener elementos con grados parciales de pertenencia, a diferencia de los Conjuntos Clásicos (Crisp Sets) en los que los elementos pueden solamente "pertenecer" ó "No Pertenecer" a dichos conjuntos.

Ejemplo 1

Sea un conjunto X, formado por todos los números reales entre 0 y 10 (Universo de Discurso). Sea un conjunto A (subconjunto de X) definido como sigue,

A = {x | 5 <= x < = 8}

El conjunto A se puede representar mediante su Función de Pertenencia (Función que asigna a cada elemento de X [1] ó [0] dependiendo si el elemento pertenece o no pertenece al conjunto) como se ilustra en la siguiente figura:



El conjunto A es un conjunto clásico (Crisp). Aunque este tipo de conjuntos tiene mucha aplicabilidad en distintas áreas, hay ocasiones en donde la falta de flexibilidad de estos conjuntos los hace inapropiados, como se muestra a continuación.

Sea B = {conjunto de la gente joven}.

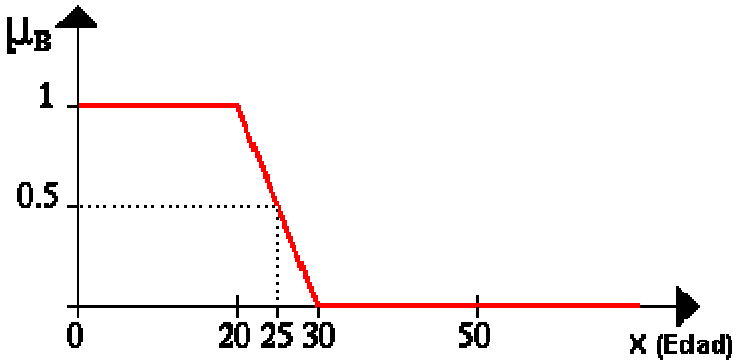
Un intento para construir este conjunto es definir un intervalo en años (conjunto clásico) de la siguiente manera:

B = [0, 20] = {x | 0 < = x < = 20}

Lo anterior implicaría que una persona sería joven hasta el día de su cumpleaños número 20, pero al siguiente día ya no lo sería. Ahora, si se cambiase el límite superior del intervalo el problema persistiría.

Una forma más natural de construir el conjunto B, es eliminando esa estricta separación entre ser joven y no serlo, admitiendo grados de pertenencia intermedios entre [0] y [1]. Por lo tanto el conjunto B será un Conjunto Difuso.

La función de pertenencia que podría describir el conjunto B sería la siguiente:



$$B=\left\{(x,\mu_B(x)),\begin{bmatrix}\mu_B(x)=1 & 0\le x\le 20\\ \mu_B(x)=-0.1x+3 & 20<x<30\\ \mu_B(x)=0 & x\ge 30\end{bmatrix}\right\}$$

De esta manera una persona de 25 años es todavía joven pero con un grado del 50%.

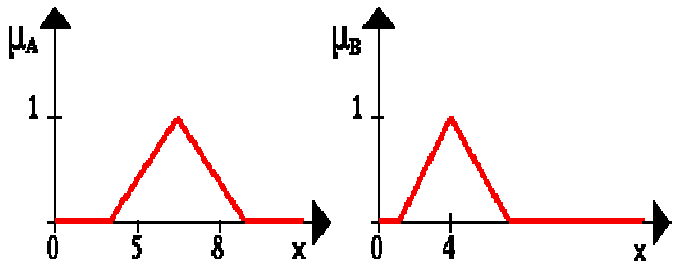
En términos generales una Función de Pertenencia o Membership Function (MF), es una curva que determina el grado de pertenencia de los elementos de un conjunto. Se denota generalmente por μ y puede adoptar valores entre 0 y 1.

Finalmente, se denomina Universo de Discurso al conjunto de valores que puede tomar una variable.

OPERACIONES BÁSICAS ENTRE CONJUNTOS DIFUSOS.

De manera similar a la que entre los conjuntos clásicos se realizan operaciones entre ellos, en conjuntos difusos se puede hacer lo mismo, pero debido a la naturaleza diferente de ellos la formulación de estas operaciones es algo especial.

En la figura de abajo, se muestran dos conjuntos difusos los cuales nos servirán para definir las operaciones fundamentales que entre ellos se pueden realizar.



Conjuntos difusos entre los se definirán las operaciones.

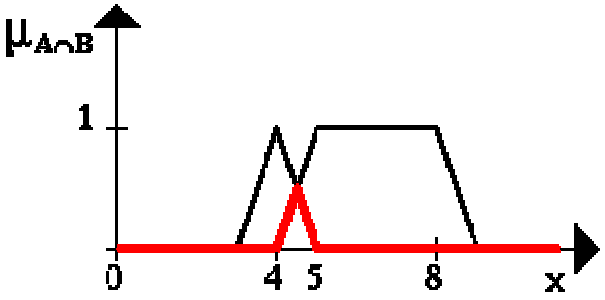
INTERSECCIÓN.

La idea intuitiva de intersección hereda de los conjuntos clásicos expresa que el conjunto intersección de dos conjuntos A y B, se define como los elementos que están en el conjunto A Y en el conjunto B; de esta manera la intersección entre conjuntos se puede entender como el una operación tipo AND entre los mismos.

La intersección entre A y B se define de la siguiente manera:

$$C = A \cap B \quad \forall x \in U$$

$$\mu_{A \cap B} = min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$$

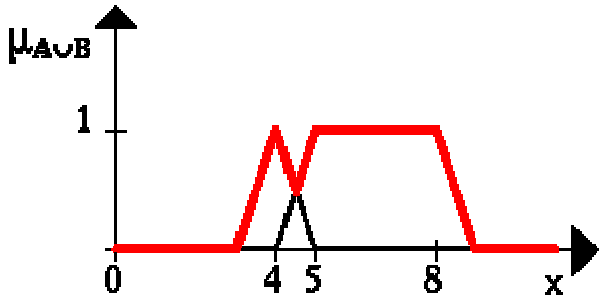


UNIÓN.

La idea intuitiva de unión hereda de los conjuntos clásicos expresa que el conjunto unión de dos conjuntos A y B, se define como los elementos que están en el conjunto A **OR** están en el conjunto B. de esta manera la intersección entre conjuntos se puede entender como el una operación tipo **OR** entre los mismos.

La unión entre A y B se define de la siguiente manera:

$$C = A \cup B \quad \forall x \in U$$
$$\mu_{A \cup B} = max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$$



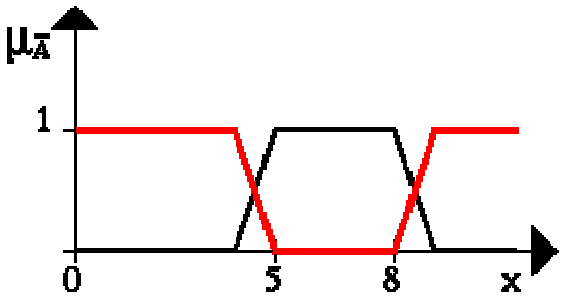
COMPLEMENTO.

En conjuntos clásicos se define el complemento como el conjunto de los elementos que le faltan a un conjunto para ser igual al conjunto universo.

De la misma manera en conjuntos difusos se habla del complemento como el conjunto formado por los valores de pertenecías que le permitirían al conjunto obtener el valor máximo de pertenencia posible, siendo 1 el valor máximo de pertenencia que un conjunto difuso puede suministrar, este conjunto se podría formar restando le a 1 los valores de pertenencia del conjunto difuso al que se desea encontrar el complemento.

El complemento de un conjunto se define como sigue:

$$\mu_{\overline{A}} - 1 - \mu_A$$



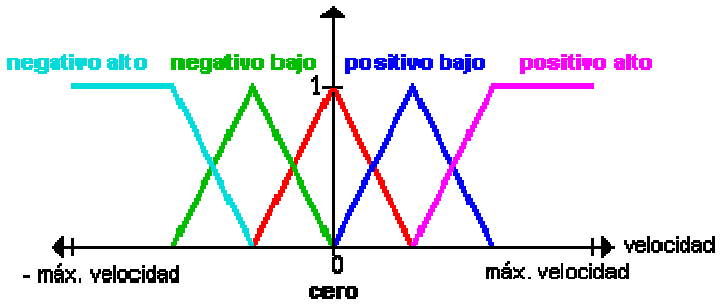
EL CONTROL DIFUSO.

Los controladores borrosos son las aplicaciones más importantes de la teoría difusa. Ellos trabajan de una forma bastante diferente a los controladores convencionales; el conocimiento experto se usa en vez de ecuaciones diferenciales para describir un sistema. Este conocimiento puede expresarse de una manera muy natural, empleando las variables lingüísticas que son descritas mediante conjuntos difusos.

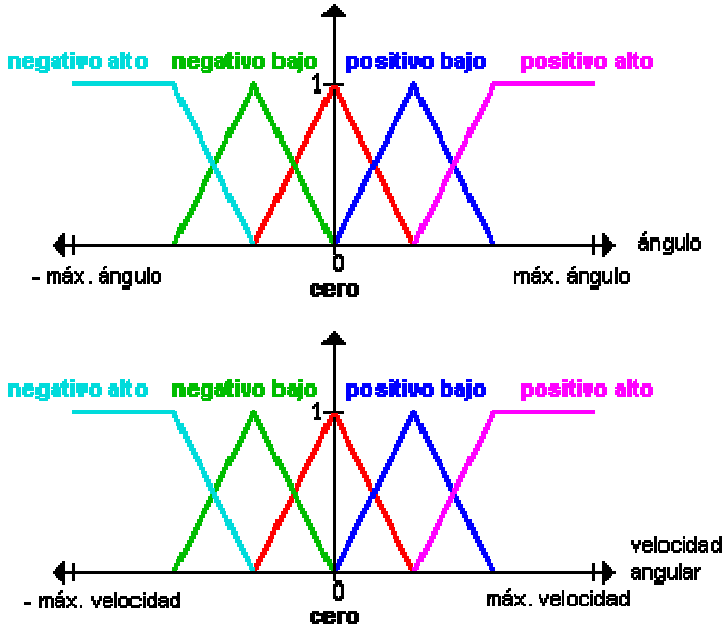
Ejemplo: El péndulo invertido.

El problema está en equilibrar una pértiga sobre una plataforma móvil que puede moverse en dos únicas direcciones, a la izquierda o a la derecha. Ante todo, nosotros tenemos que definir (subjetivamente) cual es la velocidad del andén: alta, baja, etc. Esto se hace para especificar las funciones pertenecientes al conjunto borroso:

- negativo alto (celeste)
- negativo bajo (verde)
- cero (rojo)
- positivo bajo (azul)
- positivo alto (morado)



Lo mismo se hace para el ángulo entre la plataforma y la pértiga, además de para la velocidad angular de este ángulo:



Apréciese que, para hacerlo más fácil, suponemos que al principio la pértiga está en una posición cercana a la central para que un ángulo mayor de, digamos, 45 grados en cualquier dirección no pueda - por definición - ocurrir.

Ahora daremos varias reglas que dicen qué hacer en situaciones concretas:

Considere por ejemplo que la pértiga está en la posición central (el ángulo es cero) y no se mueve (la velocidad angular es cero). Obviamente esta es la situación deseada, y por lo tanto no tenemos que hacer nada (la velocidad es cero).

Consideremos otro caso: el polo está en la posición central como antes, pero está en movimiento a baja velocidad en la dirección positiva. Naturalmente nosotros tendríamos que compensar el movimiento de la pértiga moviendo la plataforma en la misma dirección a baja velocidad.

De esta forma hemos constituido dos reglas que pueden ponerse en una forma más formalizada como esta:

Si el ángulo es cero y la velocidad angular es cero entonces la velocidad será cero.

Si el ángulo es cero y la velocidad angular es positiva baja entonces la velocidad será positiva baja.

Podemos resumir todas las reglas aplicables en una tabla:

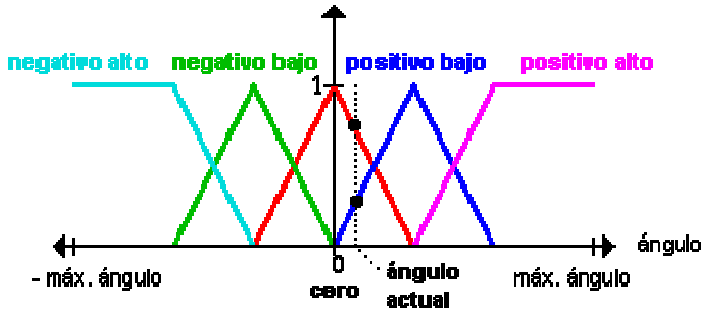
	Ángulo				
Veloc.	NA	NB	C	PB	PA
v	NA		NA		
.	NB		NB	C	
a	C	NA	NB	C	PB PA
n	PB		C	PB	
g	PA		PA		

donde NA es una (usual) abreviatura para negativa alta, NB para negativa baja, etc.

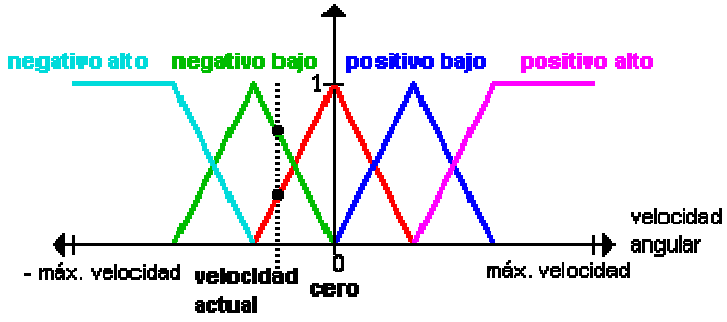
A continuación mostraremos como estas reglas pueden aplicarse con valores concretos para el ángulo y velocidad angular. Para ello vamos a definir dos valores explícitos para el ángulo y la velocidad angular para operar con ellos.

Consideremos la situación siguiente:

Un valor actual para el ángulo:



Un valor actual para la velocidad angular:

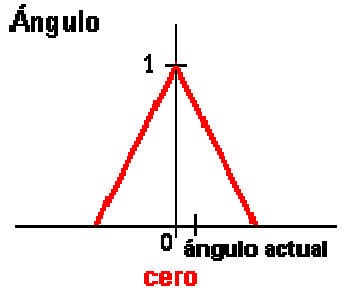


Ahora mostraremos como aplicar nuestras reglas a esta situación real.

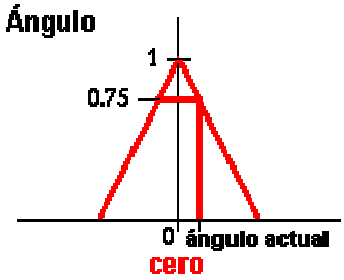
Veamos como aplicar la regla.

Si el ángulo es cero y la velocidad angular es cero entonces la velocidad será cero. A los valores que hemos definido.

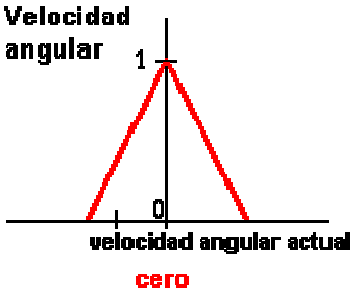
Esta es la variable lingüística "ángulo" donde nos centramos en el conjunto "cero" y el ángulo actual:



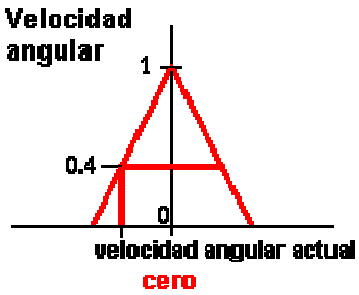
Nos damos cuenta que nuestro valor real pertenece al conjunto borroso "cero" en un grado de 0.75:



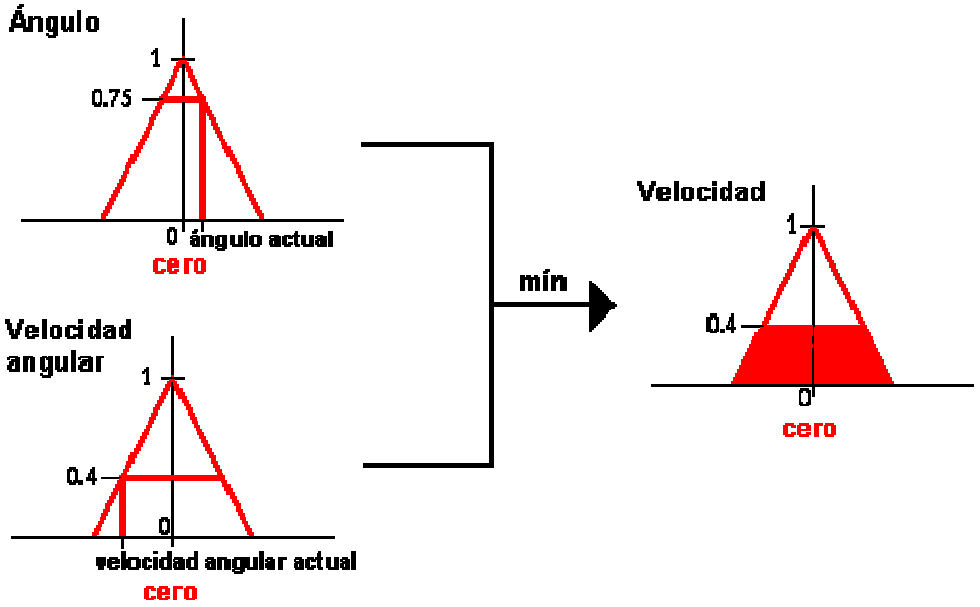
Ahora mostramos la variable lingüística "velocidad angular" donde nos centramos en el conjunto borroso "cero" y el valor actual de velocidad angular:



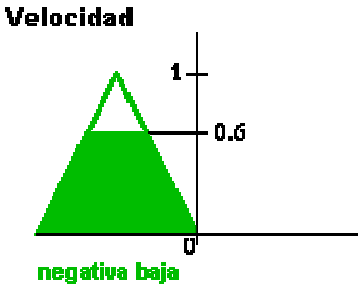
Nos damos cuenta que nuestro valor real pertenece al conjunto borroso "cero" en un grado de 0.4:



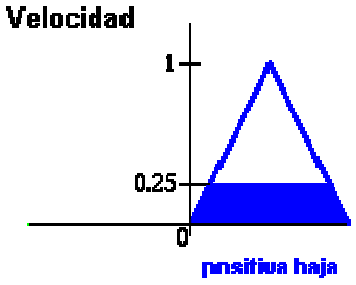
Como las dos partes de la condición de nuestra regla están unidas por una Y (operación lógica AND) calculamos el mín (0.75, 0.4)=0.4 y cortamos el conjunto borroso "cero" de la variable "velocidad" a este nivel (según nuestra regla):



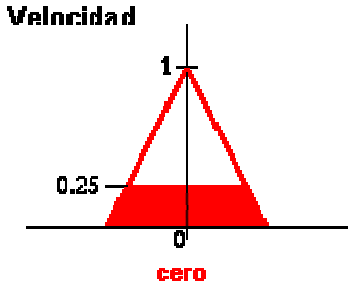
Por su parte, el resultado de la regla. Si el ángulo es cero y la velocidad angular es negativa baja entonces la velocidad será negativa baja es:



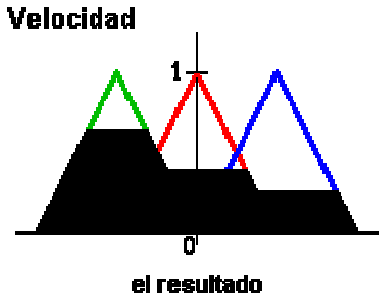
El resultado de la regla. Si el ángulo es cero y la velocidad angular es positiva baja entonces la velocidad será positiva baja es:



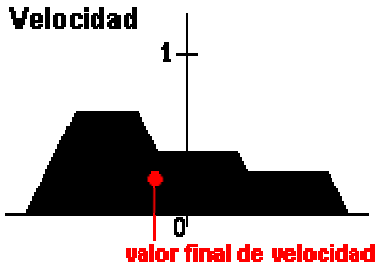
El resultado de la regla. Si el ángulo es positivo bajo y la velocidad angular es negativa baja entonces la velocidad será cero es:



Estas cuatro reglas solapadas desembocan en un resultado único:



El resultado del controlador borroso es un conjunto borroso (de velocidad), así que tenemos que escoger un valor representativo como salida final. Hay varios métodos heurísticos (métodos de claridad o defuzzification), uno de ellos es tomar el centro de gravedad del conjunto borroso:



El procedimiento completo se denomina controlador de Mamdani.

APLICACIONES DE LA LÓGICA DIFUSA.

Principalmente, miraremos la aptitud del control borroso en términos generales.

El empleo del control difuso es recomendable:

- Para procesos muy complejos, cuando no hay un modelo matemático simple.
- Para procesos altamente no lineales.
- Si el procesamiento del (lingüísticamente formulado) conocimiento experto puede ser desempeñado.

El empleo del 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.