

**"Con la ciencia por
la humanidad"**



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LAREDO.

INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES.

Materia:

Inteligencia Artificial.

Catedrático:

Ing. Bruno López Takeyas.

Tema Equipo 3 :

Lógica Difusa.

Alumnos:

<i>Alvarado Rodríguez Javier Alonso</i>	<i>01100160</i>
<i>García Rodríguez Jesús</i>	<i>00100175</i>
<i>Hernández Santos Wendy</i>	<i>01100232</i>
<i>Martínez Castillo Eli Othoniel</i>	<i>01100251</i>
<i>Vidaurre González Juan Ramón</i>	<i>01100322</i>

Nuevo Laredo, Tamps a 26 de Agosto de 2005.

INDICE

INTRODUCCIÓN (HISTORIA).....	3
¿CÓMO NACE LA LÓGICA DIFUSA?.....	5
• ¿QUÉ ES LA LÓGICA DIFUSA?	
• CONCEPTOS DE LÓGICA DIFUSA	
CARACTERÍSTICAS.....	7
ETAPAS DE LA LÓGICA DIFUSA.....	8
APLICACIONES.....	9
EJEMPLOS DE PROBLEMAS RESUELTOS CON LÓGICA DIFUSA.....	12
BIBLIOGRAFÍA.....	39

LA LÓGICA DIFUSA.

INTRODUCCIÓN.

Surge como propuesta para la formalización de razonamiento aproximado, para tratar conocimiento de sentido común.

HISTORIA.

- 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, $\frac{1}{2}$ 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 hardware 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).

¿CÓMO NACE LA LÓGICA DIFUSA?

La Lógica Difusa nació en 1965 cuando el Dr. Zadeh publicó un artículo titulado "Conjuntos Difusos" en la revista científica Information and Control. En este artículo describió a través de la teoría matemática de conjuntos, como poder trabajar matemáticamente con expresiones imprecisas, tal como lo hace el ser humano.

TODO COMENZO COMO UNA BROMA.

Un día el Dr. Zadeh se enzarzo con un amigo en una larga discusión acerca de cual de sus dos mujeres era la más guapa. Cada uno consideraba que su mujer era más bonita que la del otro. Por supuesto no existe forma objetiva de medir la belleza. El concepto de "belleza" varía mucho entre las personas. A pesar de que la discusión se prolongo durante mucho tiempo, no pudieron llegar a una conclusión satisfactoria. Esta discusión disparo el deseo de Zadeh de lograr expresar numéricamente conceptos difusos como "más bonita" o "menos bonita".

Según Zadeh, no debería considerarse la teoría difusa como una simple teoría, sino que se debería considerar el proceso de difusificación (en inglés fuzzification) como una metodología para generalizar cualquier teoría desde su versión ordinaria (discreta) a una nueva versión continua (borrosa). Así puede hablarse de "cálculo borroso", "ecuaciones diferenciales borrosas", "autómatas borrosos", "sistemas dinámicos borrosos", etc.

¿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.....”

En contraste con la lógica tradicional, que utiliza conceptos absolutos para referirse a la realidad, la lógica difusa se 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 tradicional o 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 tradicional 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.

CONCEPTOS

LOGICA DIFUSA: Es un sistema matemático que modela funciones no lineales, que convierte unas entradas en salidas acorde con los planteamientos lógicos que usan el razonamiento aproximado.

LOGICA DIFUSA EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL: Método de razonamiento de maquina similar al pensamiento humano, que puede procesar información incompleta o incierta, característico de muchos sistemas expertos. Con la lógica difusa o borrosa se puede gobernar un sistema por medio de reglas de “sentido común” las cuales se refieren a cantidades indefinidas. En general la lógica difusa se puede aplicar tanto a sistemas de control como para modelar cualquier sistema continuo de ingeniería, física, biología o economía.

CONJUNTOS DIFUSOS: Son imprecisos, es decir, tienen implícito un cierto grado de difusidad en la descripción de su naturaleza. Esta imprecisión puede estar asociada con su forma, posición, momento, color, textura, o incluso en lo que son.

CARACTERÍSTICAS.

1.- Se basa en palabras y no en números, las verdades de los valores son expresados lingüísticamente. Por ejemplo: caliente, muy frío, verdad, lejano, cercano, rápido, lento, medio, etc.

2.- Ésta genera algunos modificadores del predicado como por ejemplo: mucho, más o menos, poco, suficientemente, medio, etc.

3.- También procesa un sistema amplio de cuantificadores, como por ejemplo: pocos, varios, alrededor, generalmente.

4.- Hace uso las probabilidades lingüísticas, como por ejemplo: probable, improbable, que se interpretan como números borrosos y son manipuladas por su aritmética.

5.- Maneja todos los valores entre 0 y 1, tomando éstos como límite solamente.

Así podemos decir que la Lógica Difusa de acuerdo a sus características:

- Usa una representación de conocimiento explícito.
- Realiza verificación y optimización de manera fácil y eficiente.
- No se puede entrenar, esto es que sea capaz de obtener nuevos conocimiento.

ETAPAS DE LA LÓGICA DIFUSA.

1. Fusificación (Fuzzification). Las funciones de pertenencia definidas para las variables de entrada se aplican a sus valores actuales correspondientes, para poder determinar el grado de verdad para cada regla de la premisa.

2. Inferencia Lógica. El valor de verdad para la premisa de cada regla se calcula, y aplica a la parte de conclusiones de cada regla. Este resultado se asigna a un subconjunto difuso para ser asignado a cada variable de salida para cada regla.

3. Difusificación (Defuzzification). La cual es usada cuando se desea convertir la salida difusa en un valor puntual numérico. Existen muchos métodos de dedifusificación (al menos 30).

OPERACIONES QUE SE PUEDEN REALIZAR CON LOS CONJUNTOS DIFUSOS.

Intersección

Complemento

Producto

Normalización

Concentración

Dilatación

Combinación convexa

Difusificación.

APLICACIONES:

Actualmente existen todo tipo de instrumentos, máquinas y procedimientos controlados borrosamente, adaptándose "inteligentemente" a cada situación particular: acondicionadores de aire, frigoríficos, lavadoras / secadoras, aspiradoras, hornos microondas, mantas eléctricas, ventiladores, autoenfoques fotográficos, estabilizadores de imágenes en grabadoras de vídeo, transmisiones de automóviles, suspensiones activas, controles de ascensores, dispensadores de anticongelantes para los aviones en los aeropuertos, sistemas de toma de decisiones industriales o económicas, y un largo etcétera.

Y así las aplicaciones las podríamos dividir en categorías por ejemplo :

Productos al consumidor:

- Lavadoras
- Hornos de microondas
- Procesadores de arroz
- Limpiadores al vacío
- Cámaras de video
- Televisores
- Sistemas térmicos
- Traductores. Es también utilizada en algunos correctores de voz para sugerir una lista de probables palabras a reemplazar en una mal dicha.

Las lavadoras “difusas” tienen mas de 400 ciclos preprogramados; a pesar de su complejidad tecnológica resultan mas fáciles de operar que las lavadoras tradicionales. El usuario solo pone en marcha la lavadora, el resto queda en manos del control difuso. El evalúa automáticamente el material, el volumen, la suciedad de la ropa, elige el ciclo óptimo de lavado, así como el caudal de agua que ha de emplear.

En las actividades domésticas cotidianas se inventó un sistema de ventilación que usa el control difuso para conmutar un ventilador según los conocimientos de cantidad de polvo, olores, temperatura y humedad ambiente.

El baño difuso, por ejemplo tiene un controlador que mantiene el agua a la temperatura ideal del usuario, ni muy fría ni muy caliente.

Sistemas:

- Elevadores
- Trenes
- Automóviles (máquinas, transmisiones, frenos)
- controles de tráfico

Una de las aplicaciones mas importantes de la teoría difusa se aplicaron en Sendai (Japón) donde se puso en servicio un metro controlado mediante lógica difusa, este tenia la peculiaridad de poseer controladores que hacían las frenada y la aceleraciones mucho mas suaves facilitando así la conducción.

A partir de los 90 se incluyo también en los ascensores consiguiendo así reducir el tiempo de espera y la seguridad de los mismos. También se ha comenzado a implementar en los controles de inyección electrónica del carburante y en los sistemas de guiado automático de coches, haciendo los controles complejos más eficientes y fáciles de utilizar.

Software:

- Diagnóstico Médico
- Seguridad
- Compresión de datos

SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La demanda de energía eléctrica es uno de los problemas mas difíciles de satisfacer en cualquier región del mundo, ya que se debe determinar que cantidad de energía utiliza la población de dicha región.

Para poder generar suficiente energía eléctrica para la población, las compañías eléctricas han implementado un sistema de control hidrotérmico y control de unidades termogas, ambos basados en una base de conocimientos y la utilización de lógica difusa.

El sistema de control hidrotérmico se encarga de determinar, en base a la estadística recopilada en su base de conocimientos, la cantidad de energía que utilizara la población de dicha región. Una vez determinada la cantidad de energía se encarga de controlar las turbinas; es decir cuando deben prenderse o apagarse, y por cuanto tiempo.

EL PROBLEMA DE PREDICCIÓN DE CLIMA EN EL AEROPUERTO.

La predicción del clima en un aeropuerto siempre ha sido un reto, ya que implica gran precisión. Un Pronóstico de Terminal Aérea (TAF, Terminal Aerodrome Forecast) es lo que se usa para conocer el clima y precisar detalles de vuelo. Los TAF's son hechos por meteorólogos expertos los cuales tienen gran conocimiento sobre el comportamiento del clima, así como una escala general para referir resultados.

Existen varios tipos de pronósticos, pero los más comunes son los TAF's, pronósticos públicos y pronósticos marinos. Estos especifican con precisión muchos de los detalles que debe tomar en cuenta un piloto o alguna nave que necesite hacer movimientos o cálculos precisos, unos cuantos metros pueden ser la diferencia.

EJEMPLOS DE PROBLEMAS RESUELTOS CON LÓGICA DIFUSA.

EJEMPLO1. Banco de Pruebas Inteligente para Lavado

Presentación del Problema.

¿Por qué considerar el proceso del lavado como un problema? ¿Por que preocuparse por un proceso de lavado que casi no ha sufrido grandes cambios desde su origen, y que aún hoy en día es tan popular?

Una de las respuestas es que el proceso de lavado no es un proceso adecuado. Con esta respuesta tal vez surja otra pregunta: ¿existen los procesos adecuados? Obviamente no, pero los procesos existentes son bastante deficientes en cuanto al ahorro de agua y de energía se refieren. Además, si no existieran más y mejores formas de llevar a cabo la tarea de lavado de la ropa, seguramente esto dejaría de ser un problema.

Si bien es cierto que existen varios adelantos en distintas disciplinas que involucran al proceso de lavado y también es cierto que es un problema de interés mundial. ¿Porque no se ha hecho algo para mejorarlo?

Es evidente que se necesita urgentemente un cambio en el proceso. Sin embargo, para poder llevar a cabo un cambio de esta magnitud deben de cumplirse tres aspectos: querer, poder y saber.

El rechazo a lo nuevo y a lo desconocido provoca que la gente prefiera dejarse llevar por sus hábitos y sus costumbres, evitando así cualquier intento de cambio. En otros casos el rechazo se debe a la idea que una acción mecánica tiene mejores resultados, debido a que se parece más a la forma “natural” y tiene más “sentido”.

Debido a esto, las compañías se ven obligadas a abandonar un proyecto que no tiene mercado. En otras ocasiones este abandono puede deberse a los altos costos que implica un nuevo tipo de lavado.

Los avances en la electrónica, sensores, actuadores, la computación y el desarrollo de la Inteligencia Artificial, así como también en la química de

detergentes, de blanqueadores y suavizantes, nos acercan a la posibilidad de realizar parte de ese cambio.

Si tomamos en cuenta las preferencias de la gente y sacamos ventaja de los beneficios que ofrecen las nuevas tecnologías, en el diseño de un nuevo proceso de lavado, sólo nos resta reconocer si disponemos del conocimiento necesario y suficiente para poder realizar un cambio integral.

Es debido en parte, desafortunadamente, a la carencia de información de cómo se relacionan las diferentes variables involucradas en el proceso, lo que finalmente ha detenido la evolución del proceso de lavado.

Esto se debe a que los parámetros en que se mide la eficiencia del ciclo de lavado, tienen un origen muy difícil de implementar en un modelo matemático, esto es, que los parámetros están más asociados con el sentido común de la gente que con un estricto pensamiento matemático, Más aun, la experiencia acumulada, registrada y estudiada es bastante difícil de integrar en un proceso tan complejo.

Se ha detectado que el camino más rentable es realizar un **control inteligente**: poder determinar automáticamente la cantidad de ropa, grado de suciedad, suministro de detergente necesario para el lavado, cantidad de agua suficiente y adecuar el proceso de lavado debido a las nuevas condiciones que se estén presentando en la lavadora, esto es por ejemplo, si el agua se encuentra muy sucia entonces agregar más manteniendo la temperatura asignada, o si hace falta detergente suministrar más cuidando que el agua no se satura, además de ir adecuando el tiempo de lavado con esto queremos decir que si la ropa no esta soltando más mugre entonces no es necesario seguir agitando por lo que es conveniente para el proceso de lavado.

En las lavadoras actuales el usuario selecciona la cantidad, de ropa, tipo y grado de suciedad que cree conveniente y el control electrónico mediante ecuaciones paramétricas matemáticas es capaz de calcular el nivel de agua, cantidad de detergente, temperatura del agua, tiempo y frecuencia de agitación, etc.

Los problemas que observamos en todas las lavadoras, es que los ciclos de lavado son fijos, esto es el tiempo de lavado, la cantidad de detergente, la temperatura, la cantidad de agua etc., son valores que se determinan cuando se pone a trabajar la lavadora pero que no se ajustan mientras el proceso de lavado esta avanzando. Estos muchas veces influyen a que la ropa no quede completamente limpia o que estemos desperdiciando insumos.

La relación que existe entre cada una de las variables que influyen en el proceso de lavado son difícil de determinar por lo que el desarrollo de un sistema para realizar pruebas cambiando las variables que influyen en el lavado, desarrollar nuevas técnicas y modos de agitación, probar partes mecánicas, ayudará a los ingenieros a poder identificar las variables más importantes que hay que controlar, saber como se comporta la lavadora a diferentes condiciones y desarrollar partes mecánicas más adecuadas para las nuevas lavadoras.

Uno de los principales objetivos de este trabajo es poder mantener la turbiedad del agua dentro de limites establecidos por VED, además de mantener la conductividad del agua dentro de rangos aceptables para el proceso de lavado.

Estudio del proceso de lavado.

El lavado de ropa es un procedimiento complejo el cual involucra numerosos factores físicos y químicos. El proceso de lavado puede ser definido como la acción de remover residuos e impurezas que se encuentran en las prendas.

Existen cuatro factores principales que intervienen en el proceso de lavado: factor químico (detergente), factor mecánico (provisto al tallar la ropa), factor térmico (temperatura del agua) y tiempo de lavado. Una combinación correcta de estos factores da como resultado una mejor limpieza de la ropa, sin dañarla, el ahorro de agua, logrando así menores tiempos de lavado lo que implica un ahorro de energía y de recursos naturales [8].

La cantidad de agua, tiempo de lavado, frecuencia de agitación y temperatura del agua, son algunos de los parámetros que hay que controlar para poder tener un lavado adecuado, estos parámetros dependen de las siguientes variables físicas :

Naturaleza de la mugre. Existen diferentes tipos de mugre, dependiendo de su naturaleza :

- ☐ Materiales Solubles al agua : Sales inorgánicas, azúcar, transpiración.
- ☐ Pigmentos : Oxidos metálicos, carbonatos, silicatos, carbón.
- ☐ Grasas : Grasa animal, grasa vegetal, sebo, aceite, cera.
- ☐ Proteínas : Sangre, huevo, leche.
- ☐ Residuos naturales: Frutas, vegetales, vino, café, té.

Naturaleza del sustrato. La tela se puede agrupar en diferentes tipos, dependiendo del origen de la fibra, composición y tipo de tejido:

- ☐ Textiles Básicos: Algodón, Lino, Seda y combinaciones de estas.
- ☐ Sintéticos : Rayón, nylon.

La composición del baño. El baño se conoce como la mezcla de agua, detergente y otros productos de limpieza.

Las condiciones físicas y mecánicas del lavado. La temperatura, tipo y tiempo que se aplica la acción mecánica.

La cantidad de mugre, ropa y baño. El aplicar el detergente necesario para que se disuelva completamente y para que la ropa se limpie es muy importante por lo que estos factores influyen en la cantidad que hay que aplicar de este.

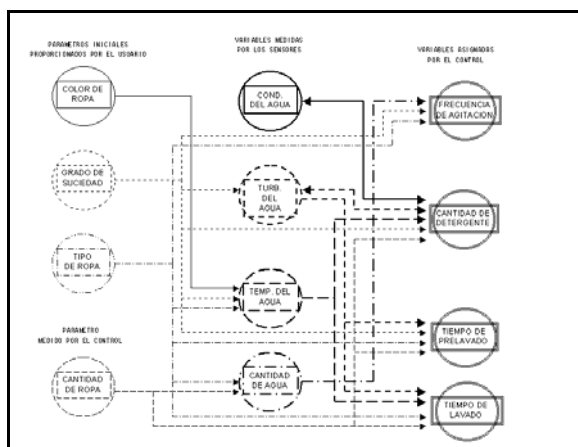


Figura1 Relación entre las variable y los parámetros del Proceso de Lavado.

La relación de cada una de estas variables en algunos casos es muy sencilla, por ejemplo la cantidad de agua que se asigna a la lavadora esta relacionada con el tipo y cantidad de ropa. La relación entre ellas es digamos

de manera lineal, esto es, si aumentamos la cantidad de ropa, tenemos que aumentar lógicamente la cantidad de agua, y si el tipo de ropa cambia de una que absorbe mayor cantidad de agua a una que no lo hace, tenemos que tener más agua en la tina para que no se afecten las condiciones de lavado Pero por ejemplo, la cantidad de

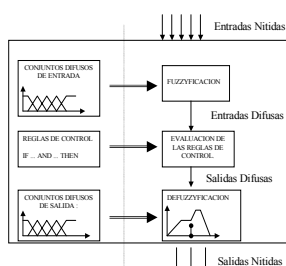


Figura 2 Máquina de Inferencia Difusa

detergente es una variable de tipo, cantidad y suciedad de la ropa, y este también se relaciona con la turbiedad y conductividad del agua. Como se puede observar en estos dos ejemplos las relaciones pueden ser muy complejas.

- Una vez iniciado el proceso de lavado, se leen los parámetros proporcionados por el usuario: Color de Ropa, Grado de Suciedad y Tipo de Ropa, se mide la Cantidad de Ropa y se asignan condiciones iniciales de lavado que llamaremos primarias: Cantidad de Agua, y Frecuencia de Agitación, que son las que no se modifican durante el proceso, además de las variables secundarias como

Temperatura del Agua,. Cantidad de Detergente y se asignan tiempos máximos de Prelavado y Lavado, cuando el proceso comienza, solamente se leerán a través de los sensores las variables llamadas terciarias: Conductividad, Turbiedad y Temperatura, y se podrá ir modificando las variables Secundarias dependiendo de los valores de cada una de estas .

La máquina de inferencia difusa Figura 2 la podemos describir como los pasos que se necesitan para poder realizar un sistema difuso, esto es si tenemos una estrada nítida (valor numérico), se puede representar este valor con una variable lingüística de un peso dado, después se realiza la evaluación de las reglas que son las que gobiernan el sistema difuso[1], por ultimo se vuelve a pasar de una variable lingüística a un valor nítido o numérico.

En el banco de pruebas, la maquina de inferencia difusa esta residente en la PC, la cual se encargara de realizar todo el algoritmo y mediante la tarjeta de control electrónica se leerán las variable de entrada provenientes de los sensores y se mandaran las señales de control para los actuadores.

Las ventajas que tenemos en utilizar la PC como la encargada de realizar el control difuso son:

- ✓ ☐ Modificar el algoritmo de control difuso.
- ✓ ☐ Capacidad de memoria.
- ✓ ☐ Velocidad de procesamiento.
- ✓ ☐ Despliegue visual de las gráficas de comportamiento de las variables de entrada y salida.

Desarrollo Algoritmo de control.

En la presente sección se desarrolla el algoritmo de control utilizado para un proceso de lavado. Como dijimos antes uno de los principales objetivos del control es mantener el valor de la Turbiedad del Agua dentro de un valor

proporcionado por VED, esto es independientemente de las condiciones de lavado y de la carga que se tenga.

El usuario tiene que seleccionar los parámetros de lavado de acuerdo a su carga:

1. 1. **Cantidad de Ropa:** Poca, Regular, Mucha, Llena (0 –7 Kgs.)
2. 2. **Tipo de Ropa:** Algodón Blanco, Algodón Color, Delicado Blanco, Algodón Color, Sintético Blanco, Sintético Color.
3. 3. **Grado de suciedad:** Poco Sucia, Regular Sucia, Muy Sucia, extra Sucia.

El grado de suciedad es un parámetro inicial pero después las mediciones de Turbiedad del Agua y de Conductividad nos dará una idea del grado real de la Suciedad. Con estos tres parámetros se calcula el Nivel de Agua, la Temperatura de Lavado, la Cantidad de Detergente, el Tiempo máximo de Lavado, en este caso este tiempo máximo de lavado nos indica el tiempo que una lavadora comercial dura para el ciclo de lavado seleccionado.

Una vez calculado los parámetros de lavado se procede al llenado de la tina, para esto se hace uso de las siguientes relaciones:

$$\text{Dif de Nivel} = \text{Nivel Deseado} - \text{Nivel Real} \quad y$$

$$\text{Dif de Temp.} = \text{Temp. Deseada} - \text{Temp. Real}$$

Esto para poder abrir y cerrar las válvulas de admisión estas válvulas me dejan entrar agua caliente y fría a la tina hasta que se alcance el Nivel de Agua y la Temperatura asignada.

Cuando la Tina esta llena, se comienza el ciclo de lavado, que es arrancar el motor de la lavadora en modo agitación a una velocidad calculada por el control, esta frecuencia de agitación depende de la cantidad de ropa, tipo de ropa y de la turbiedad del agua, cuando la turbiedad del agua comienza a

estabilizarse la frecuencia de agitación comienza a disminuir de manera que se puede ahorrar energía.

Durante todo el proceso de agitación, se están midiendo la Turbiedad y la Conductividad del Agua, para poder en caso de que la Turbiedad empiece a aumentar, el control tira agua sucia y agrega más limpia, esto en primera para bajar el nivel de Turbiedad en el Agua y en segunda para que no cambien las condiciones de lavado, como se desalojo agua, esta lleva disuelta detergente, por lo que la Conductividad cambia, por lo tanto es necesario agregar más detergente. El proceso continua de la misma manera hasta que se detecta que la turbiedad se mantiene constante, entonces el proceso se da por terminado.

La Figura 3 muestra una parte del sistema de control completo, hay que hacer mención que la Turbiedad y la Conductividad están ligadas, esto es si hay mucho detergente que no esta disuelto, entonces la turbiedad cambia, pero eso lo podemos determinar gracias a los niveles de Conductividad que se tengan.

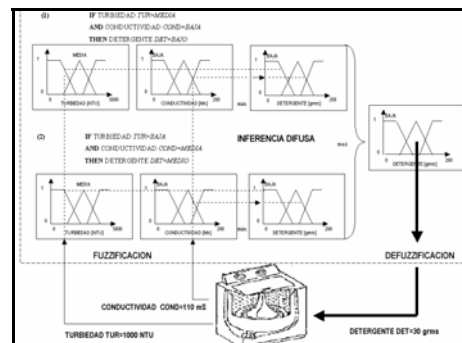


Figura 3. Esquema de control para agregar más detergente.

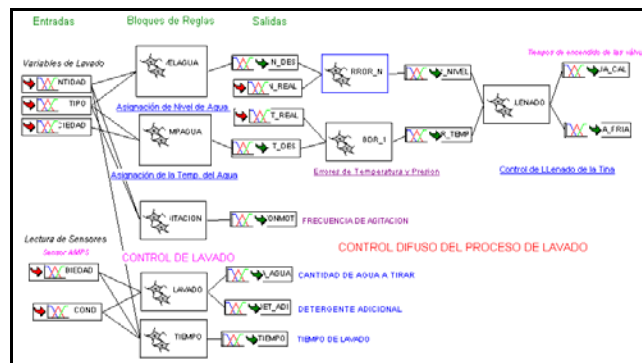


Figura 4. Bloques para el proceso de lavado.

SI		ENTONCES	
Cantidad_Ropa	Tipo_de_Ropa	DoS	Nivel_Agua
Poca	Sint_Blancos	1.00	Muy_Pequeno
Poca	Sint_Color	0.50	Muy_Pequeno
Poca	Del_Blancos	1.00	Pequeno
Poca	Del_Color	0.50	Pequeno
Poca	Del_Color	0.50	Medio
Poca	Alg_Blancos	1.00	Medio
Poca	Alg_Color	0.50	Grande
Regular	Sint_Blancos	1.00	Pequeno
Regular	Sint_Color	0.50	Medio
Regular	Del_Blancos	1.00	Medio
Regular	Del_Color	0.50	Grande
Regular	Alg_Blancos	1.00	Grande
Regular	Alg_Color	0.50	Grande
Regular	Alg_Color	0.50	Muy_Grande

Tabla 1. Parte de las reglas para Asignación del Nivel de Agua

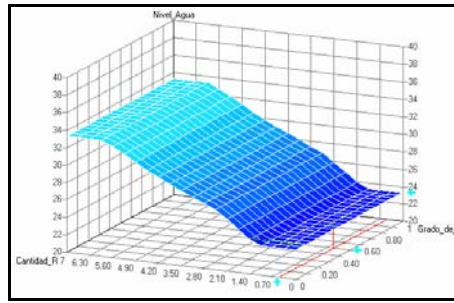


Figura 5. Curva de control de Nivel de Agua.

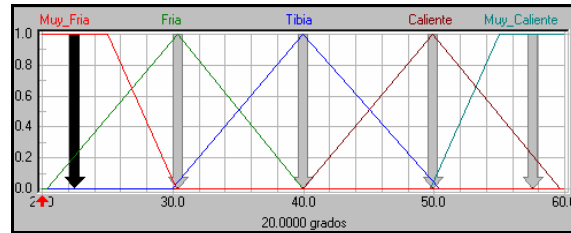


Figura 6. Funciones de Membresía de asignación de Temperatura del agua.

SI		ENTONCES	
Grado_de_Sucieda	Tipo_de_Ropa	DoS	Temp_Agua_Des
Poco_Sucia	Sint_Blancos	0.60	Caliente
Poco_Sucia	Sint_Blancos	0.40	Muy_Caliente
Poco_Sucia	Sint_Color	0.60	Muy_Fria
Poco_Sucia	Sint_Color	0.40	Fria
Poco_Sucia	Del_Blancos	1.00	Fria
Poco_Sucia	Del_Color	1.00	Muy_Fria
Poco_Sucia	Alg_Blancos	0.60	Muy_Fria
Poco_Sucia	Alg_Blancos	0.40	Fria
Poco_Sucia	Alg_Color	1.00	Muy_Fria
Regular_Sucia	Alg_Color	1.00	Muy_Fria
Muy_Sucia	Alg_Color	1.00	Muy_Fria

Tabla 2. Parte de las reglas para Asignación de Temperatura del Agua

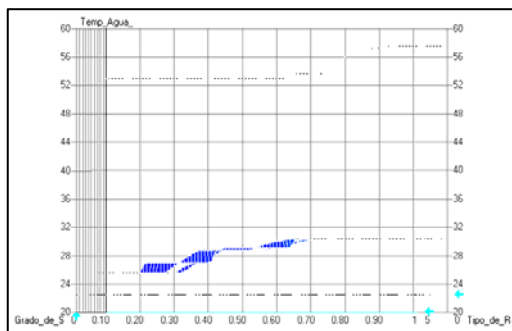


Figura 7. Curva de control de Asignación de Temperatura.

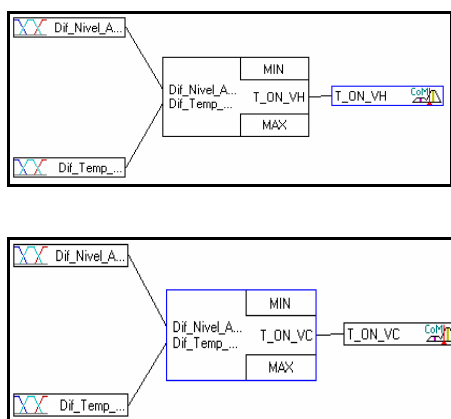


Figura 8 Estructura del sistema de Control de Llenado de la Tina a) Control para el tiempo de encendido de la válvula de agua caliente, b) Control para el tiempo de encendido de la válvula de agua fría.

	IF	IF	Factor	THEN	THEN
Regla	Cond	Turbiedad	de Peso	DetAdic	TiraAgua
1	baja	chica	1.0	medio	poca
2	baja	medio	1.0	bajo	regular
3	baja	grande	1.0	bajo	mucha
4	media	chica	1.0	bajo	poca
5	media	medio	1.0	medio	regular
6	media	grande	1.0	bajo	mucha
7	grande	chica	1.0	bajo	poca
8	grande	medio	1.0	bajo	regular
9	grande	grande	1.0	bajo	mucha

Tabla 3. Parte de las reglas para Tirar Agua y Agregar Detergente.

Resultados.

A continuación se muestran alguna de las gráficas obtenidas de las pruebas realizadas, primero se presentan gráficas de Turbiedad y Conductividad para un proceso de lavado sin la aplicación del control difuso, posteriormente se presentan las gráficas ya con el controlador, las pruebas se realizaron bajo las siguientes condiciones:

Cantidad de ropa: 5 Kgs

Tipo de Ropa: Algodón Sintéticos

Grados de Suciedad: Muy sucia

Para poder realizar las pruebas VED proporciono telas con las características anteriores, con manchas de suciedad en lugares específicos, estas prendas fueron llevadas posteriormente a los laboratorios de VED para su análisis.

Para la de carga lavado anteriormente mencionadas, se obtuvieron las siguientes condiciones de lavado:

Nivel de Agua: 40 cms = 50 lts

Temperatura de Lavado: 44.5 °C

Tiempo de lavado máximo: 10 min

Cantidad de Detergente 150 grs

Frecuencia de agitación: 45 osc/min

Nivel Máximo de Turbiedad: 1.5 * 25000 NTU

Conductividad Máxima: 100 mS

Conclusiones.

Es posible mediante el uso de la Lógica Difusa realizar controles inteligente, los cuales sean capaces de tomar decisiones durante el desarrollo de algún proceso. Se pudo obtener un control para mantener la Turbiedad dentro un rango permisible para el lavado de la ropa. Como se observa en las gráficas presentadas la Turbiedad varía mucho cuando no se tiene control, esto

es se deja agitando la lavadora hasta que termina el tiempo lavado, cuando aplicamos el algoritmo de control podemos mantener la turbiedad en un rango, la única desventaja es que tenemos que agregar más agua, pero un buen logro es que como las condiciones de lavado las mantenemos estables, entonces es posible reducir el tiempo de lavado a 7.5 minutos con lo que se ahorra energía, además se esta seguro de que la ropa ya no esta soltando suciedad, ya que las variaciones en las turbiedad se reducen notablemente.

En cuanto a la Conductividad del agua, esta se logro estabilizar sin sobrepasar el nivel máximo, por lo que indica que la cantidad de detergente que se agrego fue utilizado y el agua no estaba saturada y por lo tanto no hay desperdicio de detergente.

a)Obtener una base de conocimiento mínima que permita establecer las relaciones entre algunas de las variables involucradas en el proceso.

- □ El proceso de lavado es un sistema complejo para el cual no existe un modelo matemático que lo reproduzca, sin embargo hoy día se cuenta con otros medios para crear modelos que nos permitan conocer más de las relaciones que guardan los factores involucrados en el proceso.
- □ El resultado de la ejecución, procesamiento y análisis sistemático de las condiciones de operación, nos brindó la oportunidad de interpretar como se relacionan algunas de las variables involucradas, e hizo posible la creación y ajuste de reglas de control para el proceso, tomando en cuenta nuestras variables seleccionadas.
- □ Analizando las graficas de conducta anteriores y posteriores a la implantación del nuevo sistema de control, podemos decir que se cuenta con el conocimiento básico para poder alterar y mejorar el proceso.

b) Poder optimizar los insumos.

- ☐ El poder determinar si el ahorro de insumos en este trabajo aún es limitado debido a que nos encontramos en una etapa de simulación del sistema de control convencional mediante un sistema de control difuso, donde inicialmente, para observar las ventajas reales, es necesario partir de un punto de comparación; esto se logra no alterando de forma significativa las condiciones actuales.

- ☐ El control mediante lógica difusa representa una alternativa importante en la creación de sistemas para los cuales se cuenta con un amplio conocimiento adquirido de la experiencia.

c) Crear un sistema de control que permita experimentar de manera fácil con actuales y nuevos procesos de lavado.

- ☐ Las gráficas obtenidas antes y después de utilizar las rutinas de control, nos indican que los algoritmos utilizados mantienen la turbiedad, temperatura y conductividad dentro de rangos estables, sin grandes picos o variaciones. Esto revela que el comportamiento del sistema con un control difuso es robusto, es decir que las variaciones en las condiciones de entrada no afectan al control.

- ☐ El nivel en que se logre expresar la semántica del fenómeno en el diseño de un modelo difuso, se reflejará en la certidumbre del comportamiento del sistema.

- ☐ Los resultados generados por un modelo difuso, deben ser validados y verificados por medio de un comportamiento anteriormente previsto, contra los casos conocidos o contra el juicio razonable de los expertos o, a falta de estos, contra el sentido común.

- ☐ El conocimiento de los ingenieros y el análisis del sistema, sin embargo, todavía deben determinar si la salida de un modelo difuso es consistente con las relaciones entre las reglas y las

variables, y si el valor esperado de las variables de solución es o no valido dentro del contexto de la lógica interna del modelo.

- □ Podemos obtener un sistema en hardware como en software para poder desarrollar, simular e implementar sistemas difusos, en este caso lo utilizamos para el control de lavado en una lavadora comercial, además de que el sistema se puede aplicar a otros sistemas que se comportan de manera similar.

- □ Para obtener una base de conocimiento amplia y general se requiere añadir al modelo difuso diferentes variables de control, y probar y verificar el comportamiento para distintas condiciones de operación. Sin embargo, estamos seguros que nuestro sistema ofrece la posibilidad de llevar a cabo esta tarea de una manera relativamente fácil.

A pesar de que los resultados obtenidos satisfacen nuestras expectativas, hace falta someter el sistema a pruebas mas rigurosas y a la opinión técnica de los expertos en el área, así como la validación basándose en las normas de lavado existentes.

EJEMPLO2. Incubadora de Cuidados Intensivos Controlada con Lógica Difusa

Introducción

La función principal de la incubadora es controlar la temperatura del habitáculo y proveer medidas de seguridad que garanticen al personal médico que el equipo funciona correctamente. Es por ello que en este proyecto se decidió realizar el control de temperatura mediante las técnicas de la Lógica Difusa que como veremos es muy confiable, así como también proveer diversas señales de alarma.

El núcleo del circuito es un PIC16C73 [3] que como detallaremos posteriormente está dotado de varias funciones que lo hacen muy versátil. Con él se puede fácilmente implementar la Lógica Difusa, convertir señales analógicas a digitales, dar tratamiento a señales mediante tres puertos de entrada salida y conectarlo con una PC mediante su interfase RS 232.

La temperatura censada ingresa al PIC16C73 a través de su Conversor Analógico Digital. Luego, el controlador, la compara con la deseada por el personal médico, quien interactúa con el sistema mediante un teclado matricial y un display inteligente. El sistema controla el ángulo de disparo de un triac que comanda a la resistencia calefactora de la incubadora. Una vez alcanzada la temperatura deseada, esta se mantendrá aún ante perturbaciones externas tan comunes, como por ejemplo la apertura de la puerta del habitáculo para atender al bebé.

Además toda la información que maneja el sistema puede ser monitoreada y registrada desde una PC, conectada al PIC por la interfase RS 232.

El proyecto cuenta con un medidor de humedad dentro del habitáculo que facilita al médico el tratamiento del sistema respiratorio del neonato. Otra

característica importante que ofrece el equipo, es el monitoreo de la frecuencia cardíaca.

Es importante mencionar, que el sistema posee un ventilador que recircula el aire interior con el fin de lograr dos propósitos:

- Mantener la temperatura uniforme dentro del habitáculo
- Renovar el aire interior

Estas funciones son muy necesarias, por lo cual es imperioso asegurar que el ventilador este funcionando correctamente, ya que de no hacerlo, la resistencia calefactora podría llegar a dañar al paciente por estar colocada debajo del mismo. Debido a esto, el sistema cuenta con un sensor de motor detenido, que de estar activado, automáticamente dará una alarma y desconectará el relé de alimentación de la resistencia calefactora.

También se toman otras medidas de seguridad para garantizar que el sistema este bajo control, verificando el funcionamiento del TRIAC. Además, está dotado de una alarma de sobre temperatura que se dispara si la temperatura supera los 39°C. Para garantizar la máxima seguridad se utilizó un sensor adicional e independiente al del sensor de control de temperatura.

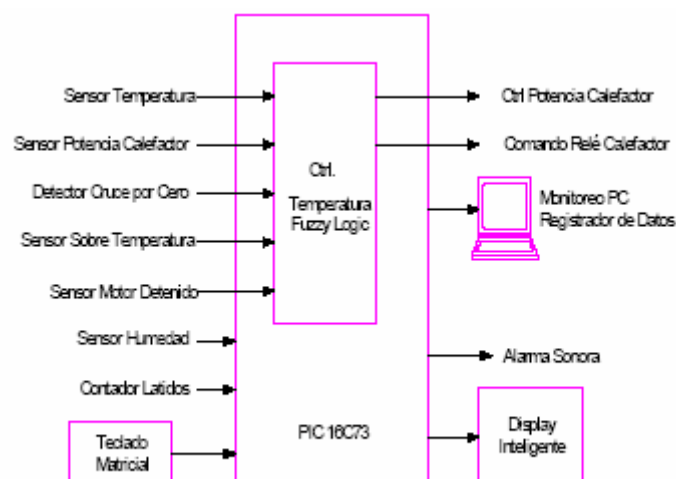


Fig.1. Diagrama en bloques del circuito de la incubadora de cuidados intensivos

Controladores de lógica difusa

Como todos sabemos, un PID se compone de una acción Proporcional-Derivativa-Integral[4]. La primera establece la ganancia, la segunda, controla el transitorio y la última, el régimen permanente. En el controlador difuso [2][5] se emplean dos de estos conceptos: el error y el cambio de error, conocido normalmente como el gradiente. Fig.2.

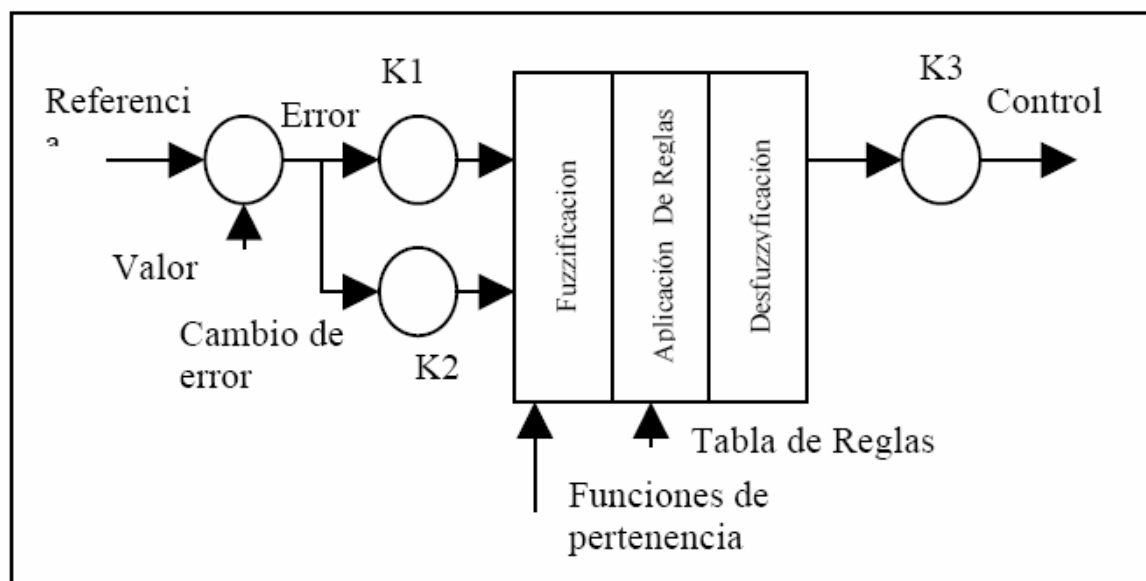


Fig.2. Esquema de un controlador de Lógica Difusa

Estas variables pueden ser ponderadas por las ganancias K1 y K2 y así constituirse en las entradas propiamente dichas del controlador difuso.

Este controlador, tiene un primer bloque “Fuzzyficación”, que transforma las variables de entrada, en sus respectivos valores difusos definidos por las etiquetas de los conjuntos difusos a los que pertenecen y su correspondiente grado de pertenencia.

El próximo bloque “Aplicación de reglas”, selecciona de entre la base de reglas aquellas que son verdaderas para los valores difusos calculados en el bloque anterior. También calcula en qué grado influirá cada una de ellas, en la decisión tomada.

Por último, el bloque “Desfuzzyficación”, devuelve una conclusión numérica, como consecuencia de aplicar a los conjuntos difusos de la variable de salida las conclusiones difusas con su respectivo grado de pertenencia, obtenidas en el bloque anterior.

Por ejemplo, supongamos que las variables de entrada sean: la temperatura deseada y el error (diferencia entre la salida y la tensión deseada) por lo tanto la salida será el valor del ciclo de trabajo: D.

Descripción del Circuito

Interfase con el operador

Una de las virtudes más importantes que posee esta incubadora, es su forma de comunicarse con el operador. Para lograr esto se recurrió: Fig.4.

- A la utilización de un conjunto *Teclado – Display Inteligente* para ingresar y visualizar información, parámetros de seteo y rutinas de mantenimiento.

- A la comunicación con una PC para la visualización y registración de datos. En este punto se decidió no contar con la posibilidad del seteo de datos desde la PC por razones de seguridad. El software utilizado para la comunicación y el monitoreo de los parámetros de la incubadora fue LABVIEW de National Instrument. Fig.3.

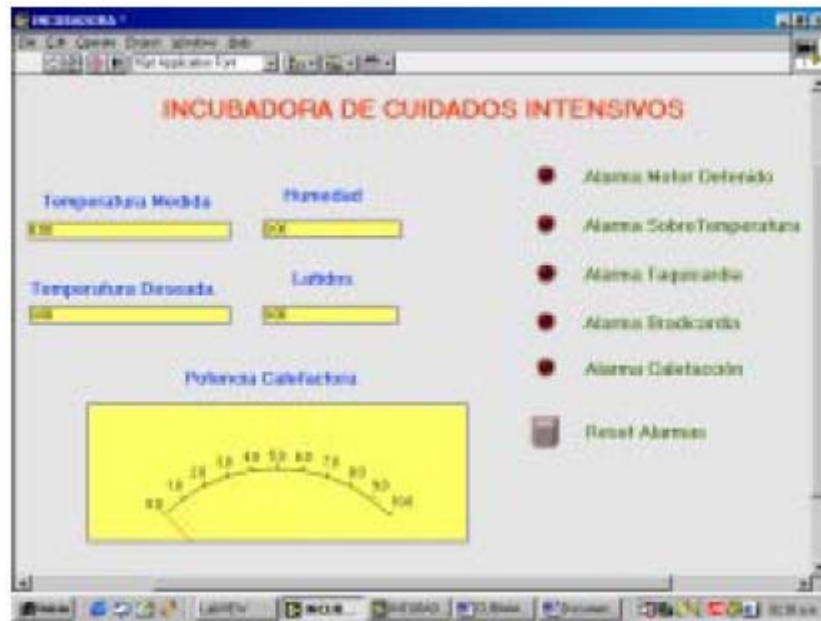
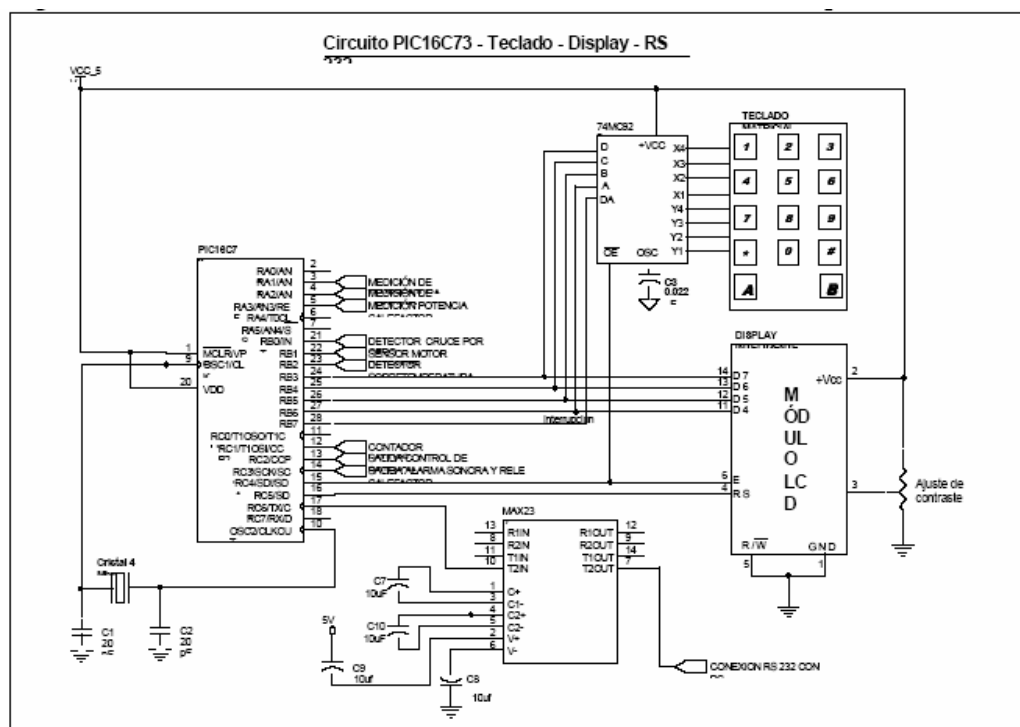


Fig.3. Pantalla de monitoreo de los parámetros de la incubadora realizada en LABVIEW.

Fig.4. Circuito electrónico de la Interface de usuario.



Se puede observar como el PIC16C73 se conecta a un teclado matricial a través de un 74MC922., a un display LCD y también al MAX232 para la comunicación serie

Medición de temperatura

La medición de temperatura se realiza utilizando un termistor como sensor primario y en conjunto con el conversor A/D del PIC.

El termistor tiene una variación lineal, de $-20\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, dentro del rango utilizado. Para obtener una tensión que varíe con la temperatura y que esté acorde con la resolución del A/D, se implementó una fuente de corriente de 1 mA con el circuito integrado LM334. Podemos notar que cuando aumenta la temperatura, la tensión baja. Para solucionar esto, y para mejorar las características del circuito, se utilizó un amplificador de instrumentación [1]cuya función transferencia es:

$$V_0 = V_{\text{sense}} - k V_{\text{cc}}$$

Sensor de sobre-temperatura

Este módulo, es uno de los componentes de seguridad con el que cuenta el equipo. Dotado de un termistor independiente informará al PIC si la temperatura es superior o no a 39°C . De ser superior, el PIC dará alarma de “Sobre-Temperatura”. Este umbral de temperatura, se fija en 39°C ya que ha sido científicamente demostrado, que las temperaturas superiores a esta, quedan excluidas de la zona de termorregulación, producen un calentamiento inevitable para el paciente aumentando su temperatura corporal con un alto riesgo de provocarle la muerte por calor, fenómeno conocido por Efecto Van’t Hoff.

Sensor de Humedad

Según lo manifestaba el personal médico del Hospital de San Nicolás esta medición es muy importante, porque la humedad del aire es uno de los factores que deben considerarse para lograr el “Ambiente Térmico Neutral”. Además, un ambiente demasiado seco, perjudica las vías respiratorias del paciente. El sensor seleccionado, es un sensor de humedad resistivo llamado

NH 101. Los sensores resistivos, se basan en la propiedad que presentan ciertos materiales aislantes de cambiar su resistividad, de acuerdo a su contenido de humedad. Si se mide la variación de su resistencia se tiene un higrómetro resistivo o humistor

Sensor de potencia calefactor

Este sensor, es el encargado en proporcionar la información respecto de la magnitud de corriente que circula por la resistencia calefactora. Esta constituido por una bobina con núcleo de ferrite, la cual induce sobre el arrollamiento una tensión proporcional a la corriente. Esta tensión, se rectifica para obtener una tensión continua proporcional. Luego esta tensión ingresa al PIC, previo paso por un amplificador operacional que la acondiciona, para conformar la alarma Calefactor, tendiente a detectar el mal funcionamiento del triac, es decir, si el sistema detecta que aún enviándole potencia a la resistencia calefactora, el sensor de potencia de ésta, indica cero, entonces, dará alarma de “Calefactor”. De la misma manera, si detecta que al no enviarle potencia el indicador de ésta, está en alto, también dará alarma y desactivará el relé desconectando el equipo

Sensor motor detenido

Este sensor detecta la presión del aire impulsado por el ventilador. Es dicotómico e ingresa al PIC quien ante una activación dará alarma de “Motor Detenido” y accionará la desconexión del relé de alimentación de la resistencia calefactora.

Contador de pulsos cardíacos

Este sistema, contará los pulsos del paciente provenientes de un “Monitor Cardíaco”. Si bien en el mismo monitor se puede visualizar perfectamente los pulsos del paciente, el valor agregado de este componente del proyecto, es sin duda poder enviar y registrar esta información en la PC.

Control de temperatura

El control de Temperatura, tendrá como objetivo calentar el habitáculo de la incubadora desde la temperatura ambiente hasta la deseada por el personal médico y luego mantenerla en ese valor aún ante perturbaciones externas. Es decir, deberá actuar sobre la resistencia calefactora, la cual proporcionará el calor necesario. La entrada a este sistema de control, será el error de temperatura y el gradiente, obtenidos desde el sensor colocado en el habitáculo, y la salida controlará el ángulo de disparo del triac que comanda a la resistencia calefactora modificando su potencia.

El proceso comienza, calculando la diferencia entre la temperatura medida y la temperatura deseada. De esta manera conocemos el Error, el cual se denomina dentro del programa como *lv0_error*. Luego, cada dos segundos calculamos el gradiente, restando el nuevo error del anterior. Esta variable se denomina *lv1_gradiente*.

Una vez conocidas estas variables, que constituyen las entradas de la subrutina de Lógica Difusa, se procede a llamar a la Subrutina de Fuzzy Logic: "Incu7". Esta Subrutina devuelve una salida denominada *lv2_salida* que comandará la potencia entregada a la resistencia calefactora. Esta salida, obtendrá valores desde 0 a 256, quienes representarán ángulos de disparo desde 0 a 180° del TRIAC, conectado en serie con la mencionada resistencia.

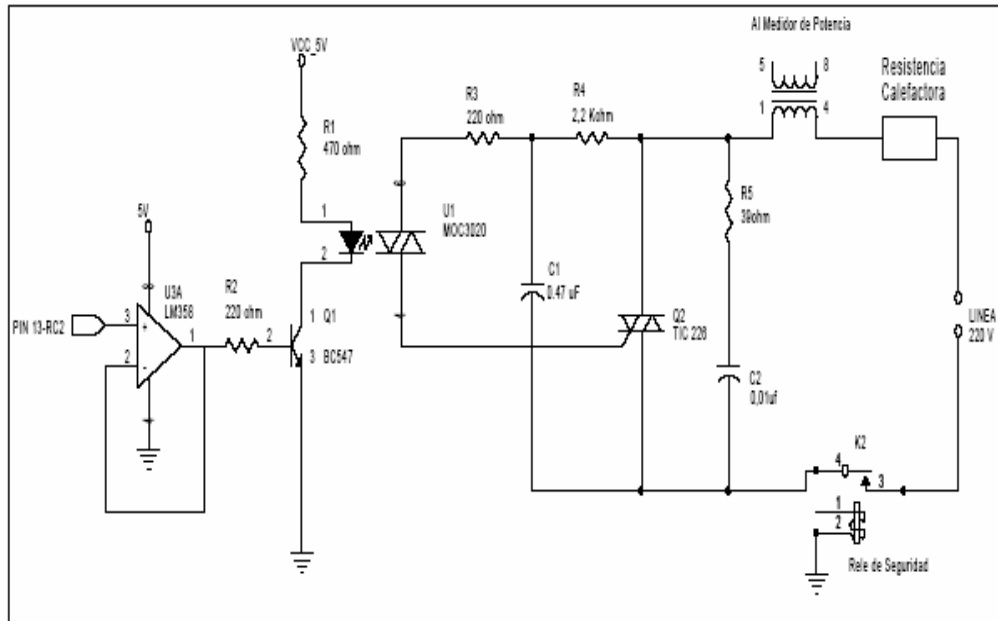


Fig.5. Circuito electrónico del control de potencia en la resistencia calefactora

Se analizarán las variables y conjuntos difusos tomadas para este proyecto, como así también las distintas alternativas experimentadas, hasta llegar a la más adecuada. Como herramienta de diseño de la misma, se ha utilizado el software FuzzyTECH MP Explorer que es compatible con el PIC16C73 de Microchip. De esta manera, una vez diseñada la lógica de control, solo se debe compilar el programa y luego hacer referencia a éste desde el software principal del proyecto.

Fuzzificación

La primera instancia fue definir las variables lingüísticas error y gradiente.

Estas variables poseen valores determinísticos. La verbalización de la variable error y gradiente será:

Negativo, Cero y Positivo. Fig.6.

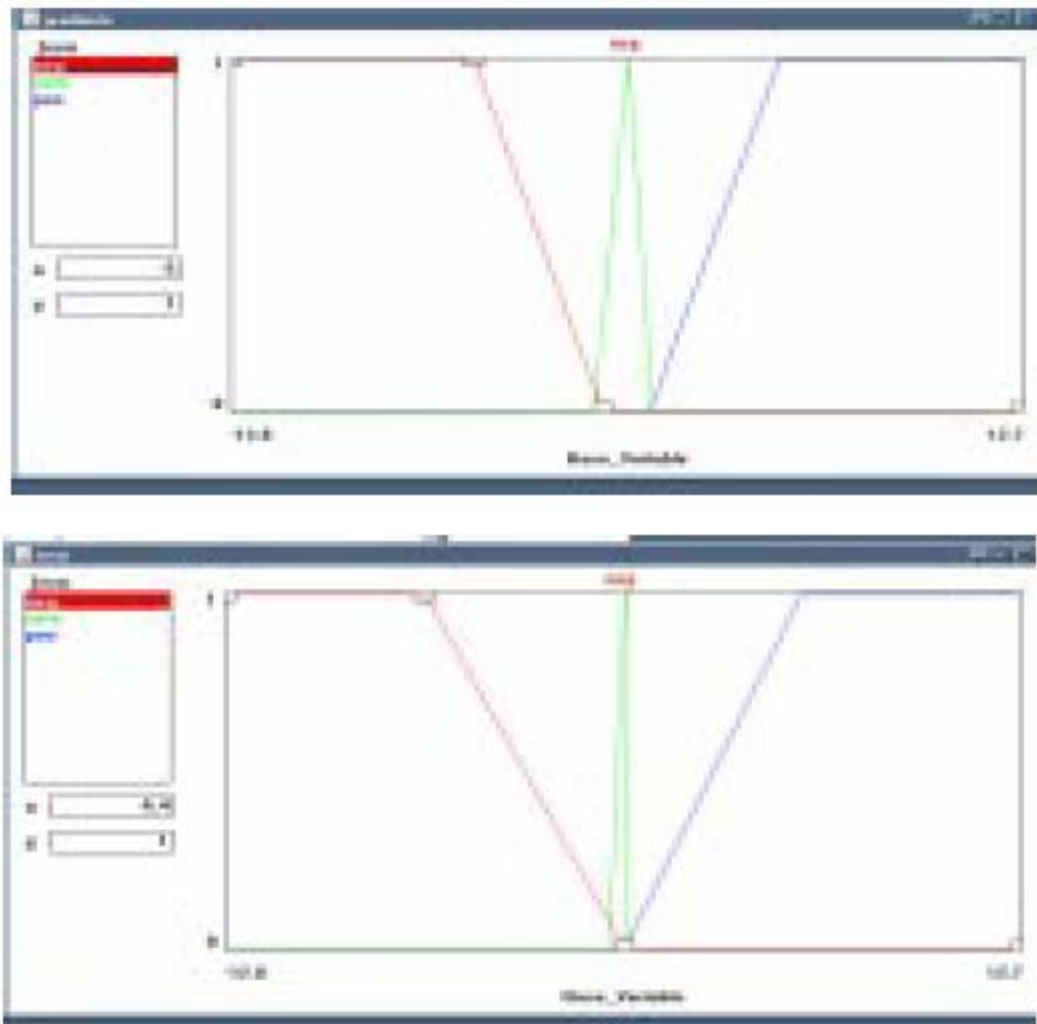


Fig.6. Las presentes figuras muestran de división de los conjuntos difusos para las variables error y gradiente, respectivamente, realizadas en el software FUZZY TECH.

Base de Conocimiento

Se deben incluir en este punto los datos e informaciones suministradas al Controlador, tales que posibiliten el procesamiento matemático de las variables, medidas en el proceso, a fin de generar las acciones de control. El número máximo de reglas viene dado por el producto de números de particiones de todas las variables de entrada al Controlador; que en nuestro caso sería:

Nro. De reglas = Partición de la variable "Error".

Partición de la variable "Gradiante" = 3.3 = 9

Defuzzificación: La verbalización de la variable de salida será:

- *MuyAlta, Alta, Optima, Baja y Muybaja* Fig.8

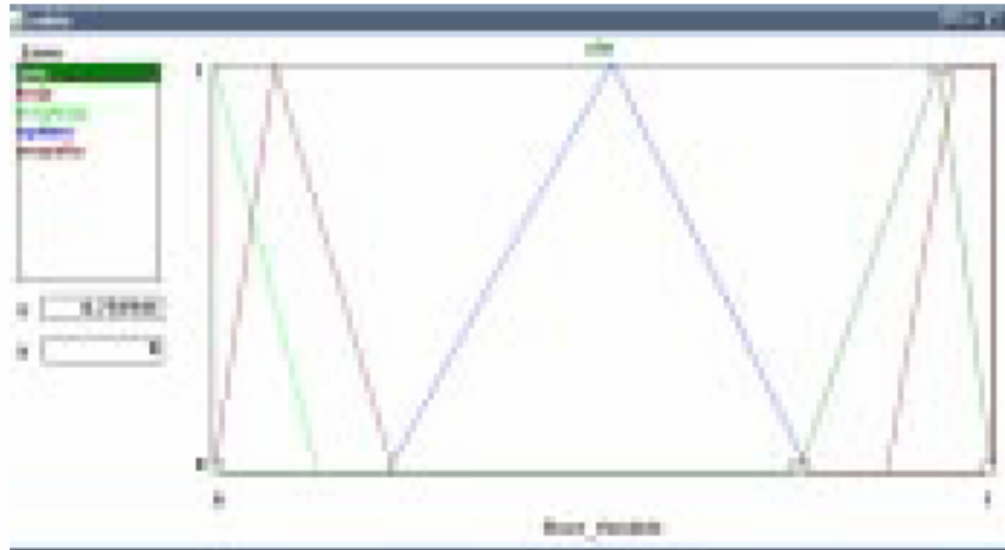


Fig.8 . Representación de los conjuntos difusos para la variable de salida que comandará el ángulo de disparo del TRIAC.

Resultados

Comprobamos el control de temperatura, mediante diferentes alternativas de diseño de la Lógica Difusa, registrando en una base de datos, la evolución de la temperatura medida en la incubadora. Para ello, repetimos un itinerario de eventos que a continuación detallamos:

1. Llevar la temperatura de 29,0 a 33,5°C
2. Llevar la temperatura de 33,5 a 35,5°C
3. Abrir la puerta del habitáculo durante 2 minutos
4. Una vez recuperados los 35°C, llevar la temperatura de 35,5 a 38,0°C

Las alternativas ensayadas, variaban en el diseño de la lógica difusa. Y la más conveniente, es la que se detalló a manera de ejemplo en las figuras 5,6 y 7. Dando como respuesta la siguiente gráfica.

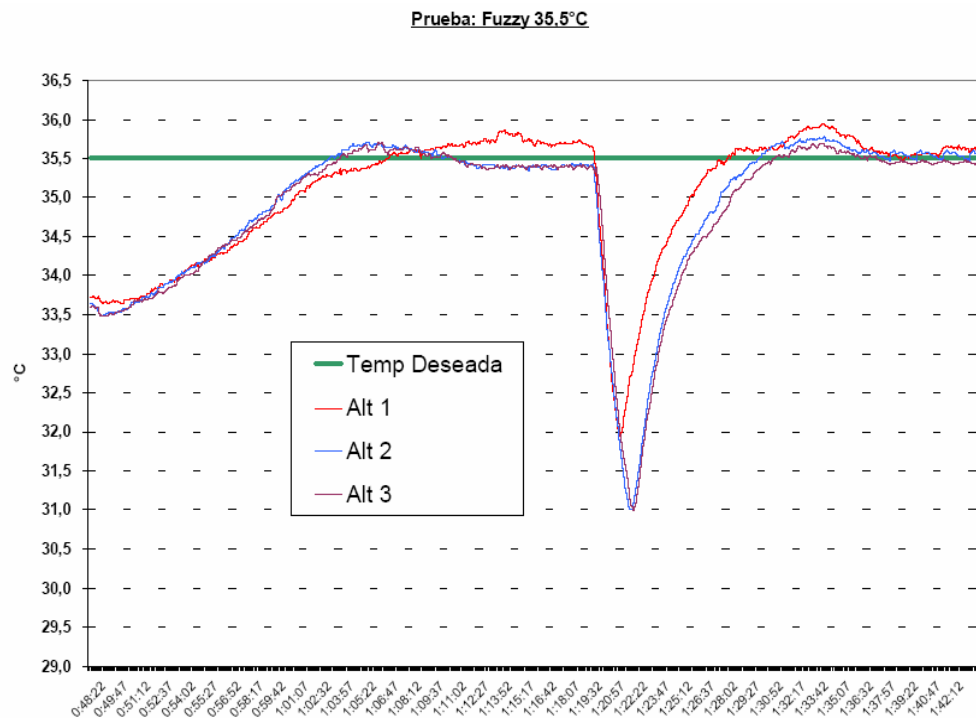


Fig.9. La gráfica muestra la evolución de la temperatura en el tiempo dentro de la incubadora ante una perturbación, en este caso esta es la apertura de una de las puertas.

Conclusiones

Con las distintas pruebas que se realizaron sobre este prototipo, se comprobó que su comportamiento alcanzó y superó el desempeño de las incubadoras comerciales en existencia. La operación por parte de los usuarios fue muy aceptada.

Con respecto al control de temperatura implementando Lógica Difusa, se puede decir que posee las ventajas de no necesitar un modelo matemático preciso del sistema a controlar, tiene alto rechazo al ruido y permite contemplar situaciones excepcionales del estado del proceso, gracias a su forma de representar el conocimiento. Como desventaja se puede decir, que el diseño debe realizarse generalmente con el método de prueba y error.

BIBLIOGRAFÍA:

- www.galeon.com
- www.monografias.com
- La Computación Evolutiva en el Contexto de la Inteligencia Artificial.
Coello, Carlos. LANIA, A.C., México.