

**SUPERVISORY CONTROL SYSTEM BASED INTOUCH-FUZZYTECH FOR
STORAGE ROOMS OF AGRICULTURAL PRODUCTS****SISTEMA DE CONTROL SUPERVISORIO BASADO EN INTOUCH –
FUZZYTECH PARA CÁMARAS DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS
AGRÍCOLAS**

MSc(c). Durvvin Alexis Rozo Ibañez, PhD. Aldo Pardo García
MSc. Jorge Luis Díaz Rodríguez

Universidad de Pamplona

Grupo de Investigación de Automatización y Control, **A&C**.
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: (577) - 568 5303 Ext. 164, Fax: (577) - 568 5303 Ext. 156.
E-mail: {durwinrozo, apardo13, jdiazcu}@unipamplona.edu.co

Abstract: This paper presents the use of fuzzy logic controller for the process of preservation of agricultural products and the implementation of a temperature and relative humidity monitoring and control to improve and prolong the life cycle of perishable agricultural products. The work is based on controller design and implementation of a computational tool (FuzzyTech), capturing the data using a programmable logic controller and real-time monitoring of system variables in a man-machine interface (InTouch - Wonderware).

Keywords: Fuzzy Logic Controller, computer-based control, supervisory and control system, SCADA, storage chamber.

Resumen: Este artículo presenta la utilización de la lógica difusa como sistema de control en el proceso de conservación de productos agrícolas y la realización de un sistema de monitoreo y control de temperatura y humedad relativa para mejorar y prolongar el ciclo de vida de los productos agrícola percederos. El trabajo se basa en el diseño del controlador y la implementación sobre una herramienta computacional (FuzzyTech), capturando los datos mediante un autómata programable y monitoreando en tiempo real las variables del sistema en una interfaz hombre máquina (InTouch-Wonderware).

Palabras clave: Controlador por lógica difusa, control por computador, sistema de supervisión y control, SCADA, cámara de almacenamiento.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en la mayoría de las ramas de la ciencia se ha experimentado un interés en el uso de métodos desarrollados por la *Inteligencia Artificial* (IA); aunque el objetivo sea desarrollar maquinas y herramientas que presenten un comportamiento inteligente parecido al del ser

humano, esta aún lejos de ser alcanzado completamente.

Paralelo al crecimiento de la inteligencia artificial, la computación digital ha evolucionado exponencialmente, produciendo equipos veloces, compactos y económicos, resolviendo problemas considerados hasta hace poco como complejos [1].

Para el año 2020 la población mundial alcanzará 8 mil millones de habitantes, el papel de la agricultura por lo tanto ha llegado a ser cada vez más crucial en la provisión de alimentos, el manejo ambiental y el abastecimiento de energía. [2] La naturaleza intrínsecamente compleja, dinámica, y no lineal de los sistemas agropecuarios ha requerido siempre las soluciones basadas en técnicas y tecnologías avanzadas, para proporcionar mayor exactitud, una mayor comprensión y soluciones apropiadas.

2. DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE ALMACENAMIENTO

La función del almacenamiento de productos agrícolas consiste en proporcionar un ambiente adecuado para reducir al mínimo las pérdidas por deterioro previo al mercadeo, los productos destinados al almacenamiento deben ser recolectados en estado de maduración óptima, ya que su maduración en condiciones de almacenamiento se reduce si es suficiente o excesiva (productos verdes o pasados).

El enfriamiento en cámara es un método muy lento pero relativamente económico, cuando se dispone de electricidad para la refrigeración mecánica, cuando se usa el enfriamiento en cámara, el producto es simplemente cargado en el interior de la cámara fría, y el aire frío se deja circular entre las cajas de cartón, sacos, costales, cajas palet (arcones) o la carga a granel. [3]

La cámara de almacenamiento es una construcción con características especiales ubicada de forma estratégica para permitir el ingreso del ambiente presente en el exterior, esto debido a que el sistema de enfriamiento utilizado se realiza inyectando el ambiente exterior, modificando las condiciones de temperatura y humedad relativa al interior de la cámara, razón por la cual estas construcciones se localizan en regiones de paramo, donde las condiciones son óptimas para la conservación de productos agrícolas.

Para este trabajo, la cámara se localiza en condiciones donde la temperatura y la humedad relativa oscilan entre 7 y 10 °C y 85 y 95% RH respectivamente, gracias a estas condiciones los productos a almacenar deben estar dentro de estos rangos, como ejemplo se tomó la maracuyá donde la vida aproximada de almacenamiento está entre las 3 y 5 semanas con estas condiciones ambientales.

Para el desarrollo de esta investigación se eligió al PARAMO DE PACHACUAL, ubicado a 50 metros de la carretera central que se dirige desde Pamplona a Bucaramanga en el Departamento de Norte de Santander, Vereda Aguedina, Municipio de Silos con una altura sobre el nivel del mar de 3300 m, con una temperatura promedio entre 6 – 10 °C y una humedad relativa entre 80 – 95 % HR. El método utilizado para la conservación de productos agrícolas perecederos es el de enfriamiento por aire forzado; se utiliza este método gracias a las condiciones ambientales en el exterior de la cámara de conservación, la cual puede almacenar en su interior hasta 5 toneladas de producto.

3. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO Y CALEFACCIÓN

El espacio de almacenamiento se encuentra en un área donde recircula el aire por medio de un sistema de ventilación como se muestra en la fig. 1.

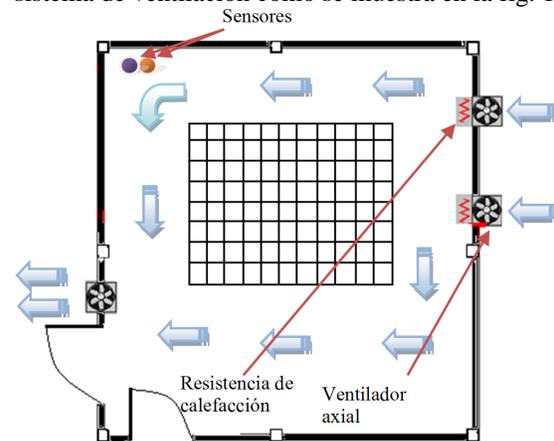


Fig. 1. Cámara de conservación

Los ventiladores son de tipo axial encargados de inyectar el ambiente del exterior con las condiciones climáticas óptimas para la conservación del producto; el flujo de entrada a la cámara es regulado por medio de un variador de velocidad, este recibe la información enviada del autómata programable y transformado a un valor para la variación del voltaje.

El sistema de calefacción es realizado por la acción del conjunto ventilador-resistencia; al igual que los ventiladores axiales, la potencia de la resistencia es regulada por el variador de velocidad, información enviada por el Autómata con rangos entre 0 – 10 Volts.

El sistema de humidificación está conformado por una bomba centrífuga y válvulas de paso, las cuales se activarán y desactivarán en caso que la humedad disminuya o aumente según sea el caso; este sistema forma una microaspersión creando un ambiente óptimo para la conservación del producto.

4. ESTUDIO DEL ACOUPLE TEMPERATURA-HUMEDAD

La Simulación del Modelo para un Sistema de Refrigeración fue desarrollado para simular el comportamiento dinámico de un Sistema de refrigeración; este sistema es representado por diferentes ecuaciones algebraicas y diferenciales basadas en el balance de masa y energía. [4].

El modelo tiene una estructura modular como se muestra en la figura 2, los subsistemas más importantes hacen referencia al almacenamiento del aire frío, el producto, el sistema de calefacción y de enfriamiento y el ambiente.

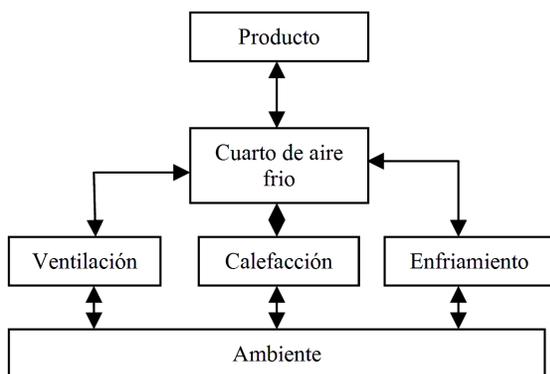


Fig.2. Modelo estructural sistema de enfriamiento

Para este sistema sólo es necesario un número mínimo de parámetros de entrada, en el caso que estos parámetros no estén disponibles, estos pueden ser estimados realizando un razonamiento de su comportamiento físico del proceso.

Como ejemplo, podemos ver la relación de las ecuaciones del balance de masa y energía del almacenamiento en frío de productos, de la siguiente manera:

$$\frac{dU}{dt} = \sum_k Q_k + \sum_{in} m_{in} \cdot h_{in} - \sum_{out} m_{out} \cdot h_{out} \quad (1)$$

$$\frac{dm}{dt} = \sum_{in} m_{in} - \sum_{out} m_{out} \quad (2)$$

Basado sobre esta estructura es posible investigar la interacción de la dinámica compleja entre los diferentes subsistemas, incluyendo las diferentes perturbaciones que pueden entrar al sistema.

La simulación del modelo muestra la dinámica del cuarto frío bajo la influencia de perturbaciones o debido a los cambios del punto de ajuste.

En la figura 3 se observa la gráfica de la temperatura versus la humedad relativa al interior de la cámara de almacenamiento; la gráfica muestra las curvas como resultado de calefacción, humidificación, incremento de la potencia del ventilador, esta gráfica muestra dos importantes efectos: al realizar cambios de temperatura, se afecta directamente la humedad relativa; mientras al variar la humedad, causa pequeños cambios en la temperatura; y los cambios en la potencia en el sistema de ventilación y de calefacción afecta en gran manera la temperatura y humedad relativa. [5].

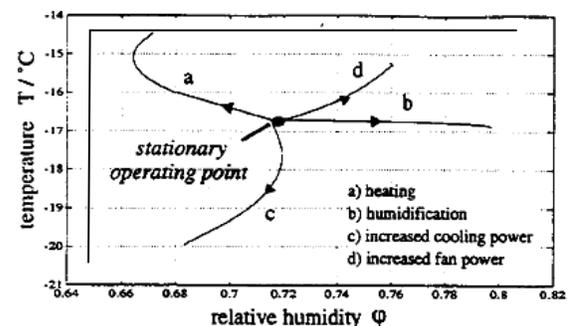


Fig. 3. Temperatura de la cámara de conservación y humedad relativa [5]

5. DISEÑO DEL CONTROLADOR FUZZY

La lógica difusa fue introducida por Zadeh como un método de tratamiento imprecisamente definido, usando el razonamiento y experiencia humana.

El controlador difuso está desarrollado en el software Matlab, encargado de simular el comportamiento de las variables en el transcurso del tiempo, está conformado por dos variables de entrada (Temperatura y humedad relativa), tres salidas (potencia del ventilador, potencia de la resistencia y estado del humidificador) y una base de reglas, como se observa en la figura 4.

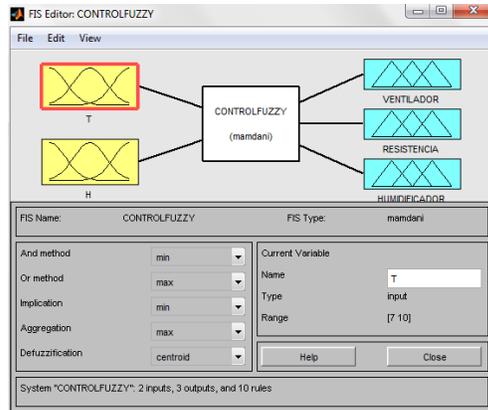


Fig. 4. Panel principal de Toolbox en Matlab

Para cada una de las variables se les define el universo discurso con los respectivos rangos, utilizando membresías semi-trapezoidales y centrales triangulares definidas como: MA, A, N, B, MB, denominadas Muy Alto, Alto, Normal, Bajo y Muy Bajo; para la variable de temperatura entre 6 – 10 °C y para la humedad 80-95 %HR, como se muestra en la figura 5; así mismo con las variables de salida como la potencia del motor y la resistencia con membresías MA, A, N, B, MB, definidas con rangos entre 0-10 volt.

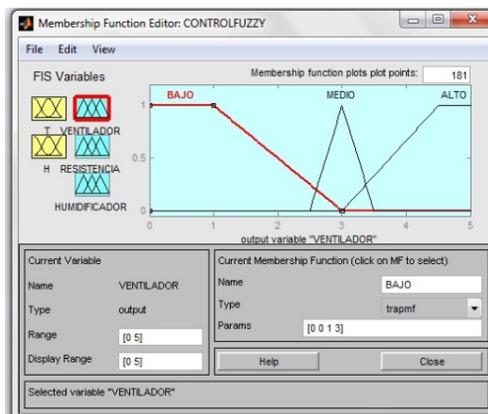
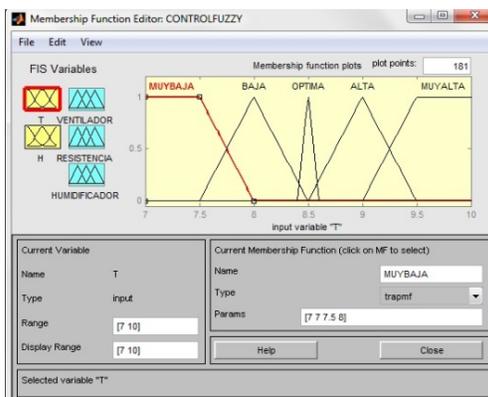


Fig. 5. Universo Discurso de temp. y ventilación.

El sistema de humidificación se emplea con rangos entre 0 y 24 voltios con membresías laterales trapezoidales, el universo discurso se encuentra definido como B y A, denominados bajo y alto, como se observa en la figura 6.

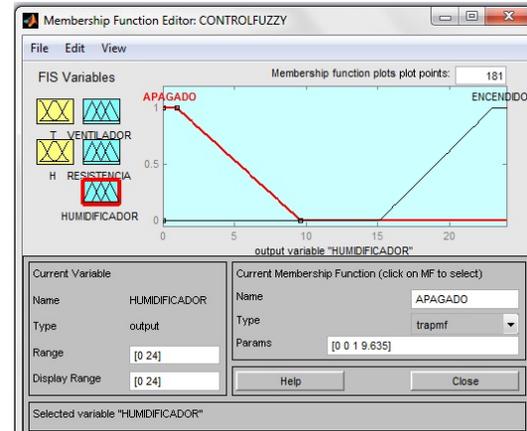


Fig. 6. Universo Discurso Humidificador

La base de reglas define las relaciones lógicas entre las variables lingüísticas, son el sistema que tiene el conjunto difuso de guardar el conocimiento lingüístico, permitiendo resolver el problema para el cual ha sido diseñado.

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron la base de reglas mostradas a continuación basada en la experiencia de expertos.

Si la temp es MB y la humed es MA entonces la ventilación es B la resistencia es MA y el humid es B

Si la temp es MB y la humed es A entonces la ventilación es B la resistencia es A y el humid es B

Si la temp es B y la humed es MA entonces la ventilación es B la resistencia es A y el humid es B

Si la temp es B y la humed es A entonces la ventilación es B la resistencia es N y el humid es B

Si la temp es N y la humed es N entonces la ventilación es N y la resistencia es N

Si la temp es A y la humed es B entonces la ventilación es A la resistencia es B y el humid es A

Si la temp es A y la humed es MB entonces la ventilación es A la resistencia es B y el humid es A

Si la temp es MA y la humed es B entonces la ventilación es MA la resistencia es MB y el humid es A

Si la temp es MA y la humed es MB entonces la ventilación es MA la resistencia es MB y el humid es A

La *Toolbox Fuzzy Control* de Matlab permite la visualización gráfica de la respuesta del sistema controlado mediante la opción *Control Surface* como se observa en la figura 7, esta constituye una importante herramienta en el estudio del comportamiento del sistema, mostrándolos posibles valores de respuesta ante cualquier combinación de entradas.

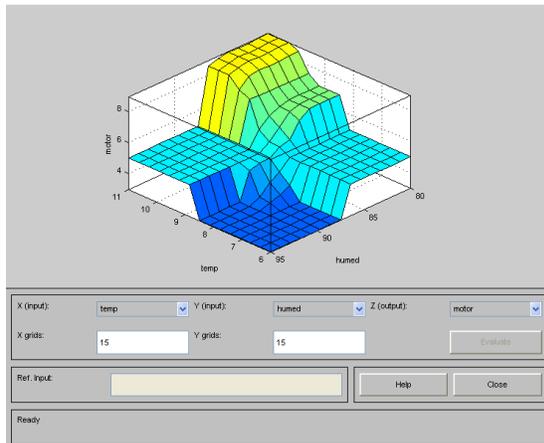


Fig. 7. Superficie de control.

6. APLICACIÓN INTOUCH-FUZZYTECH PARA EL PROCESO DE CONSERVACIÓN

Para el desarrollo del proyecto de conservación de productos agrícolas se implementó el sistema de monitoreo y control basado en el software HMI *InTouch* de la *Wonderware* en su versión 9.5 [6] y la herramienta software para lógica difusa y neuro difusa *FuzzyTech* de *INFORM* en su versión 5.0 [7]; la implementación del autómatas programable FPC101AF de Festo encargado de captar y manipular las variables de entrada y salida respectivamente.

La interfaz hombre-máquina se desarrolló con el fin de monitorear el estado de las variables que intervienen en el proceso de conservación. Debido a que la cámara de conservación se encuentra ubicada al interior de las instalaciones del Centro Experimental del Paramo de Pachacual, el HMI complementa todas las variables tanto de la cámara como del centro experimental, como se muestra en la figura 8.



Fig. 8. Monitoreo general del Centro experimental del Paramo de Pachacual.

Al pulsar sobre cada uno de los locales se abrirá en un tamaño mayor mostrando los datos requeridos por el usuario; para el caso del proyecto se centra en la cámara de conservación que se observa en la figura 9, es allí en donde ocurre todo el proceso y el lugar en donde se centra la aplicación; en ella se observa de forma detallada el comportamiento de todas las variables de entrada y salida que intervienen en el sistema (temperatura, humedad, velocidad del motor, potencia de la resistencia, sistema de ventilación, calefacción, humedad).

Las variables son captadas por el PLC y enviadas a la Interfaz Hombre-Máquina utilizando el protocolo DDE (*Intercambio Dinámico de datos*), cada variable analógica es tomada por las entradas analógicas y enviadas al convertor A/D, valor que es almacenado en un registro particular para cada entrada.



Fig.9. Panel Cámara de almacenamiento

La comunicación entre el autómatas programable y el software de monitoreo se realiza a través de protocolo DDE, esto se realiza por medio de un software propio de cada autómatas, en el caso del PLC de FESTO FPC101AF, el Driver tiene como nombre EzDDE; DDE es un protocolo de comunicación entre las aplicaciones de Windows establecidas por Microsoft.

El procesamiento de la información es realizada por el software *FuzzyTech* de *INFORM*, herramienta para el diseño de controladores difusos y neurodifusos.

En el proceso de conservación de productos agrícolas este software es el encargado de realizar el procesamiento de la información enviada desde *InTouch* como software de visualización, tomando como base el diseño del controlador difuso previamente desarrollado en Matlab.

FuzzyTech toma la información enviada por *InTouch* utilizando protocolo DDE y es configurado para la recepción y a su vez para el envío de datos para cada una de las variables de entrada y salida respectivamente como se muestra en la figura 10 y 11.

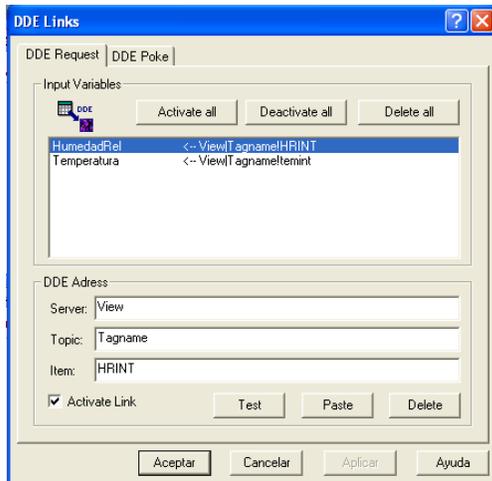


Fig. 10. Configuración de variables de entrada

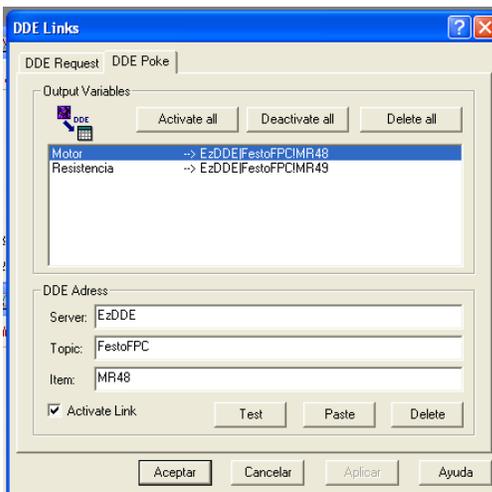


Fig. 11. Configuración de las variables de salida

Como se observa en las figuras 10 y 11, los datos se envían y reciben por medio de los registros asignados a cada salida y entrada del PLC, por intermedio de los registros asignados a cada variable.

Para realizar la comunicación con el software de visualización *InTouch* se realiza instalando el *Activex* Control correspondiente a *FuzzyTech* llamado *Fuzzytech Runtime* control; ya instalado aparece el icono en la elección de *wizard* como se observa en la figura 12.

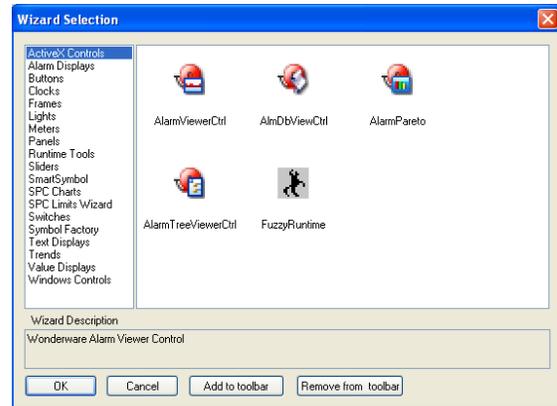


Fig. 12. ActiveX control *FuzzyTech Runtime*

Al realizar la comunicación entre los software se verifica por medio del panel de control que se observa en la figura 13, se verifica el enlace entre la aplicación de *InTouch* y la aplicación de *FuzzyTech* nombrada como *Storage.ftr*.



Fig. 13 Panel de Control *FuzzyTech-InTouch*

7. CONCLUSIONES

Con los sistemas basados en la lógica difusa se pueden evaluar mayor cantidad de variables, entre otras, variables lingüísticas, no numéricas, simulando el conocimiento humano.

Se relaciona entradas y salidas, sin tener que entender todas las variables, permitiendo que el sistema pueda ser más confiable y estable que uno con un sistema de control convencional.

El software *InTouch* ofrece funciones de visualización gráfica que llevan sus capacidades de gestión de operaciones, control y optimización a un nivel completamente nuevo; es un sistemas basados en estándares que permiten incrementar al máximo la productividad, optimizar la efectividad del usuario, mejorar la calidad y reducir los costos operacionales, de desarrollo y de mantenimiento.

La implementación de sistemas difusos y neurodifusos en *FuzzyTech* se pueden llevar a cabo de dos maneras: autónoma y servicio cliente-servidos.

La utilización de software como *FuzzyTech* en la industria, permiten la incorporación del control difuso en procesos industriales, facilitando al operador un mayor entendimiento del proceso al usar variables lingüísticas para relacionar las variables del proceso.

La implementación de un controlador difuso en la industria tiene una ventaja importante con respecto a los controladores clásicos, ya que permite trabajar tanto con sistemas SISO como MIMO sin usar matemática sofisticada, lo que permite trabajar con sistemas no lineales y la manipulación de diversas variables del controlador.

REFERENCIAS

- [1]. Mujica A., Francisco. *Diseño sistemático de controladores Difusos usando razonamiento Inductivo*. Tesis doctoral, universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España, 1995.
- [2]. Bustos M., José Ricardo. *Inteligencia Artificial en el Sector agropecuario*. Seminario Investigativo. Universidad nacional de Colombia. Bogotá, Colombia, 2005.
- [3]. Lisa Kitinoja and Adel A. *Técnicas de Manejo Postcosecha a Pequeña Escala: Manual para los Productos Hortofrutícolas*. Series de Horticultura y Postcosecha. Centro de Investigación e Información en Tecnologías Postcosecha. Universidad de California, Davis, 2002.
- [4]. Becker M.; Hasse, H.; Kosack, P.; Maurer, G.; Scherer, H. *Thermodynamisches Modell Zur Simulation Dynamischer*. Bremen, Band II, 1992.
- [5]. Becker M.; Oestreich, D.; Hasse, H.; Litz, L. *Fuzzy Control for Temperature and Humidity in Refrigeration Systems*. Univerithat Kaiserslautern, Alemania, 1994.
- [6]. InTouch9.5 Invensys - Wonderware. *Programa para el monitoreo y control de procesos industriales*, 2007.
- [7]. FuzzyTECH Inform. *Software para el desarrollo de aplicaciones de lógica difusa y neurodifusas*, 2005.