

Sistema Informático Interactivo para el control de los niveles de líquidos en tanques, mediante la utilización de sensores, con tecnología de lógica difusa

Autores:

¹Andy González Reyes
²Jorge López Huayamabe
³Xavier Ochoa Chehab

¹ ²Egresados, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC), Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

³Director de Proyecto de Grado, PhD, Ingeniero en Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral, Apartado postal 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador
³xochoa@espol.edu.ec, ¹aggonzal@fiec.espol.edu.ec, ²jlopez@espol.edu.ec

Resumen

En el trabajo presentado en este artículo, fue desarrollado con el fin de ayudar al campo industrial, en la manera de controlar, calibrar y monitorear sus niveles de tanques en el momento de llenado o vaciado, experimentando una ayuda al operario o usuario con una visualización nueva en este campo que es la de 3D. A más de esto presentamos el uso de la inteligencia artificial para controlar el llenado/vaciado con el uso de algoritmos de Lógica Difusa para la gestión de control, además se diseñó y se implementó una tarjeta de adquisición de datos, cuyo componente principal es el PIC de gama media 16F873 para la gestión de la adquisición de datos, y para la gestión de visualización del lado del usuario se diseñó y se implementó una interfaz desarrollada en .NET 3.5 usando como lenguaje de desarrollo C#.net en donde el operario podrá configurar los parámetros de la prueba y realizar las operaciones de encendido, apagado del sistema, modo automático, y visualización de datos, para su posterior análisis por un especialista.

Palabras Clave: Control Niveles, Lógica Difusa, Adquisición de Datos, Vistas 3d, SCADA 3D, WPF

Abstract

In the work presented in this article was developed to help the industrial field, the way to control, calibrate and monitor tank levels at the time of filling or emptying, experiencing helps the operator or user with a visualization new to this field that is the 3D. In addition to this we present the use of artificial intelligence to control the filling / emptying with the use of fuzzy logic algorithms for management control, also was designed and implemented a data acquisition board, whose main component is the PIC midrange 16F873 for the management of data acquisition and management of visualization on the user side was designed and implemented an interface developed in .NET 3.5 using as a development language C#. net where the operator can configure the test parameters and perform operations on, shutdown, auto mode, and display data for further analysis by a specialist.

1. Introducción

El proyecto que presentamos cumple con la función de censar líquidos, para este caso, el agua como líquido de referencia, en depósitos (tanques de plástico), mediante una tarjeta de adquisición de datos la misma utiliza un software de computadora y permite visualizar el contenido del líquido en 3D. A continuación mostraremos un diagrama general del proyecto:

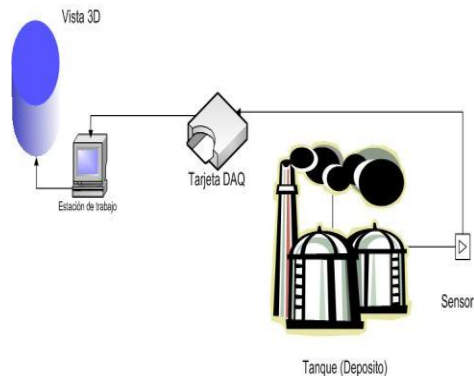


Figura 1 Diagrama General

En la actualidad, las empresas de carácter industrial, excluyen de su mecanismo de control y seguridad en los repositorios de sus materias primas, un medio donde se pueda visualizar el nivel de los líquidos, además de controlar su desalojo en cada descarga; y controlar el nivel mínimo y máximo hasta que se llenan los tanques.

Surge también la necesidad de estas empresas industriales, según un análisis estadístico que se realizó, que casi un 65 % de las mismas, tienen problemas de calibración y de fugas ocasionando pérdidas de materia prima innecesaria, restando eficiencia a los procesos de producción. Por estas razones se desea diseñar e implementar este sistema interactivo donde el operador pueda observar con mucha precisión y en cada momento los parámetros de control de cada tanque como su altura, densidad y presión.

Con esta problemática que tienen las industrias, solucionaremos esta deficiencia mostrándole al usuario/operador, calibración y exactitud de las medidas de los niveles de tanques en intervalos de tiempo, estabilidad

del sensor, y características físicas del tanque como lo son presión, altura, densidad del líquido.

Además de evitar que los operadores corran el riesgo de sufrir accidentes por tener contacto con alguno de estos líquidos, el sistema ayudará al operador/usuario por medio de una interfaz interactiva y confiable, a evitar accidentes físicos por contacto directo con los líquidos.

Este proyecto representa un aporte muy importante para el tipo de industrias donde la materia prima principal reside en tanques como por ejemplo: laboratorios farmacéuticos, industrias químicas, las fábricas de bebidas, las industrias alimenticias, y de productos lácteos etc., en donde el nivel de precisión son muy importantes en sus repositorios y por el nivel de seguridad.

2. Antecedentes

Los requerimientos dividen al proyecto en varios componentes: Un sensor, que captura la señal analógica; una tarjeta de adquisición de datos, para el procesamiento de la señal, un medio de comunicación hacia el computador, y la visión en 3D. Un aspecto principal es la utilización de inteligencia artificial para el control del llenado, esto es con Lógica Difusa.

3. Justificación

A lo largo de muchas investigaciones en las industrias, que guardan materia prima en tanques, se observó que la mayoría poseen mecanismos de automatización en sus controles de niveles que son obsoletos, un ejemplo de estos son los medidores por boya o por simple inspección. Con el avance de la tecnología, las industrias son más exigentes en calibración, monitorización, y control en todos sus procesos. Es por esto que el proyecto muestra con un prototipo, como se puede utilizar inteligencia artificial para controlar los tiempos de llenados y mostrar el proceso en una gráfica 3D.

4. Objetivo general

Medir el nivel de un líquido contenido en un tanque en intervalos pre-establecidos mediante un algoritmo de lógica difusa para el control automático de llenado de tanque y visualizarlo en 3D.

4.1- Objetivos específicos

- ✓ Mejorar el control de calidad del proceso de llenado de los Tanques, realizando auto calibración en cada llenado.
- ✓ Aplicar la inteligencia artificial para mejorar el proceso de llenado de los tanques y evitar errores en el proceso.
- ✓ Automatizar el proceso de llenado de tanques de plástico, utilizando como líquido de referencia el agua.
- ✓ Mostrar al usuario en intervalos pre-establecidos una nueva experiencia en visualización por computador 3D.

5. Aplicaciones a la Industria

Este proyecto tiene como propósito mejorar la automatización de los sistemas de detección de nivel de tanques, depósitos, tolvas utilizados en la industria. Fomentará el uso de la adquisición de datos por computador mediante sistemas SCADA de los procesos de llenado, para realizar la verificación de la cota del líquido en el proceso de llenado.

El proyecto puede ser utilizado por pequeñas, medianas y grandes industrias dependiendo de los requerimientos que se obtengan, como son: altura, diámetro, volumen del tanque, tipo de líquido etc. Además permite visualizar, calibrar, controlar y monitorear el proceso de llenado de tanques en el área industrial tomando el agua como líquido de referencia y el plástico como material del cual están hechos los tanques.

El sistema activa un sensor acústico acoplado al tanque que recepta la información del nivel del líquido y luego este es procesado por la tarjeta de adquisición de datos, con la ventaja de poder visualizar la información del nivel por un display LCD montado en la tarjeta de adquisición de datos, luego esos datos son

enviados por interfaz serial al computador.

Esos datos son capturados por la computadora para procesarlos mediante el uso de funciones de lógica difusa las mismas que determinan el encendido y el apagado de la bomba, luego esos datos, tanto la altura como la toma del tiempo, son guardados en la base de conocimientos (base de datos).

En el peor de los casos si el sensor llega a tener algún tipo de falla, el sistema automáticamente trabajará con su base de conocimiento, para el proceso de llenado.

Una alternativa que ayuda a las industrias cuando existe un mal manejo de recursos técnicos (hardware), es la opción de que el programa realiza un apagado de emergencia. Si el sensor o los recursos de hardware son ineficientes, el sistema se apagará automáticamente.

El programa también permite llevar un monitoreo o control del estado del sensor mostrando cuando está en buen estado o se encuentre en un mal funcionamiento, esto lo muestra mediante una gráfica lineal.

6. Análisis y Diseño de la Aplicación

- ▶ El análisis para la solución del proyecto se realizó en las siguientes partes:
- ▶ **Hardware:**
 - Sensor (“Acústico”)
 - Tarjeta de adquisición de datos.
 - Medios de comunicación de datos.
- ▶ **Software**
 - Obtención de los datos (-> Lógica difusa)
 - Dibujar los datos.
 - Resultado final

Para el diseño de la arquitectura de nuestro proyecto se basa en tres grandes partes

- Parámetros de entrada globales
- Diseño en hardware

- Diseño de software



Figura 2 Parámetros de entradas globales

6.1 Parámetros de Entrada Globales

Los parámetros de entrada para el diseño del proyecto se centran en los estímulos externos de los cuales, el sensor, captura el nivel del tanque, para luego ser transmitidos a la tarjeta de adquisición cuyo componente principal es un micro controlador

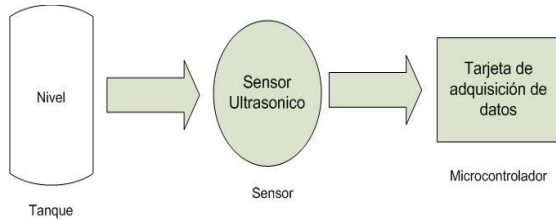


Figura 3 Parámetros de entradas globales

6.2 Diseño del Hardware

El diseño del hardware lo componen específicamente el sensor y la tarjeta de adquisición de datos.

Dentro de la tarjeta de adquisición de datos como se observa en la figura 3.3 se ha dividido en bloques específicos para el diseño como es la parte del microcontrolador la cual consta de:

- Convertidor analógico digital
- Transmisión serial con USART
- Salida de datos al display LCD

También la interfaz serial para comunicación con el PC a través de la norma RS232, una salida para conectar una bomba, la salida de visualización a un display y la etapa de regulación de voltaje necesaria para trabajar a niveles de 5Vcc que es lo ideal para los componentes electrónicos.

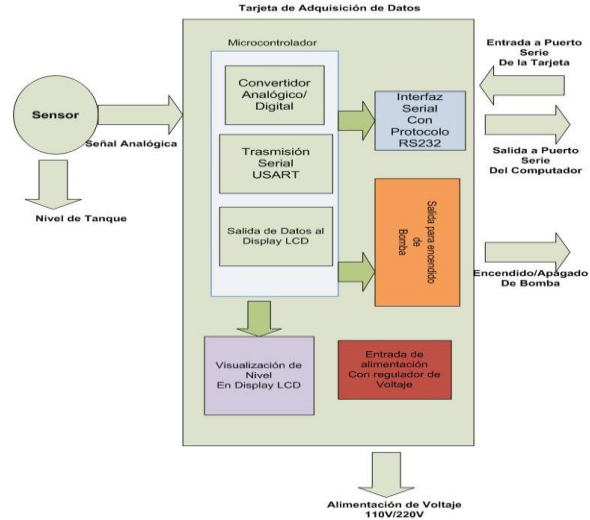


Figura 4 Diseño del Hardware

6.3 Diseño del Software

En la Figura 5 se muestra como está estructurado todo el diseño de la etapa de software en el proyecto. Se muestra la interacción con la entrada de datos, la manipulación y sus operaciones con la base de datos y su respectiva salida en 3D

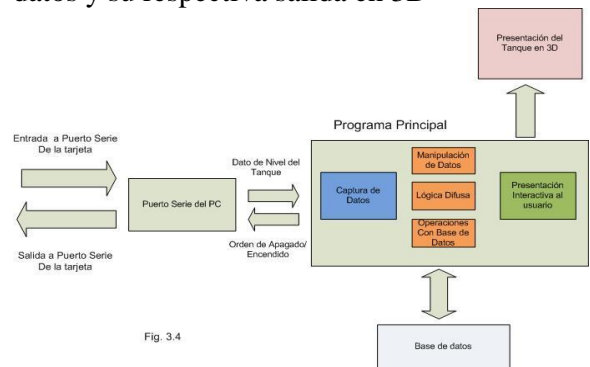


Fig. 3.4

Figura 4 Parámetros de entradas globales

6.4 Especificaciones de diseño del sensor en la tarjeta AD

Una ráfaga de 40KHz es transmitida a través del sensor ultrasónico, el ultrasonido reflejado es recibido por el mismo. El cálculo de la distancia se hace con un PIC16F873A. El

rango de distancia medido es de 15cm a 300cm



Figura 5 Sensor max sonar

Para una medición adecuada, sobre todo en distancias grandes se deben de cumplir las siguientes condiciones:

- El objeto debe estar perpendicular al medidor.
- La superficie del objeto debe ser plana.
- No debe haber objetos alrededor que puedan hacer una reflexión.
- El objeto no debe ser muy absorbente, como por ejemplo tela o una pared corrugada.

Tabla 1 Características del max sonar

Características	MaxSonar
Frecuencia de operación	38KHz a 42KHz
Nivel de presión sonora	117dB (0dB=0.2n bar)
Sensibilidad	-60dB (0dB 1V/u bar)
Máxima entrada de voltaje	20V RMS máximo (60V pico máximo @ 10%)
Rango de temperatura	-40C hasta +65C (-40F hasta +150F)
Impedancia	1K Ohm
Capacitancia	2400 pF (+/- 20%)
Señal	menos de 1ms

DISEÑO PARA EL SENSOR



Figura 6 Diseño de PIC-SENSOR

6.5 Especificaciones de Diseño del PIC

Como ya hemos mencionado para este proyecto el diseño que vamos a usar es para el pic16F873A a continuación en la figura vamos a mostrar el esquema completo del encapsulado del mismo con todas sus entradas salidas

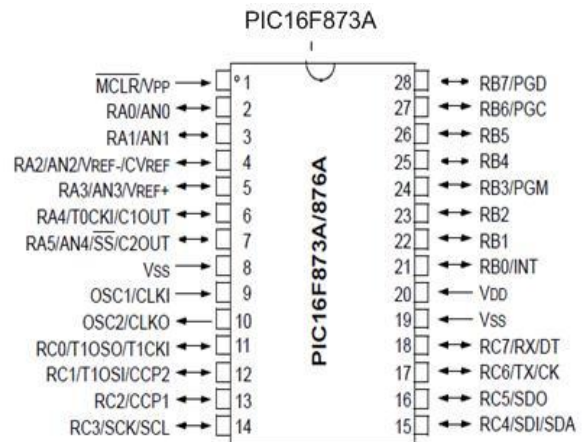


Figura 7 Especificaciones del microcontrolador

Las características la resumiremos en la siguiente tabla:

Tabla 2 Características principales del microcontrolador

Características Principales 16F873A	
Key Features	PIC16F873A
Operating Frequency	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K
Data Memory (bytes)	192
EEPROM Data Memory (bytes)	128
Interrupts	14
I/O Ports	Ports A, B, C
Timers	3
Capture/Compare/PWM modules	2
Serial Communications	MSSP, USART
Parallel Communications	—
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels
Analog Comparators	2
Instruction Set	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN

En el simulador proteus, también contamos con un modelo encapsulado para el diseño de la tarjeta de adquisición de datos.

6.6 Salida al LCD Hitachi

Las pantallas de cristal líquido LCD o display LCD para mensajes (Liquid Cristal Display) tienen la capacidad de mostrar cualquier carácter alfanumérico, permitiendo representar la información que genera cualquier equipo electrónico de una forma fácil y económica. La pantalla consta de una matriz de caracteres (normalmente de 5x7 o 5x8 puntos) distribuidos en una, dos, tres o cuatro líneas de 16 hasta 40 caracteres cada línea. El proceso de visualización es gobernado por un microcontrolador incorporado la pantalla, siendo el Hitachi 44780 el modelo de controlador más utilizado. Ver figura 3.11:

LCD HITACHI 16x2



Figura 8 LCD hitachi

A continuación se presenta la descripción de señales empleadas por el módulo LCD así

como el número de patilla a la que corresponden. Además del respectivo diseño final en el simulador previo a la implementación. Ver figura 3.12 y la tabla 3:

Tabla 3 Descripción de pines del LCD

Descripción de Pines de LCD hitachi		
PIN Nº	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
1	V _{SS}	Patilla de tierra de alimentación
2	V _{DD}	Patilla de alimentación de 5 V
3	V _O	Patilla de contraste del cristal líquido. Normalmente se conecta a un potenciómetro a través del cual se aplica una tensión variable entre 0 y +5V que permite regular el contraste del cristal líquido.
4	RS	Selección del registro de control/registro de datos: RS=0 Selección del registro de control RS=1 Selección del registro de datos
5	R/W	Señal de lectura/escritura R/W=0 El módulo LCD es escrito R/W=1 El módulo LCD es leído
6	E	Señal de activación del módulo LCD: E=0 Módulo desconectado E=1 Módulo conectado
7-14	D0-D7	Bus de datos bi-direccional. A través de estas líneas se realiza la transferencia de información entre el módulo LCD y el sistema informático que lo gestiona

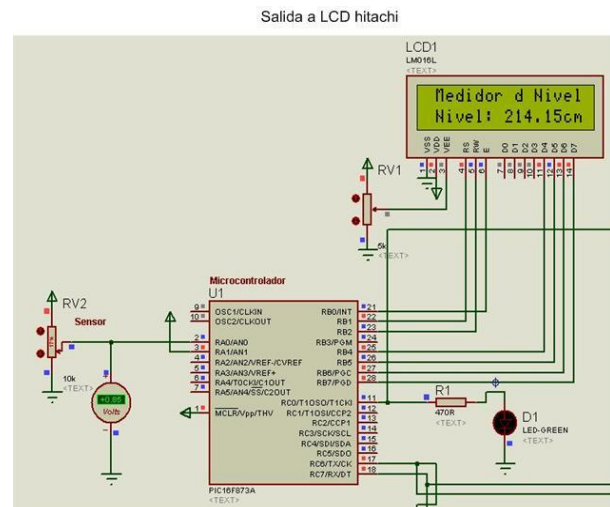


Figura 9 Conexiones del LCD al pic

6.7 Convertidor Analógico-Digital

Los microcontroladores PIC16f873A poseen un conversor analógico digital de 10 bits de resolución y 5 canales de entrada. La resolución que tiene cada bit procedente de la conversión tiene un valor que es función de la tensión referencia

Vref, de acuerdo a la siguiente formula:

$$resolucion = \frac{(Vref_+ - Vref_-)}{1024} = Vref / 1024$$

6.8 Comunicación Serial mediante el USART y RS232

El módulo transmisor (USART) es otro de los dos puertos serie de los que dispone esta familia de microcontroladores.

Los módulos de I/O. (USART también se conocen como Serial Communications o Interface o SCI). El USART puede configurarse como asíncrono full dúplex que puede comunicar con los dispositivos periféricos como el terminales de CRT y los ordenadores personales, o puede configurarse como un sistema síncrono half duplex que puede comunicar con otros microcontroladores, con dispositivos periféricos como A/D o D/A circuitos integrados, EEPROMs serie etc.

El USART puede configurarse en los modos siguientes:

- Asíncrono (Full duplex)
- Síncrono-Master (half duplex)
- Síncrono-Slave (half duplex)

En la transmisión asíncrona por cada carácter se envía al menos 1 bit de inicio y 1 bit de parada así como opcionalmente 1 bit de paridad. Esta es la razón de que los baudios no se correspondan con el número de bits de datos que son transmitidos. Para transmitir un carácter en nuestra tarjeta de adquisición será:

$$1 \text{ bit inicio} + 8 \text{ bits datos} + 1 \text{ bit paridad} + 1 \text{ bits parada} = 11 \text{ bits.}$$

Como cada carácter posee 8 bits de datos serán transmitidos $874 * 8 = 6992$ bits de datos por segundo.

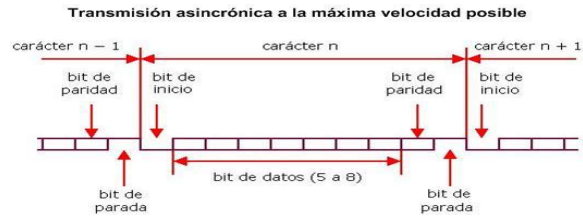


Figura 10 Transmisión Asíncrona

6.9 Diagrama de estados, firmware y algoritmo para el programa principal

En esta figura se muestra el diagrama general de estados del firmware del microcontrolador:

Diagrama de estados para Tarjeta de Adquisición de Datos

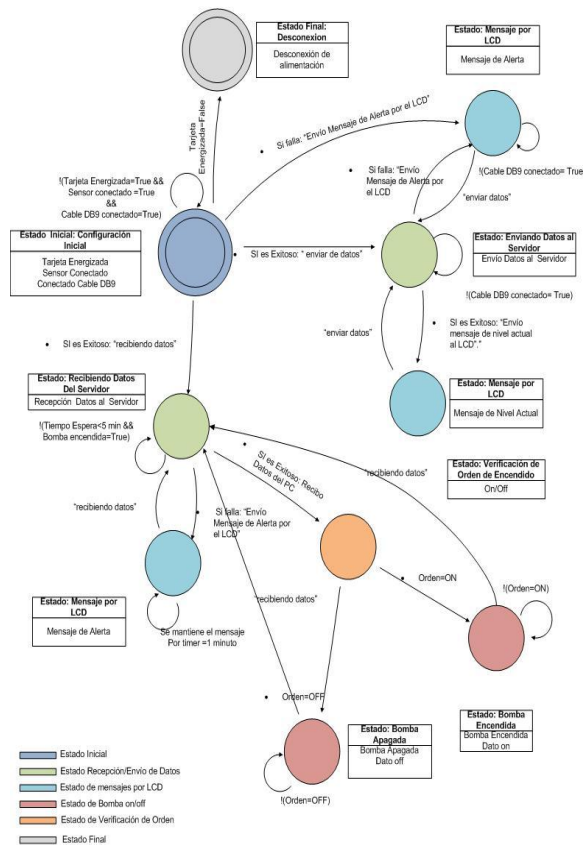


Figura 11 Diagrama de estados del FIRMWARE

6.10 Algoritmo general del PIC

A continuación se muestra el algoritmo general del funcionamiento del PIC detallando entradas y salidas, así como su interacción con las bombas de agua, además se observa el algoritmo del microcontrolador, donde se ha dividido en dos partes una para la secuencia de envío de datos, y la otra para la transferencia de datos

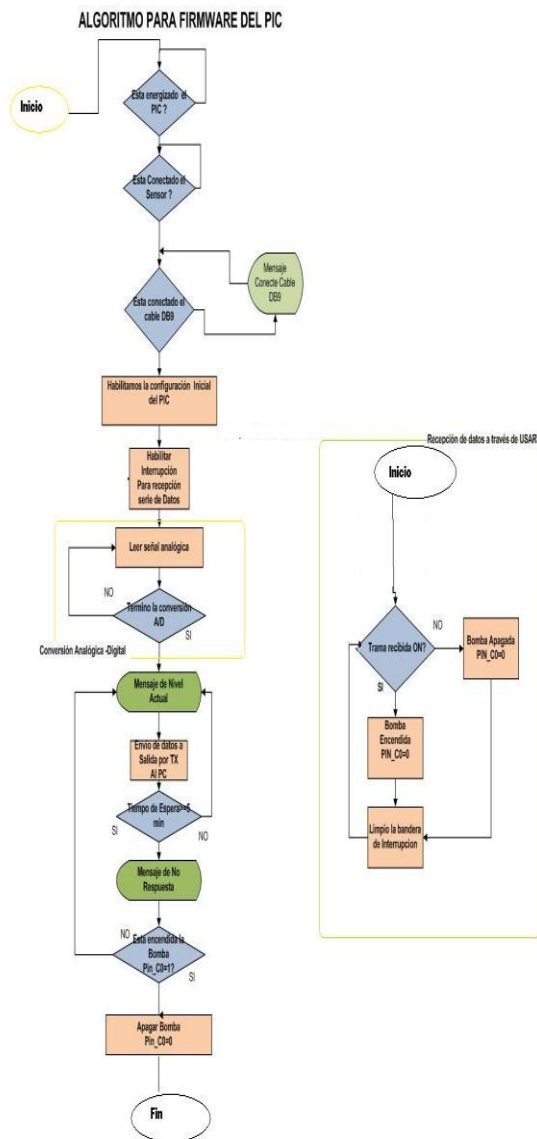


Figura 12 Algoritmo general del PIC

6.11 Interfaz serial con MAX-232

Diseño en proteus de la interfaz serial con el chip MAX-232 para poder ajustar las señales que entraran al computador

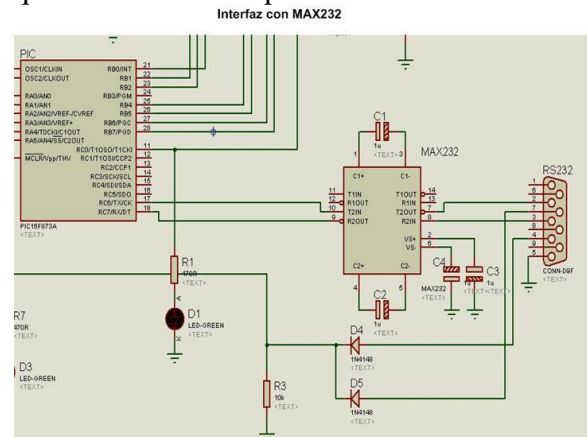


Figura 13 Diseño de la Interfaz con el MAX-232

6.12 Modelamiento 3D del tanque

Para el modelamiento del tanque en 3D, nos enfocamos en las siguientes componentes de Visual Studio 2008 que emplean tecnología WPF (Windows Presentation Foundation):

- Librerías y clases multimedia.
- Elemento ViewPort3D.
- Elemento ModelVisual3D
- Clase MeshGeometry3D
- Tipos de materiales.
- Elemento ProjectionCamera.
- Iluminación de la escena
- Transformación.
-

Librerías y clases multimedia proporcionadas por Visual Studio 2008.

Las herramientas de Visual Studio 2008 nos proporcionan una gran cantidad y gama de librerías, y funcionalidades para trabajar con elementos visuales, gráficos, Audio y video y también nos ayuda a trabajar con elementos y objetos tridimensionales. Entre las clases que contribuyen a la Microsoft Windows Presentation Foundation, una debe hacer hincapié en que se encuentran en el espacio de nombres

System.Windows.Media.Media3D.

Las librerías utilizadas e investigadas para el modelamiento en 3d del tanque son las siguientes:

- System.Windows.Documents.
- System.Windows.Input.
- System.Windows.Media
- System.Windows.Media.Imaging.
- System.Windows.Navigation.
- System.Windows.Shapes.
- System.Windows.Media.Media3D.

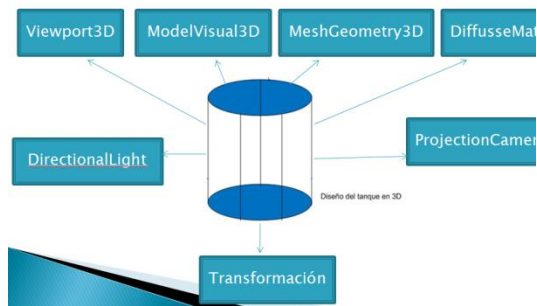


Figura 14 Clases .NET para aplicar en la geometría 3D

6.13 Representación de Datos

Para calcular el tiempo de llenado del tanque hemos realizado dos soluciones importantes que son factibles en el momento de llenar un tanque específico, la primera solución fue de implementar en código un cronómetro, este cronómetro se encarga de mostrarle al usuario el tiempo que dura el transcurso del llenado de un tanque, mostrándole las horas, los minutos, los segundos y los milisegundos en el proceso de llenado, este cronómetro es independiente a la hora del computador.

Uno de estos beneficios de crear el cronómetro es indicarle al usuario el proceso de llenado desde el inicio hasta el final, el llenado completo del tanque. El tiempo de un computador normal no hemos tomado en cuenta, porque las computadoras saben tener las fallas de la des configuración de la hora, y así evitamos un fallo en el sistema.

La segunda solución fue crear una base de datos, para el almacenamiento de los datos del sensor, datos del tiempo o cronómetro y datos

de la lógica difusa que emplea su función de membresía. Este objetivo se realizó para tener el control de cada intervalo de tiempo de llenado del tanque.

Otras de las características importantes de esta solución es de insertar en cada instante de tiempo la altura, que son datos que envía el sensor a la tarjeta de adquisición y su vez es leído por la computadora para guardarlo en la base de datos.

En la siguiente fórmula mostramos la ecuación del tiempo de llenado que tiene nuestro proyecto.

$$\sum_{i=1}^{i=Th} (t1 + t2 + t3 + \dots + th)$$

$t = tiempo_Cronometro$

$Th = tiempo_altura_limite$

$t = hh : mm : ss : ms$

Ecuación Promedio con cronometro

Como en la segunda solución hablamos de la base de datos en la figura 3.31 mostramos el esquema lógico de la base de datos.

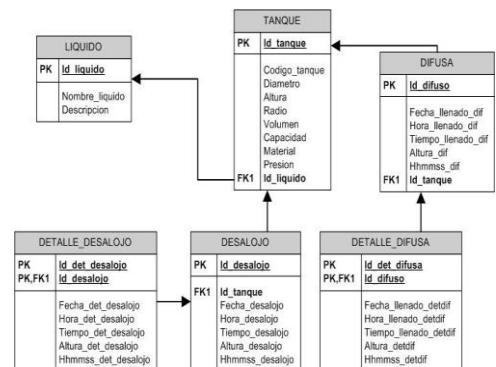


Figura 15 Diagrama base de datos

6.14 Promedio de Llenado

Para automatizar el proceso de llenado de los tanques, sin necesidad que el usuario lo apague manualmente y se auto calibre por

cada llenado de tanque, se analizó y se pensó como solución, obtener el promedio de llenado de cada tiempo del proceso culminado.

En este proceso nos ayuda los historiales de la base de datos, en la cual por cada llenado guardamos su tiempo completo de culminación.

En la figura 16 se muestra un esquema general del manejo del promedio de llenado Manipulando la base de datos.

Como observamos en la fórmula de la fig.

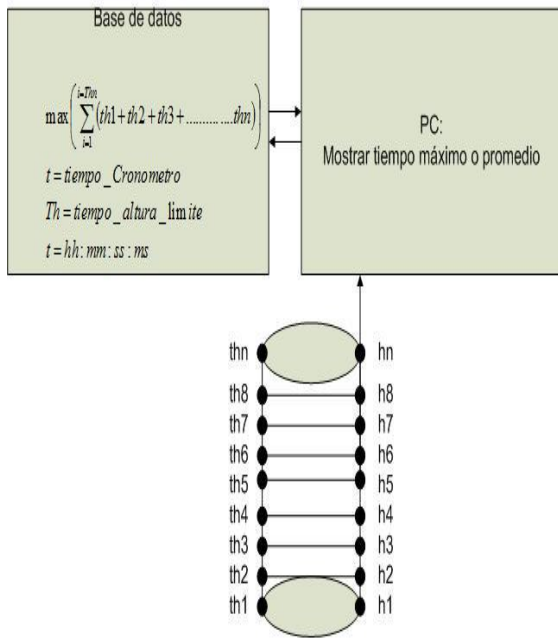


Figura 16 Promedio llenado

16 tenemos en la fórmula como tiempo máximo “Max”, escogimos como tiempo máximo al conjunto de tiempos que se encuentra en el historial del detalle de la base de datos, ya que el motor de la base de datos SQL server 2005, no cumple con las funciones de promedio, analizando el caso obtuvimos como conclusión que por cada llenado, ya que cada llenado no varía mucho con su tiempo final, decidimos optar por el tiempo máximo, este tiempo auto calibra el llenado del tanque

y aprende históricamente en cada día de llenado.

6.15 Diseño de la Lógica Difusa

Es basado en la Experiencia. Usualmente, el operador expresa sus estrategias de control lingüísticamente como un conjunto de reglas de toma de decisiones

Esquema del tanque

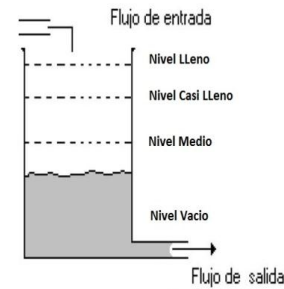


Figura 17 Promedio llenado

Y traducido en lenguaje de reglas difusas sería:

- SI NIVEL es VACIO o NIVEL es MEDIO entonces MANTENER PRENDIDA BOMBA.
- SI NIVEL es MEDIO o NIVEL es CASILLENO entonces MANTENER PRENDIDA BOMBA.
- SI NIVEL es CASILLENO o NIVEL es LLENO entonces MANTENER PRENDIDA BOMBA.
- SI NIVEL es LLENO entonces APAGAR LA BOMBA.

6.16 Diseño de las Funciones de Membresía

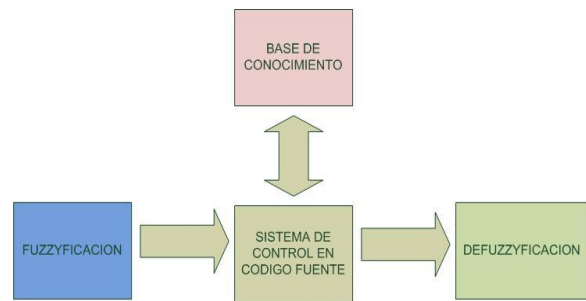


Figura 17 Esquema de Lógica Difusa

A continuación se muestran el diagrama para la función de membresía para la Fuzzificación

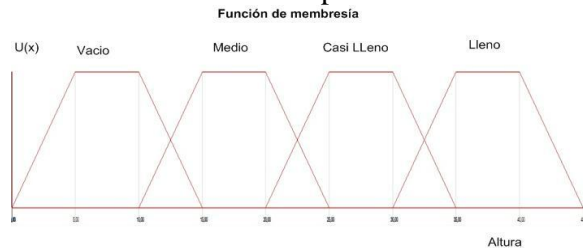


Figura 18 Función de Membresía: Fuzzyficacion

Para las funciones de membresía se seleccionó la modelo trapezoidal, puesto que se asume condiciones estables por lapsos de tiempo

Tabla 4.1 Medidas para un tanque de 45 cm (FUZZY)

Rango de niveles de tanques en centímetros (cm)				
Vacio	0	5	10	15
Medio	10	15	20	25
Casi lleno	20	25	30	35
Lleno	30	35	40	45

Así mismo se muestra el proceso de Defuzzificación



Figura 19 Función de Membresía: Defuzzyficacion

Tabla 4.2 Medidas para un tanque de 45 cm(DEFUZZY)

Estado de bomba	Rango de niveles en centímetros (cm)			
on	0	20	28	40
off	41	42	44	45

En términos generales el esquema con lógica difusa queda de la siguiente forma:



Figura 20 Esquema General de la Lógica Difusa

DotFuzzy es un código abierto independiente de biblioteca de clases de lógica difusa. La biblioteca se construye en C # y por lo tanto pueden ser utilizados por todas las lenguas del entorno. NET. Debido a implementación orientada a objetos de la biblioteca es fácil de usar e implementar. DotFuzzy está diseñado para ser flexible

DotFuzzy implementa fuzzificación, las reglas de validación / evaluación y defuzzificación con el método de centroide.

6.17 Control por Función de Membresía

La función de membresía se encarga de indicar el estado de la altura correspondiente al envío de datos del sensor. Si del sensor se obtiene valores próximos a llenarse el tanque, la función de membresía indicara el estado on/off.

Se implementó un cronometro interno, para el control de tiempo de llenado. Contamos con una base de Conocimientos (Base de datos).

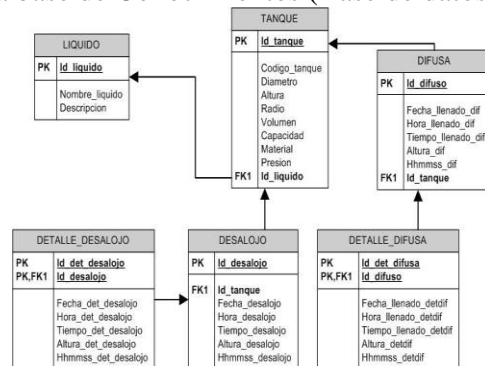


Figura 20 Base de Conocimientos

7. Implementación

7.1 Diseño en Proteus

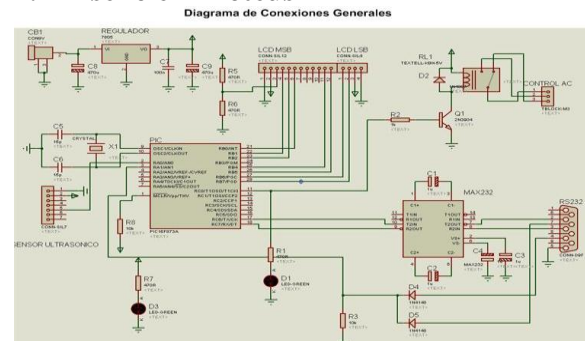


Figura 21 Diagrama de conexiones generales

7.1 Diseño en Placa Impresa

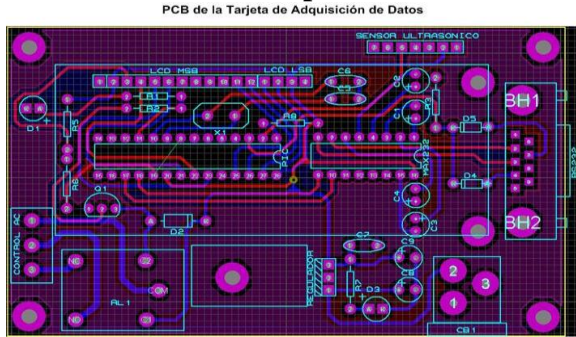


Figura 21 Diagrama de PCB

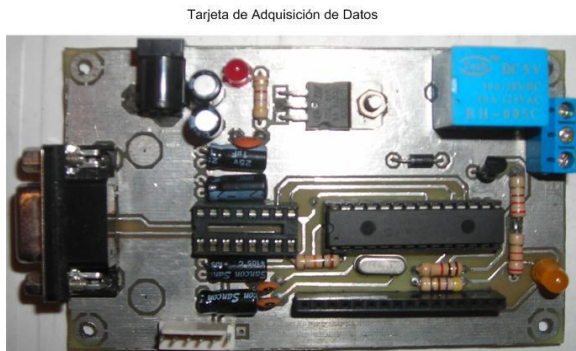


Figura 21.1 Montaje de Chips



Figura 21.2 Montaje Completo

En la figura 21.2 se observa la pantalla de cristal líquido LCD ya instalada en la tarjeta de adquisición de datos y el sensor ultrasónico en esta figura la tarjeta de adquisición de datos se encuentra sin alimentación de energía

7.2 Montaje con los tanques

Para el montaje del prototipo se necesitaron

- 2 tanques de plástico de capacidad para 20 litros
- 2 llaves de paso de $\frac{3}{4}$ de pulgadas
- 1 metro de manguera de $\frac{1}{4}$ de pulgada para las llaves de paso
- 2 bombas DC de limpia parabrisas
- 1 fuente DC a 3 amperios



Figura 22 Montaje de los Tanques

7.3 Interfaz gráfica GUI para Usuario

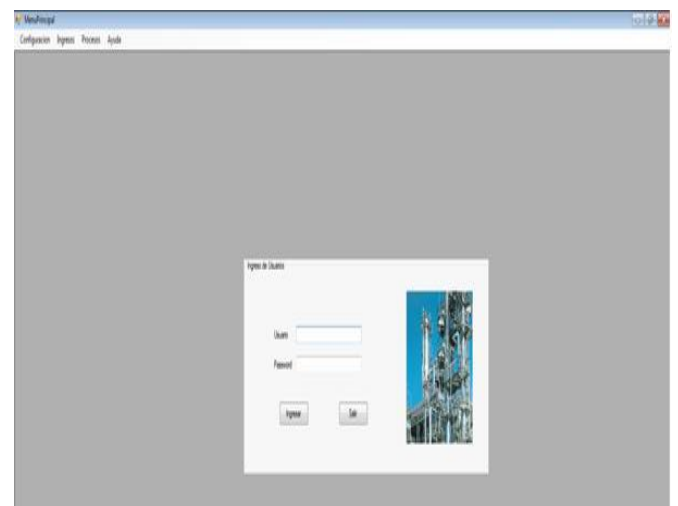


Figura 23 Interfaz inicial

En la figura 23 mostramos la interfaz inicial, el ingreso de usuario que permite el acceso aquellos operadores que tengan permiso de manejar el sistema.



Figura 24 Configuración inicial del sistema

En la figura 24 se muestra la configuración inicial del sensor, como su nombre lo indica, configura el puerto COM con la cual trabajara la tarjeta de adquisición y el envío de datos al PC.



Figura 25 Ingreso de datos del tanque

En la figura 25 se observa el ingreso de los datos del tanque, en esta pantalla se obtiene todas las características importantes del tanque como lo son: altura, diámetro y volumen que van hacer registradas en la base de conocimiento (“base de datos”).

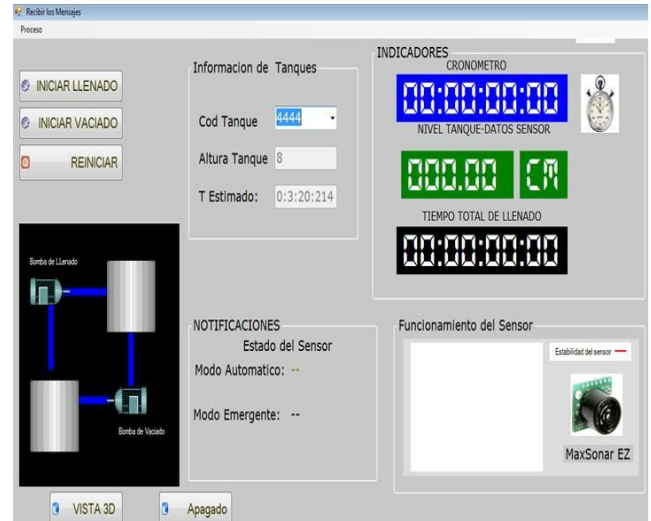


Figura 26 Pantalla principal

7.4 Visión 3D de los tanques

En este esquema mostaremos las imágenes de cómo el tanque 2 llena el tanque 1 en la siguiente figura 4.14 a) b) y c)

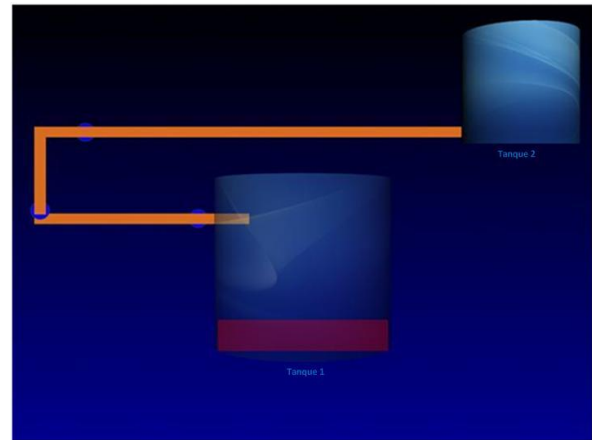


Figura 26 Esquema grafico del tanque

En la figura 4.14a se observa como el tanque 2 llena el tanque 1 en $t = 52$ segundos, y vemos el sombreado que se muestra en el tanque 1, demostrando el llenado hasta el determinado tiempo.

En la figura 26 se observa como el tanque 2 llena el tanque 1 en $t = 2,48$ minutos, y vemos el sombreado que se muestra en el tanque 1, demostrando su llenado hasta ese determinado tiempo.

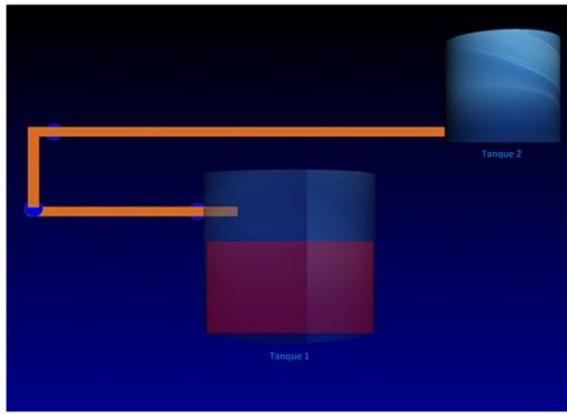


Figura 26 Esquema grafico del tanque

En la figura 27 se observa como el tanque 2 ha llenado por completo el tanque 1 en $t = 5,18$ minutos, y también el sombreado que se muestra en el tanque 1, demostrando el llenado total en ese determinado tiempo.

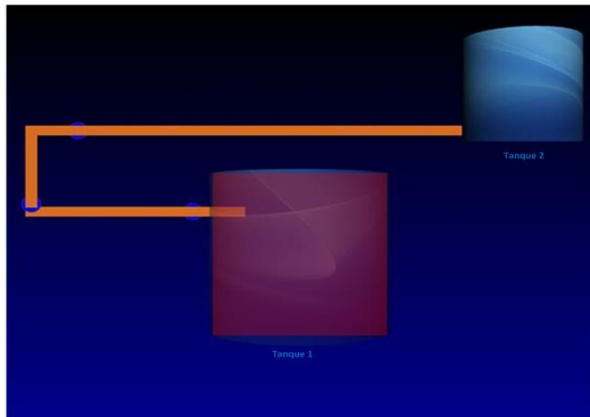


Figura 27 Esquema grafico del tanque

8. Pruebas y Análisis de Resultados

Para lograr nuestro objetivo, que el llenado del tanque cumpla un 98% de exactitud en calibración, visualización, control y monitoreo hemos realizado un plan de pruebas evaluando los casos de uso que intervienen en el proyecto.

Lista de pruebas a evaluar:

- Pruebas del Sensor
- Pruebas del Acondicionador de Señal
- Pruebas del PIC16f873
- Prueba de la interfaz serial con MAX232
- Pruebas de entrada de datos al PC
- Pruebas de modelado en 3D y salida de datos
- Pruebas de las funciones de membrecía para el control de la bomba

Para el análisis de las pruebas se tomaron las muestras de la base de datos y se dividieron en tres partes:

- Pruebas con Lógica Difusa
- Pruebas sin Lógica Difusa

8.1 Resultado de Pruebas con Lógica Difusa

Tabla 5 Resultado de Pruebas con Lógica Difusa

Valor del sensor (cm)	Evaluador de las funciones de membrecía	Estado Bomba (on/off)	Estado funcionamiento
10.10	22.16	ON	OK
12.15	22.16	ON	OK
12.50	22.16	ON	OK
15.35	22.16	ON	OK
20.12	22.16	ON	OK
22.98	22.16	ON	OK
35.25	22.16	ON	OK
40.00	22.16	ON	OK
43.00	44.33	OFF	OK
45.00	44.33	OFF	OK
60.76	NEUN	ON	Automático

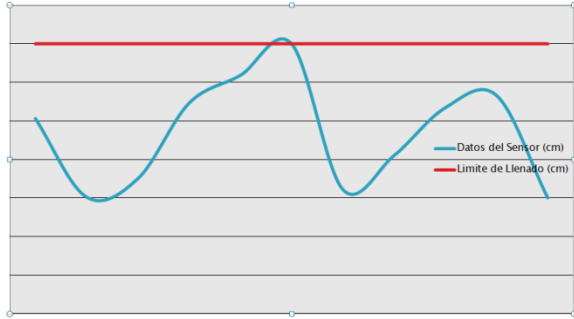


Figura 28 Relación de cm por debajo del Umbral

8.2 Resultado de Pruebas sin lógica Difusa

Tabla 6 Resultado de Pruebas sin Lógica Difusa

Valor del sensor (cm)	Evaluador de las funciones de membresía	Estado Bomba (on/off)	Estado funcionamiento
10.10	22.16	ON	OK
12.15	22.16	ON	OK
12.50	22.16	ON	OK
15.35	22.16	ON	OK
20.12	22.16	ON	OK
22.98	22.16	ON	OK
35.25	22.16	ON	OK
40.00	22.16	ON	OK
43.00	44.33	OFF	OK
45.00	44.33	OFF	OK
60.76	NEUN	ON	Automático

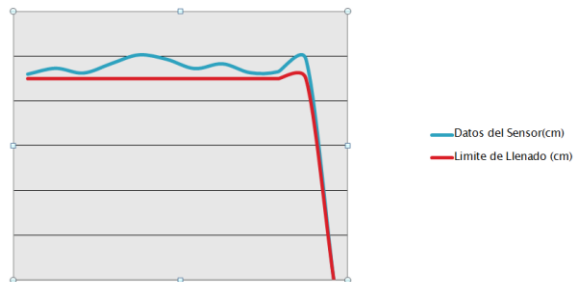


Figura 29 Relación de cm por encima del Umbral

8.3 Total de resultados

Tabla 7 Resultado de Pruebas Globales

Número de pruebas	Altura de llenado (cm)	Tiempo de llenado (mm:ss.ms)	Modo
1	43,27	5:25:23	Difusa(ok)
2	43,60	5:25:25	Difusa(ok)
3	44,45	5:24:30	Difusa(ok)
4	44,15	5:24:25	Difusa(ok)
5	44,28	5:24:22	Difusa(ok)
6	44,22	5:24:22	Difusa(ok)

7	44,26	5:24:59	Difusa(ok)
8	44,82	5:24:58	Difusa(ok)
9	44,24	5:24:01	Difusa(ok)
10	43,95	5:23:50	Difusa(ok)
11	44,73	5:24:45	Difusa(ok)
12	43,45	5:23:10	Difusa(ok)
13	44,13	5:24:10	Difusa(ok)
14	44,01	5:24:18	Difusa(ok)
15	43,25	5:23:12	Difusa(ok)
16	44,23	5:23:10	Difusa(ok)
17	44,59	5:24:20	Difusa(ok)
18	45,00	5:24:59	Difusa(ok)
19	44,11	5:25:00	Difusa(ok)
20	43,55	5:23:50	Difusa(ok)
21	44,17	5:23:59	Difusa(ok)
22	44,33	5:24:58	Difusa(ok)
23	44,30	5:24:45	Difusa(ok)
24	43,50	5:23:30	Difusa(ok)
25	45,26	5:25:00	Automático
26	46,50	5:25:00	Automático
27	68,56	5:25:00	Automático
28	69,05	5:25:00	Automático
29	46,00	5:40:00	Sin usar Difusa
30	47,32	5:52:00	Sin usar Difusa
31	46,25	5:35:00	Sin usar Difusa
32	48,36	6:00:00	Sin usar Difusa
33	50,32	6:20:00	Sin usar Difusa
34	49,32	5:59:00	Sin usar Difusa
35	47,25	5:45:00	Sin usar Difusa
36	48,32	5:59:00	Sin usar Difusa
37	46,32	5:45:00	Sin usar Difusa
38	46,55	5:55:00	Sin usar Difusa
39	49,36	6:05:00	Sin usar Difusa
40	81,97	5:25:00	Automático
41	82,17	5:25:00	Automático
42	83,06	5:25:00	Automático

8.4 Análisis de Resultado con Lógica Difusa

Nivel Promedio	Tiempo Promedio	Nivel Ideal	Tiempo Ideal
44,105	5:24:21	45	5:25:00

% de Eficiencia en Nivel = (Nivel Promedio del Sensor / Nivel Ideal)*100
%Eficiencia en Nivel = 98,01 %

Figura 30 Análisis de resultados con Lógica Difusa

8.5 Resultados de las pruebas con Lógica Difusa mostrando el porcentaje de error

Nivel Promedio (cm)	Nivel ideal (cm)	Desviación Estándar(cm)	%Error
44,11	45	0,445	1,98 ±1,04

%Erróneo en Nivel = 1.98 %

Figura 31 Análisis de resultados con Lógica Difusa y su margen de error

8.6 Resultados de las pruebas sin Lógica Difusa mostrando el porcentaje de error

Nivel Promedio (cm)	Nivel ideal (cm)	Desviación Estándar(cm)	%Error
47,76	45	1,41	6,13 ± 3,26

%Erróneo en Nivel = 6.13 %

Figura 32 Análisis de resultados sin Lógica Difusa y su margen de error

8.7 Histograma de mediciones usando lógica difusa

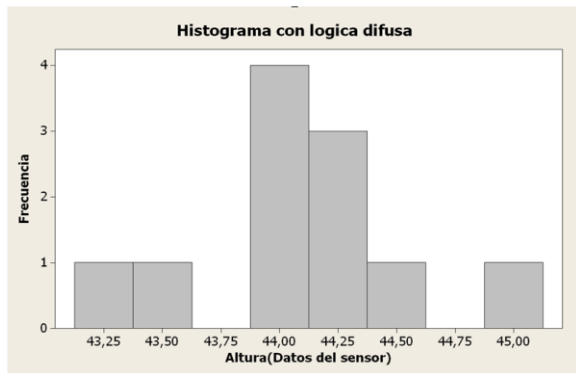


Figura 33 Histograma de Mediciones con lógica Difusa

8.8 Histograma de mediciones sin lógica difusa

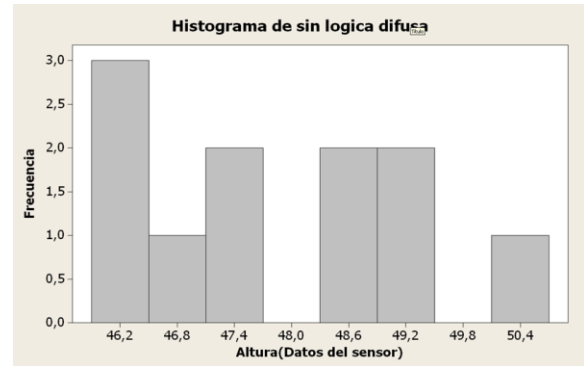


Figura 34 Histograma de Mediciones sin lógica Difusa

8.9 Distribución Normal sin lógica difusa y con lógica difusa

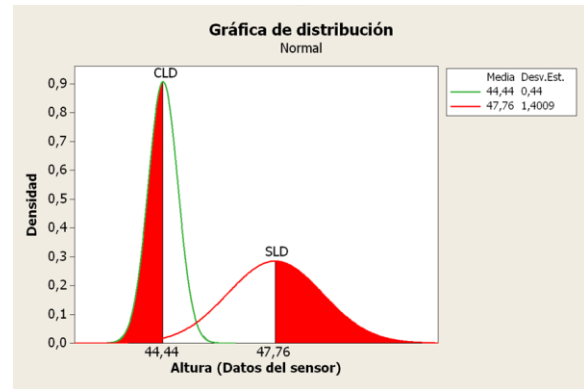


Figura 35 Distribución Normal de mediciones

9. Conclusiones

Las mayorías de las industrias no manejan sistemas que integran tecnologías entre hardware + software para censar los datos de niveles en tanques, con esta combinación de nuestro proyecto mejoramos un 98 % de exactitud en el llenado y calibrado para los tanques con lógica difusa.

Concluimos que mostrar el llenado del tanque modelado en 3D, realizando el proceso en tiempo real, ayuda al operador a controlar el nivel de llenado del tanque, ya que las mayorías de sistemas solo manejan los sensores de nivel es decir solo el hardware.

La utilización de PIC de gama media resulto ineficiente para la toma de datos y emplearlo como corazón de la tarjeta de adquisición de

datos, para analizar proyectos a gran escala se debe pensar en el uso de PICS más avanzado y con mayores prestaciones.

Las funciones de membrecía son fundamentales para automatizar el apagado de las bombas DC, ayudan a pronosticar por medio de sus variables lingüísticas y además obteniendo los datos del sensor, a obtener en qué nivel esta llenado el tanque y saber en qué momento apagar las bombas DC, estas funciones de membrecía son ideales al momento de automatizar algún proceso industrial que requieran algún control.

Llevar un registro de los tiempos de llenado, fecha de llenado, hora de llenado, el fin es de optimizar las consultas de resultado, ya que el sistema trabaja por tiempos promedios de los ingresos anteriores, estos historiales de registro permiten visualizar ítem a ítem su proceso, si fállase algún evento, se consultaría su historial, donde se guarda en la base de datos.

10. Referencias

- [1] **Maxbotics.** Hoja de especificaciones del Sensor Maxzonar. <http://www.maxbotix.com/uploads/LV-MaxSonar-EZ1-Datasheet.pdf>. Fecha de publicación 2005.
- [2] **Microchip.** Hoja de especificaciones del 16F8xxx. <http://ww1.microchip.com/download/en/devicedoc/39582b.pdf>. Fecha de publicación 2006.
- [3] **MSDN Microsoft.** Guía de materiales difusos en WPF. <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms747437.aspx#materials>. Fecha de publicación 2008.
- [4] **MSDN Microsoft.** Guía de materiales en Iluminación en WPF. http://asignaturas.inf.udec.cl/cgraf/public_html/iluminacion.pdf. Fecha de publicación 2009.
- [5] **MSDN Microsoft.** Iluminación en proyecciones 3D en WPF. http://asignaturas.inf.udec.cl/cgraf/public_html/iluminacion.pdf. Fecha de publicación 2009.
- [6] **Apuntes de Teorías de Proyecciones 3D,** Universidad Estatal de Colombia. http://asignaturas.inf.udec.cl/cgraf/public_html/iluminacion.pdf. Fecha de publicación 2007.
- [7] **MSDN Microsoft.** Código fuente de Materiales en Luces en WPF. <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms747437.aspx#lights>. Fecha de Publicación 2008.
- [9] **CCS Electronics.** Tutorial del IDE CCS para microcontroladores. http://www.ccsinfo.com/newsdesk_info.php?newsdesk_id=120. Fecha de publicacion 2007.
- [10] **MSDN Microsoft.** Guía de Visual Studio 2008 y sus principales componentes <http://msdn.microsoft.com/es-es/vstudio/default.aspx>. Fecha de publicación 2009
- [11] **Wikipedia.** Sistema Operativo dedicado RTLinux. <http://es.wikipedia.org/wiki/RTLinux>. Fecha de publicación 2007
- [12] **Sistemas Scadas inteligentes.** Controles mediante Lógica Difusa de sistemas SCADAS. <http://global.wonderware.com/EN/Pages/WonderwareInTouchHMI.aspx>. Fecha de publicación 2007.
- [13] **MSDN Microsoft.** Librerías WPF. <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms229335%28v=VS.90%29.aspx>. Fecha de publicación 2006.
- [14] **MSDN Microsoft.** Librerías WPF con C#.

<http://msdn.microsoft.com/es-es/library/zw4w595w%28v=vs.90%29.aspx>. Fecha de publicación 2008

- [15] **kindohm.com**. Técnicas de modelado 3D en WPF. <http://www.kindohm.com/technical/wp3dtutorial.html>. Fecha de publicación 2009.
- [16] **MSDN Microsoft**. Ejemplos de controles usando WPF. <http://code.msdn.microsoft.com/Project/Download/FileDownload.aspx>. Fecha de publicación 2009.