



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“Medición y Control de Nivel con Aplicación a dsPIC”

### **TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Presentado por:

Abarca Coloma Sebastián Humberto  
Loor Flores Oscar Alberto  
Robalino Gallo Samuel Elías

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO**

**2008**

# AGRADECIMIENTO

A mi Familia  
Sebastián H. Abarca Coloma

A Dios.  
MI Familia.  
A mis profesores y amigos.

Oscar A. Loor F

Al único, al merecedor de toda la honra y gloria por los siglos de los siglos.  
A Dios Todopoderoso.

Además a todos mis compañeros y amigos de trabajo, profesores, familiares,  
y a los que silenciosamente aportaron con la culminación de mi carrera

Samuel E. Robalino G.



# DEDICATORIA

A mi Madre por su apoyo incondicional

Sebastián H. Abarca Coloma

A Dios por permitirme llegar a este punto y concederme salud para lograr mis objetivos.

A mis padres y hermanos, por su gran ejemplo de superación y valioso apoyo en todo el momento de mi carrera profesional.

Oscar A. Loor F

Todo esfuerzo seria en vano si no reconociese a Aquel que me dio la vida y aun mas regalarme un padre que a pesar de no estar presente, me supo dar todo lo que estaba a su disposición.

Dedicado a la Memoria de mi padre, que aun duerme, esposa e hija.

Samuel E. Robalino G.

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Carlos Valdivieso A

DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Hugo Villavicencio

DELEGADO

# DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

---

Sebastián Abarca

---

Oscar Loor

---

Samuel Robalino



# RESUMEN

El proyecto se basa en Medición y Control de Nivel con aplicación a dsPIC', para el cual vamos a controlar la velocidad de la bomba que lleva el fluido que entra al tanque distribuidor para obtener el nivel deseado, el cual será configurado mediante un teclado.

La medición se realiza mediante un sensor óptico que proporciona una salida analógica para ser procesada a través de la tarjeta controladora.

El usuario tiene la posibilidad de ingresar un valor de nivel de llenado del tanque mediante una interfaz.

El dsPIC realiza la función de cerebro principal del proyecto donde se embebe un algoritmo de control secuencial de control a periféricos como el sensor, teclado, pantalla de cristal líquido, driver.

Para tener una mejor visualización de cómo varia el nivel de tanque se cuenta con un programa de aplicación donde se grafica el nivel deseado con valor actual del nivel del tanque.

# INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
GENERALIDADES .....	3
CAPÍTULO I	
1. Antecedentes	
1.1. Estudio del Problema. ....	4
1.2. Diagrama de bloques. ....	4
1.3. Planta. ....	5
1.4. Controlador Digital de Señal (CDS). ....	5
1.5. Interacción Hombre-Maquina. ....	6
1.6. Interfaces. ....	6
1.7. Equipo Terminal de información. ....	6
1.8. Sensor. ....	7
1.9. Actuador. ....	7
DISEÑO	
CAPÍTULO 2	
2. Componentes del Sistema. ....	8
2.1. Sensor. ....	9
2.2. Fuente de Alimentación. ....	11
2.3. Electroválvula. ....	11
2.4. Bomba. ....	12
2.5. Tuberías. ....	13
2.6. Diseño del Controlador. ....	13
2.7. Módulo PWM. ....	16
2.8. Módulo UART. ....	16
2.9. Módulo ADC. ....	17
2.10. Diseño de Interfase Comunicación Serial. ....	17
2.11. Diseño de Interfase de Usuario. ....	18
2.12. Diseño Tarjeta Distribución de Energía. ....	20
2.13. Diseño Circuito de Potencia. ....	21
2.14. Linealización de la señal de medición de nivel. ....	24
2.15. Programa de control. ....	27
2.16. Ajuste del Control Proporcional. ....	32
2.17. Programación del dsPIC30F4011. ....	33
MONTAJE DEL SISTEMA	
CAPÍTULO 3	
3. Implementación Sistema de Control y Medición de Nivel. ....	34
3.1. Montaje de la planta. ....	34
3.2. Montaje tarjeta de Distribución de Energía. ....	36
3.3. Montaje Interfaz de Potencia. ....	37
3.4. Montaje cable de comunicación serial. ....	38
3.5. Montaje Tarjeta de Interfaz Hombre-Máquina. ....	39

3.6. Montaje de la Tarjeta de Control .....	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	42
ANEXO A .....	44
MANUAL DE USUARIO.....	44
1. INTRODUCCIÓN.....	44
1.1. ANTES DEL ENCENDIDO.....	44
1.2. FUNCIONAMIENTO Y PUESTA EN MARCHA .....	45
1.3. Pasos para el Ingreso del Nivel de Referencia. ....	45
1.4. Visualización del Programa de Aplicación .....	47
ANEXO B.....	49
CODIGO FUENTE .....	49

# ABREVIATURAS

CDS	Controlador Digital de Señal
PSD	Dispositivo de Percepción de Posición (Position Sensing Device)
LED	Diodo Emisor de Luz (Light Emitting Diode)
MAC	Multiplicación y Acumulación (Multiply-Accumulate)
DSP	Procesador Digital de Señal (Digital Signal Processing)
PWM	Modulación de Ancho de Pulso (Pulse Wide Modulated)
UART	Comunicación Universal de Transmisión y Recepción Asincrónica (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)
ADC	Conversión Analógica a Digital (Analog Digital Converter)
RS232	Estándar Recomendado 232 (Recommended Standard 232)
Bit	Unidad binaria
TTL	Lógica transistor-transistor (Transistor-Transistor Logic)
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memo
DC	Ciclo de Trabajo (Duty Cicle)

## INDICE DE FIGURAS

Figura.1.2 Diagrama en Bloque del sistema .....	5
Figura.2.1.Sensor GP2D12.....	9
Figura.2.2-Triangulación de haz emitido .....	10
Figura.2.3-Electroválvula .....	12
Figura.2.4-Bomba de Agua .....	13
Figura.2.5-Circuito Integrado dsPIC30F4011 .....	14
Figura.2.6-Diagrama electrónico la Tarjeta Controladora .....	15
Figura.2.7-Teclado matricial 4x3.....	18
Figura.2.8-Pantalla de Cristal Liquido 2x16 .....	19
Figura.2.9-Diagrama electrónico Interfase Hombre Maquina .....	19
Figura.2.10-Diagrama electrónico Distribución Energía.....	20
Figura.2.11-Amplificador operacional OPA548T.....	21
Figura.2.12-Diagrama electrónico del Driver .....	23
Figura.2.13-Curva de respuesta del sensor GP2D12 no lineal .....	24
Figura.2.14-Curva de respuesta del sensor GP2D12 linealizada .....	25
Figura.2.15-Modulación de Ancho de Pulso de una onda cuadrada.....	30
Figura.2.16-Modelamiento del Control de la Planta. ....	32
Figura.3.1-Planta con el Controlador. ....	35
Figura.3.2-Diseño de Circuito Impreso para Distribución de Energía. ....	36
Figura.3.3-Foto real placa con elemento ensamblada .....	37
Figura.3.4-Diseño de Circuito Impreso para el Driver .....	37
Figura.3.5-Foto real placa con elemento ensamblada .....	38
Figura.3.6-Foto real convertidor USB a Serial .....	38
Figura.3.7-Foto real Interfase Hombre-Máquina.....	39
Figura.3.8-Diseño de Circuito Impreso Interfase Hombre-Máquina. ....	39
Figura.3.9-Foto real Tarjeta Controladora con elementos montados.....	40
Figura.3.10-Diseño de Circuito Impreso Tarjeta Controladora.....	40

# INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde a un proyecto final de la materia de graduación "Microcontroladores avanzados con dsPic". El proyecto consiste en llenar un tanque de agua según el nivel deseado por el usuario y llegar a dicho valor en forma automática mediante un controlador.

El capítulo 1 describe las especificaciones técnicas del sistema a controlar para tener conocimiento sobre como y con que elementos vamos a trabajar para enfrentar el problema planteado,

El capítulo 2 abarca temas relacionados con el diseño de forma modular e integral del Sistema de medición y control de nivel. Se desarrolla un programa de control para cumplir con las especificaciones del proyecto. Así mismo se describe las características más importantes que se utilizara para solucionar el problema planteado. Al finalizar este capítulo se describe el fundamento teórico del control, mediante un software embebido dentro de dsPic y el ajuste de la constante proporcional.

El capítulo 3 detalla la implementación de los diferentes diseños, consideraciones para el diseño y confección de las tarjetas así como interconectar cada módulo para su funcionamiento integral.

Al final se dan dos anexos, uno para la correcta operación y puesta en marcha del sistema y en el otro anexo se describe detalladamente el programa de control que se embebe previamente compilado al dspic para la tarjeta de control, medición y comunicación del sistema.

# GENERALIDADES

## CAPÍTULO I

### **1. Antecedentes.**

El desarrollo cada día más acelerado de la electrónica nos brinda nuevos sistemas de Medición y Control de Nivel, más sofisticados y a menor costo.

En la actualidad existen una gran variedad de mecanismos y dispositivos utilizados como sensores de nivel con salida analógica o digital, junto con controladores dedicados a tareas específicas.

Todo sistema sea estos eléctricos o mecánico necesitan ser controlados para obtener una respuesta deseada según la necesidad.



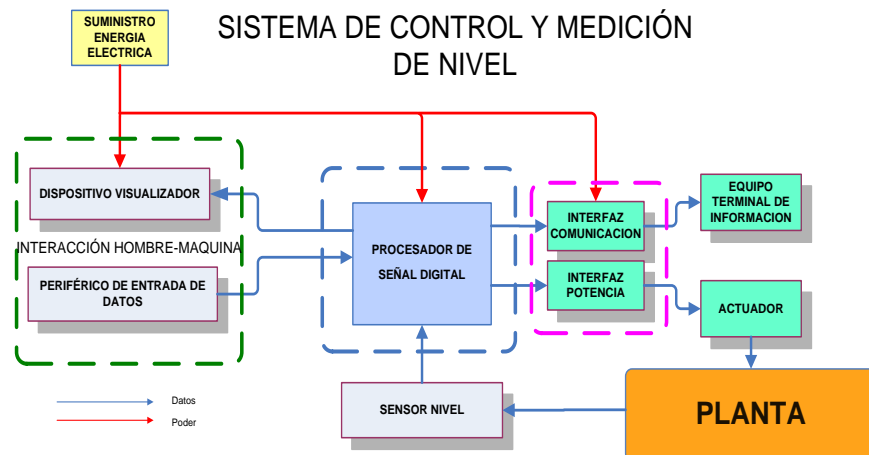
## **1.1. Estudio del Problema.**

Este informe describe como realizar el control de nivel de un tanque usando un Controlador Digital de Señal (CDS), no sin antes estudiar las características más relevantes sobre las técnicas de control y los componentes utilizados para resolver dicho problema.

La técnica a utilizar es sacar el mayor provecho a la prestaciones que ofrece el procesador de señal digital moderno frente al problema de control, es decir que con una programación embebida en su memoria sea capaz de medir y controlar el nivel del tanque de forma autónoma.

## **1.2. Diagrama de bloques.**

En el diagrama de bloque de la figura 1.1 se muestran las partes que conforman el proyecto donde la parte principal es el CDS el cual se encarga de las funciones de control del sistema. Además se observa la comunicación con un equipo Terminal y una interfase para la interacción con el usuario.



**Figura.1.2** Diagrama en Bloque del sistema

### 1.3. Planta.

La planta consta básicamente de dos contenedores de líquido a diferentes alturas: un recipiente donde se almacena el líquido denominado reservorio y tanque de suministro el cual se llena mediante tuberías que componen un sistema hidráulico de bombeo.

### 1.4. Controlador Digital de Señal (CDS).

Es el encargado de controlar los periféricos y procesar la medida del parámetro de interés de la planta para obtener una respuesta de control deseada.

En su interior deberá contener diversos módulos que le permitan la interacción y control con los diferentes componentes del sistema.

El CDS es donde se aloja las instrucciones de control que resuelve el problema planteado.

### **1.5. Interacción Hombre-Maquina.**

Es el medio por el cual se le permite al usuario ingresar parámetros de control y a su vez visualizar diferentes estados de interés.

Los datos ingresados son captados por el CDS para su posterior procesamiento en el programa de control.

### **1.6. Interfaces.**

Las interfaces permiten el acoplamiento de las señales de control o de comunicación entre el Equipo Terminal de Información y los actuadores respectivamente con el CDS.

### **1.7. Equipo Terminal de información.**

Es aquel donde se podrá recibir y almacenar la información del sistema con sus parámetros de interés para el usuario.

La información recibida será almacenada y podrá ser utilizada para estudiar el comportamiento del sistema.

Además contará con un programa de aplicación gráfica para visualizar los diferentes parámetros del sistema en el tiempo que envía el CDS por el puerto de comunicación.

### **1.8. Sensor.**

El sensor es aquel que detecta las variaciones de una dimensión física y las convierte en señales útiles del tipo analógica o digital para un sistema de medida y/o control.

Este dispositivo nos permite obtener el nivel del tanque de la planta para el procesamiento en el CDS.

### **1.9. Actuador**

Estos nos permite modificar el estado de la planta es decir trasladar el líquido desde el tanque reservorio al tanque de distribución o viceversa según las acciones que tome el CDS según los parámetros ingresados desde la interfase de usuario.

# DISEÑO

## CAPÍTULO 2

### **2. Componentes del Sistema.**

De acuerdo a las especificaciones del problema se desarrolla el diseño que permite la medición y control de nivel de la planta.

El sistema de medición y control de nivel consta de los siguientes componentes:

- Tanque reservorio.
- Tanque de suministro.
- Sensor infrarrojo GP2D12.
- Bomba DC de 12 V DC de activación.

- Fuente de voltaje.
- Soportes Metálicos.
- Tuberías, uniones, amarres plásticos y accesorios.
- Electroválvula.
- Flotador.

A continuación se describe las características principales de los elementos que permiten la medición y control de nivel con aplicación de dsPIC's.

## 2.1. Sensor.

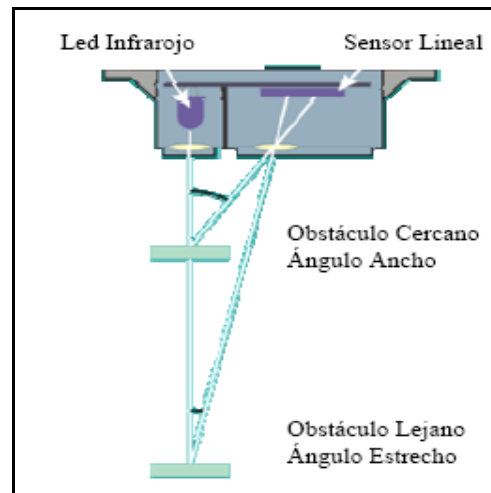
El sensor utilizado para la medición de nivel es el sensor infrarrojo GP2D12 del fabricante Sharp Corporation que se muestra en la figura 2.1



**Figura.2.1.**Sensor GP2D12

Su principio de funcionamiento se basa en la triangulación entre un diodo emisor de luz infrarroja (LED) que emite un haz que rebota sobre una superficie reflectiva que en nuestro caso es un flotador ubicada en el interior del tanque y posteriormente el haz reflejado

es recogido por el elemento detector de luz para realizar los cálculos de medición, esto se muestra en la figura 2.2.



**Figura.2.2-**Triangulación de haz emitido

Este último se conoce como Dispositivo de Percepción de Posición (PSD) y puede entenderse como una lente situada sobre un arreglo de células sensibles a la luz infrarroja. Dependiendo del ángulo de incidencia del haz rebotado en la lente, se activa una u otra célula del arreglo lo que permite estimar la distancia a la que se encuentra el flotador y por ende el nivel del tanque para luego de su procesamiento interno entregar una salida analógica al CDS.

El rango de medida efectiva se encuentra entre 10 a 80cm. Si se realiza mediciones por debajo de 10cm, el sensor no

entregará una medida real. Para ello nuestro sensor esta ubicado a 10cm de distancia con el nivel máximo de tanque.

## **2.2. Fuente de Alimentación.**

El Suministro de poder se toma de una red 120V 3Amp que luego es transformada de nivel y rectificada para obtener voltajes de 5.5V, 9V y 12V para alimentar las tarjetas electrónicas, la bomba y la electroválvula

## **2.3. Electroválvula.**

La Electroválvula es un dispositivo electromecánico para regular el paso de un fluido mediante la excitación de una bobina de 12V continuo a 450mA.

La interacción entre la electroválvula y el procesador de señal digital se realiza mediante un circuito de potencia para abastece con la corriente requerida.

La electroválvula es de una vía y dos posiciones normalmente cerrada que permite la circulación del líquido alojado en el tanque hacia el reservorio. Posee entrada y salida de 3/8" de diámetro.





**Figura.2.3-**Electroválvula

## **2.4. Bomba.**

La bomba es el elemento encargado de transformar la energía eléctrica en energía hidráulica que permite imprimir una presión al líquido para trasladarlo desde el depósito hacia el tanque mediante tuberías flexibles de 5mm de diámetro.

La presión alcanzada depende de la velocidad a la que gira y es regulada por el nivel de voltaje que entrega el circuito de potencia para ser acoplada al CDS.



**Figura.2.4-**Bomba de Agua

## **2.5. Tuberías.**

Las tuberías son conductos de tubos acoplados para llevar líquidos. En la planta de aplicación la entrada de agua hacia la bomba es mediante una tubería de 5/8 de pulgada para luego interconectar con una tubería plástica de 5mm a la salida de dicha bomba.

Los accesorios como neoprenos, conectores permiten interconectar las tuberías con otros elementos con sus adecuadas medidas.

## **2.6. Diseño del Controlador.**

La característica más importante del proyecto es la utilización del circuito integrado dsPIC30F4011 del fabricante Microchip Technology Inc.

El dsPIC30F4011 es un controlador digital de señal que está basado en las características más potentes de los

microcontroladores de 16bits y que incorpora las principales prestaciones de los Procesadores digitales de Señal (DSP), como se muestra en la figura 2.5



**Figura.2.5-**Circuito Integrado dsPIC30F4011

El CDS que tiene la capacidad de realizar operaciones de multiplicación y acumulación (MACs) en sólo un ciclo de reloj.

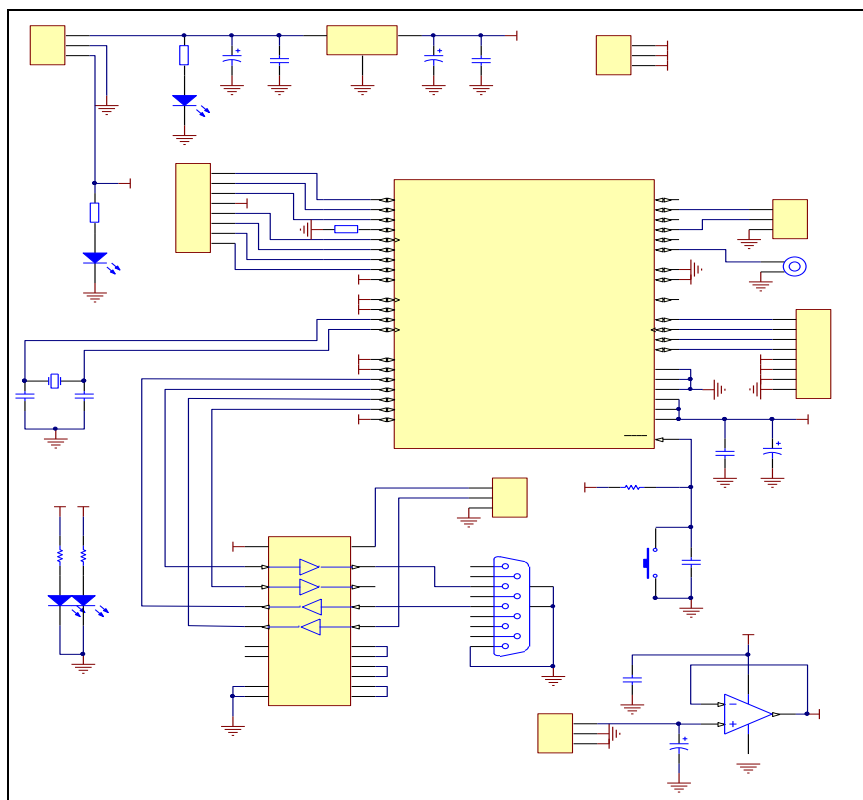
En el CDS se embebe un programa de control que realiza la adquisición de datos para el procesamiento, control y transmisión de datos entre los diferentes componentes del sistema.

Entre las tareas que realiza el dsPIC30F4011 para el sistema son:

1. Controlar la velocidad de la bomba y el cierre y apertura de la electroválvula mediante su módulo interno de Modulación de Ancho de Pulso (PWM).

2. Establece una comunicación serial de datos por medio del módulo de Comunicación Universal de Transmisión y Recepción Asincrónica (UART).
3. Adquirir los datos de nivel de tanque mediante el módulo de Conversión Analógica a Digital (ADC).
4. Controla la interfase con el usuario para permitir el ingreso y visualización de datos.

Como se puede apreciar en la figura 2.6 se utiliza un cristal de 20Mz para la generación de la señal de reloj para el dsPic30F4011.



**Figura.2.6-**Diagrama electrónico la Tarjeta Controladora

## 2.7. Módulo PWM.

Dentro de las características del CDS se encuentra el módulo PWM que nos permite generar una modulación de ancho de pulso. A pesar de que tiene seis canales de salida, sólo utilizamos dos de ellas, una para la bomba y otra para la electroválvula.

Se utiliza salida independiente ya que sólo se trabaja con una bomba de alimentación con corriente directa.

## 2.8. Módulo UART.

El módulo UART es un periférico universal de transmisión y recepción asincrónica de comunicación de datos que se encarga de generar una transmisión de tipo serial que luego de pasar por la interfaz de comunicación serial lo convierte según el estándar RS2321 para ser utilizada en el Equipo Terminal de Datos.

La configuración de parámetros que incluyen este módulo son:

1. Comunicación de 8 o 9 bits de datos.
2. Configuración de paridad.
3. Uno o dos bits de parada, etc.

---

<sup>1</sup> Estándar de Comunicación serial entre Equipo terminal de datos y Equipos de Comunicación de Datos

## **2.9. Módulo ADC.**

La característica analógica del CDS es que posee un convertidor analógico a digital de 10 bits de resolución de nueve canales según la selección de usuario que permite la conversión de entrada de señal analógica.

El módulo será utilizado para convertir la señal de nivel del tanque que el sensor GP2D12 entrega.

## **2.10. Diseño de Interfase Comunicación Serial.**

Para la interfase de comunicación serial utilizamos el integrado SP-233AEP de SIPEX (ahora parte de EXAR Corporation) que convierte las señales digitales con Lógica transistor-transistor (TTL) generadas del microcontrolador en niveles según el estándar RS-232.

Cabe notar que este tipo de integrado tiene la ventaja de no utilizar ningún componente adicional como son los capacitores de 0.1uF que sirven como bombas de carga para la elevación del nivel de voltaje dentro del mismo circuito, para generar +/-10V con una alimentación de 5V dc.

## 2.11. Diseño de Interfase de Usuario

Para interactuar con el sistema, nuestro proyecto tiene una tarjeta de interfase Hombre-Maquina, mediante la cual el operador o usuario puede ajustar el nivel de referencia y visualizar el mismo.

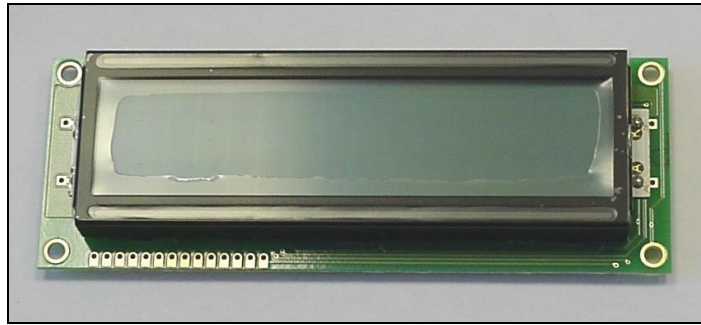
La interfase de usuario se realiza mediante la utilización de un teclado matricial 4x3 y una Pantalla de Cristal Líquido 2x16 los cuales son usados para ajustar el valor de referencia.

El ingreso de nivel de referencia esta limitado a valores entre 0 y 100 que representa el porcentaje de llenado que se desea del tanque.



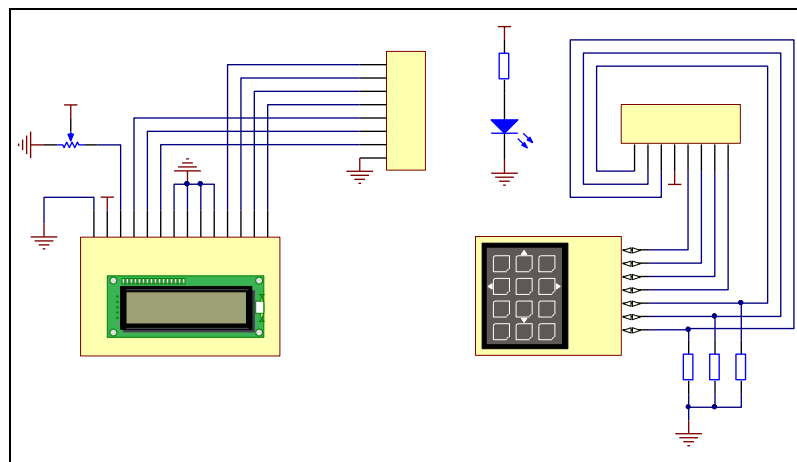
**Figura.2.7-**Teclado matricial 4x3

Dicho teclado 4x3 (figura 2.7) esta interconectado directamente al puerto B del dsPIC30F4011.



**Figura.2.8-**Pantalla de Cristal Liquido 2x16

En la pantalla de Cristal Liquido (Figura 2.8) se puede visualizar los valores de nivel y nivel de referencia.



**Figura.2.9-**Diagrama electrónico Interfase Hombre Maquina

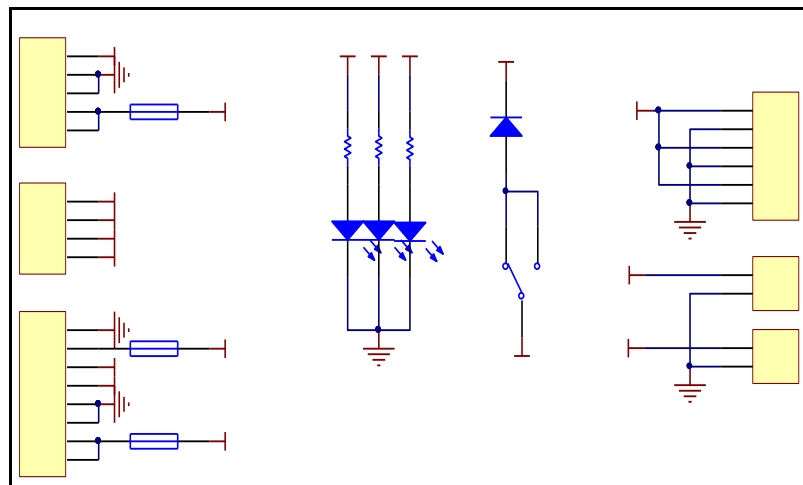
Los datos ingresados mediante teclado son procesados y almacenados en la memoria EEPROM del dspic, esto nos permite que en caso de falla de energía poder recuperar el último valor de



nivel de referencia ingresado desde dicha memoria, el circuito se muestra en la figura 2.9.

## 2.12. Diseño Tarjeta Distribución de Energía.

En la tarjeta de distribución de energía se conecta los voltajes de corriente continua de 5V y 12V desde la fuente de alimentación para su protección y distribución entre las tarjetas electrónicas y los actuadores (bomba y electroválvula), como se presenta en la figura 2.10.

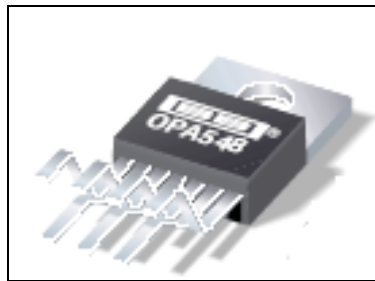


**Figura.2.10**-Diagrama electrónico Distribución Energía

En la tarjeta de distribución de energía se coloca fusibles de protección de 3A y 1A en serie con la salida de voltaje de 12V y de 5V respectivamente.

### 2.13. Diseño Circuito de Potencia

Para suplir con la corriente y voltaje necesario para la electroválvula y bomba, es necesaria la utilización de una circuitería con semiconductores de potencia denominado driver que para nuestro caso se compone de un amplificador operacional OPA548T de Texas Instruments mostrado en la figura 2.11.



**Figura.2.11**-Amplificador operacional OPA548T

La necesidad de utilizar un driver es debido a que las señales de control proporcionadas por el dspic son de baja potencia, es decir máximo 20mA de salida que puede entregar, para la utilización de alimentación de bomba y electroválvula que demandan 2,5 y 0.45A respectivamente a 12V dc. Por lo tanto el driver traduce los niveles TTL de 0 a 5V del dspic a niveles de 0 a 12V dc con la corriente necesaria para alimentar la electroválvula y bomba.

El OPA548T es un amplificador de alta corriente y alto voltaje ideal para manejar este tipo de carga ya que a su salida tiene una

configuración clase B con una corriente máxima de 3A de aplicación continua o 5A pico.

La señal de control se conecta a la entrada no inversora del OPA548T y la señal de retroalimentación a la entrada inversora. En la salida tendremos según la ecuación 2.1:

$$V_o = V_i \left( \frac{R_4 + R_6}{R_6} \right) \quad 2.1$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_4}{R_6} \quad 2.2$$

La ganancia es determinada según la ecuación 2.2, la relación entre resistencia  $\frac{R_4}{R_6}$  que para nuestro caso resulta una ganancia de 11 , permite que el amplificador operacional acepte entradas con el mínimo valor 2.5V de la señal en estado alto del dspic trabajando de esta forma el amplificador operacional en zona de saturación.

$$V_{sat} = V_{cc} - 2V \quad 2.3$$

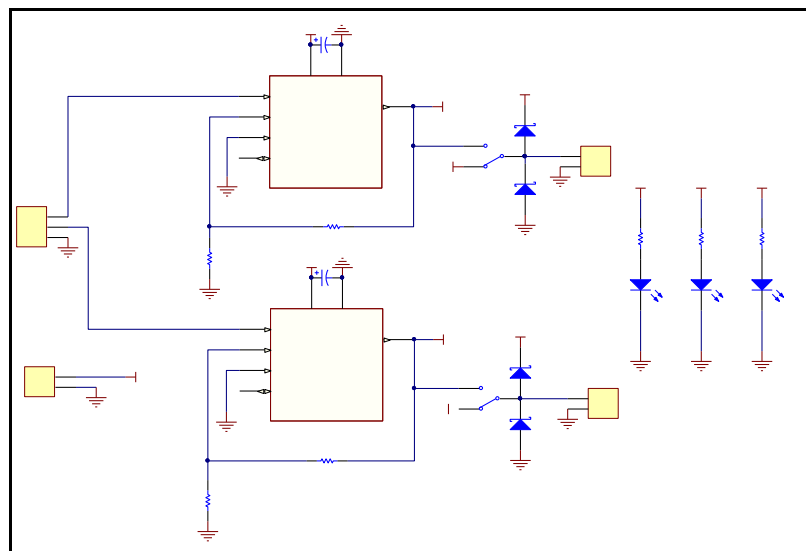
$$V_{sat} = 10V$$

Los valores dados a la resistencia para cada driver son de 1KΩ para R6 y 10KΩ para R4.

A la salida del amplificador se conecta un diodo Schottky STTH102 de ST Microelectronics que sirve como un diodo de paso libre para crear una trayectoria por donde circula la corriente almacenada en la bobina de motor de la bomba.

Se utiliza un disipador de calor para evitar un excesivo calentamiento del OPA548T a fin de que no dañe debido a la exigencia de corriente demandada por la bomba y la electroválvula.

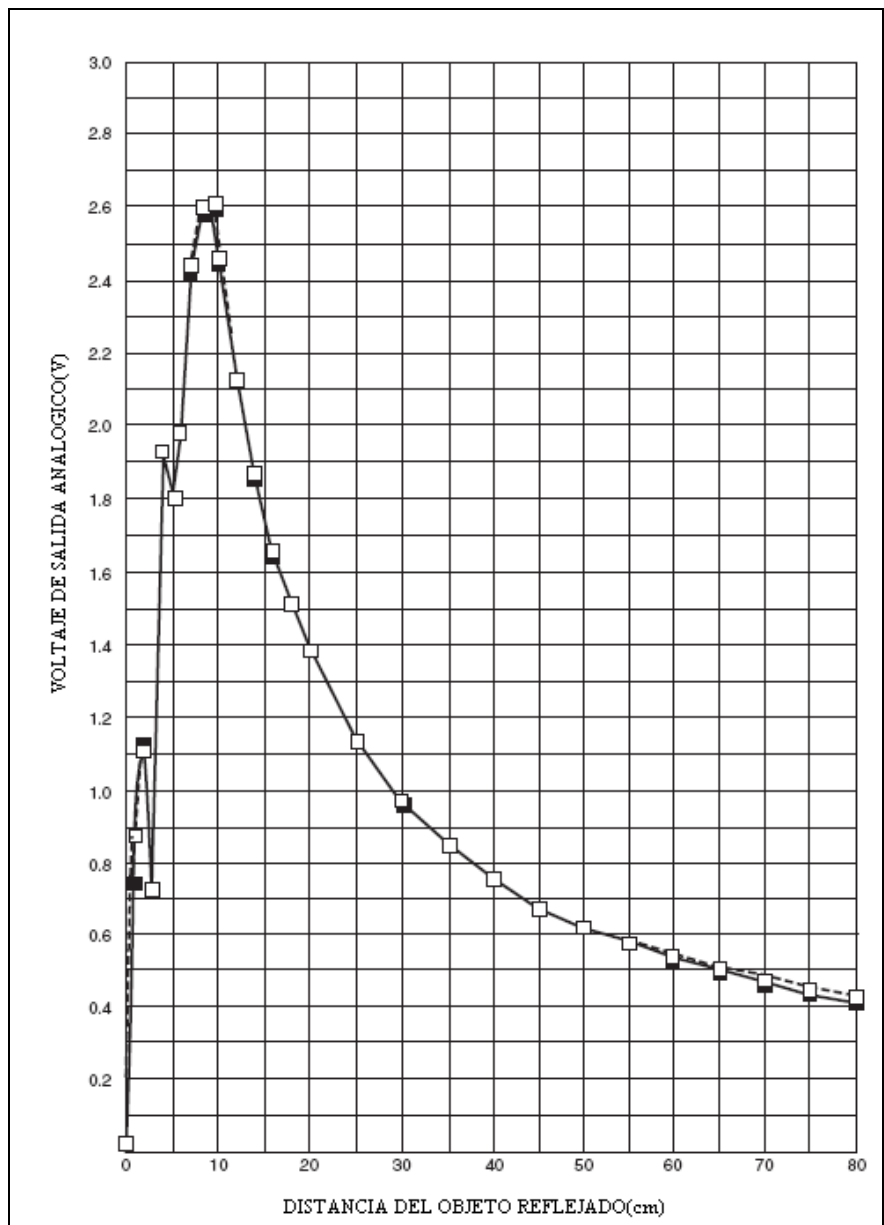
Además tiene leds indicadores de energía, encendido de bomba y encendido de electroválvula.



**Figura.2.12-**Diagrama electrónico del Driver

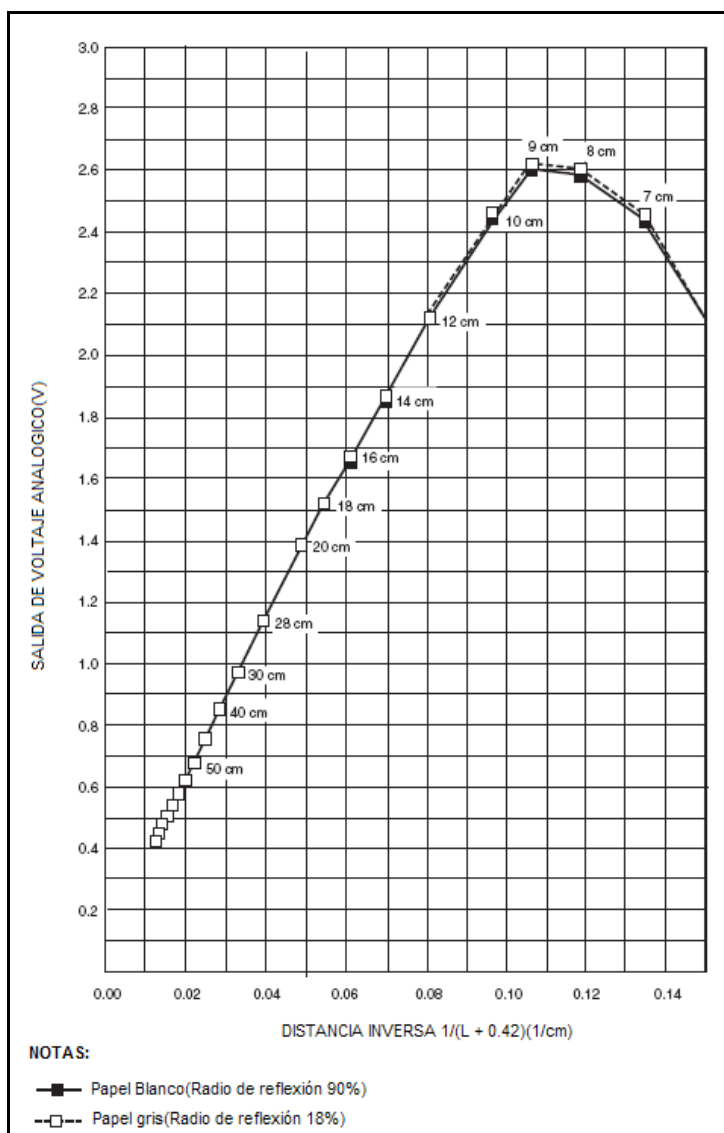
## 2.14. Linealización de la señal de medición de nivel

La señal de nivel que entrega el sensor es de tipo analógica con valores entre 1.25 a 2.75 para una medición entre 10 a 80 cm. según la curva mostrada en la figura 2.13.



**Figura.2.13**-Curva de respuesta del sensor GP2D12 no lineal

Como se puede apreciar en la figura anterior, la curva presenta una no linealidad que dificulta el cálculo, para lo cual se aprovecha la siguiente curva de la figura 2.14 dada por el fabricante:



**Figura.2.14**-Curva de respuesta del sensor GP2D12 linealizada

En la figura 2.14 observamos una curva con aproximación lineal en el tramo de 0.8 a 2.6V.

Según se observa en el eje de las abscisas es el inverso de la distancia medida a cierto objeto reflejante según la ecuación 2.4:

$$\frac{1}{L+0.42} \left( \frac{1}{cm} \right) \quad 2.4$$

Donde L es la distancia medida desde el Led infrarrojo hasta el flotador.

Por lo tanto se toma dos mediciones a diferentes alturas como puntos de referencia para obtener la pendiente según la ecuación lineal de una recta, dada por la ecuación 2.5

$$Y = m * X + b \quad 2.5$$

Donde Y es voltaje de salida del sensor, X es el inverso de la distancia medida en centímetros y b una constante se tiene el siguiente tabla 2.1:

<b>Voltaje salida(V)</b>	<b>Distancia L(cm)</b>	<b>Distancia Inversa X(1/cm)</b>
2.517	9.88	0.09708
<b>2.04</b>	12.88	0.07518

**Tabla.2.1**-Valores medidos del sensor

Con los valores presentados en la tabla 2.1 se procede a calcular la pendiente con la ecuación 2.6:

$$m = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad 2.6$$

$$m = \frac{2.04 - 2.517}{0.007518 - 0.009708}$$

$$m = 21.7814$$

La constante b se la determina al despejar la ecuación 2.5 de la recta y utilizando un punto de medición voltaje-distancia inversa

$$b = Y - m * X$$

$$b = 2.04 - (21.78 * 0.075)$$

$$b = 0.4023$$

Por lo tanto la ecuación de la curva:

$$Y = 21.78 * X + 0.402 \quad 2.7$$

La cual será procesada por software para la respectiva lectura de nivel a través del módulo de conversión analógico del dsPIC.

## 2.15. Programa de control

El propósito es describir cómo el dsPIC 30F4011 es usado para implementar un lazo de control Proporcional en el Sistema de Control y medición de nivel.



El Sistema de Control y medición de nivel consta de 3 partes fundamentales: Controlador, Driver, Interfase, Medición descritos anteriormente.

La estrategia para diseñar el programa de control está basada en técnicas de control automático, el control proporcional.

Se utiliza el módulo convertidor analógico a digital (A/D) para tomar la señal de salida del sensor y linealizarla conforme a la ecuación 2.7.

Para ello se configura el registro ADPCFG con lo cual el pin 10 del puerto RB8 es entrada analógica y los pines restantes del puerto B son salidas/ entradas digitales el teclado.

Mediante el teclado se ingresa el valor de nivel de referencia deseado para restar con el valor de nivel del tanque obteniendo de esta manera el error del sistema.

$$\text{Error} = \text{Valor de referencia} - \text{Valor de nivel del tanque} \quad 2.8$$

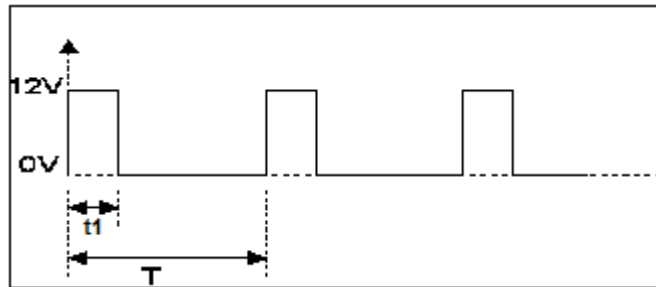
Si se ingresa un valor fuera del rango 0 a100, será descartado y le pedirá que ingrese una vez mas el valor hasta que se digite un valor valido el cual será escrito en la memoria de datos EEPROM permitiendo de este modo leerlo posteriormente.

Ya que la respuesta deseada del sistema es el valor de referencia, cualquier valor de nivel del tanque diferente al valor deseado produce un error que es corregido mediante la manipulación automática de la bomba o electroválvula a fin de que el error tienda a cero.

En este sistema el signo del error determinara cual de los 2 elementos actuadores encenderá es decir si el error es positivo actuará la bomba mediante la utilización del módulo PWM o la electroválvula si el error es negativo, según la ecuación 2.8.

Por medio del módulo PWM se controla la variación de voltaje de la bomba y como consecuencia se controla la velocidad de rotación, es decir que la tensión aplicada al motor de la bomba será de 0 V o 12 V DC de manera periódica.

En la figura 2.15 podemos observar la generación de anchos de pulsos que recibe la bomba previamente pasando por el driver.



**Figura.2.15-**Modulación de Ancho de Pulso de una onda cuadrada

El valor promedio de voltaje que la bomba recibe se determina mediante la variación del ciclo de trabajo según la ecuación 2.9:

$$V_{rms} = DC * V_{max} \quad 2.9$$

Donde DC es el ciclo de trabajo y está dado por la ecuación 2.10:

$$DC = (t1/T) * 100\% \quad 2.10$$

T es el período de la señal generada por el PWM y t1; es el tiempo de duración del ancho de pulso en nivel alto.

Con un valor de DC = 0 la bomba está apagada, con DC = 100% la bomba recibe un voltaje neto de 12V.

El valor DC varía según la utilización de una constante proporcional K por el error del sistema según la ecuación 2.11.

$$DC = K * \text{error} \quad 2.11$$

En base a experimentación se determinó que para el tipo de bomba utilizada el valor mínimo de ciclo de trabajo es de 23% para que pueda arrancar.

El valor de nivel del tanque y el valor de referencia son enviados a una computadora por su puerto serial mediante la utilización del Módulo UART, con una configuración de 9600kps, 8 bits de datos, sin paridad y con un bit de parada.

En caso de que digite un valor de 0 que representa el nivel mínimo del tanque o 100 que representa el valor máximo de porcentaje del tanque mediante teclado el controlador enviará una señal para activar un buzzer para alertar al usuario de tener dichos valores críticos que tiendan a que el tanque se quede sin agua o se rebose.

El lazo de control para el sistema desarrollado puede ser bosquejado según el siguiente diagrama en bloque

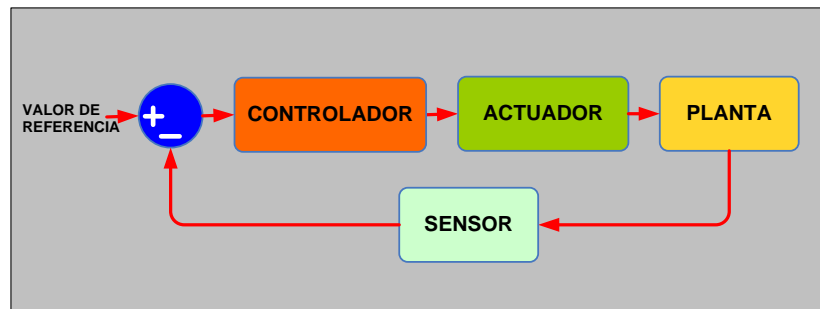


Figura.2.16-Modelamiento del Control de la Planta.

## 2.16. Ajuste del Control Proporcional

Se utiliza los siguientes pasos para determinar el valor de la constante proporcional  $K$

1. Encerar el valor de  $K$
2. Alimentar el Sistema
3. Mantener aplastado el botón de reinicio, llenar el tanque a la mitad y energizamos la electroválvula.
4. Incrementamos la constante proporcional.
5. Repetir los pasos 3 al 4 hasta que haya una pequeña oscilación en el nivel de llenado.

## **2.17. Programación del dsPIC30F4011.**

La programación del dsPIC30F4011 fue desarrollada con Mikrobasic V5.0 para dsPIC 30/33 de MikroElektronika.

La compilación de dicho programa genera un archivo hexadecimal que luego será enviada al dsPIC30F4011, haciéndose uso del programador MPLAB PM3 de Microchip.

El programa de control puede ser revisado en el anexo B

# **MONTAJE DEL SISTEMA**

## **CAPÍTULO 3**

### **3. Implementación Sistema de Control y Medición de Nivel.**

Una vez realizado los diseños para cada uno de los bloques que constituye el sistema se procede a montar la planta ensamblar las tarjetas electrónicas con sus respectivas interconexiones

#### **3.1. Montaje de la planta**

La planta es montada sobre una tabla de manera que sea fácil su posterior manipulación. Se utiliza un soporte metálico de una longitud de 75cm fijado a la base de la tabla; en la parte superior

se monta el sensor infrarrojo encima del tanque distribuidor que es fijado a una base metálica a una altura de 50cm del mismo.

En la base de la tabla se encuentra el tanque reservorio y se conecta en la parte lateral la entrada de agua para la succión de la bomba.

Finalmente se fija en la parte inferior del tanque distribuidor una electroválvula la que simulara la perturbación en el sistema como se muestra en la figura 3.1.



**Figura.3.1**-Planta con el Controlador.





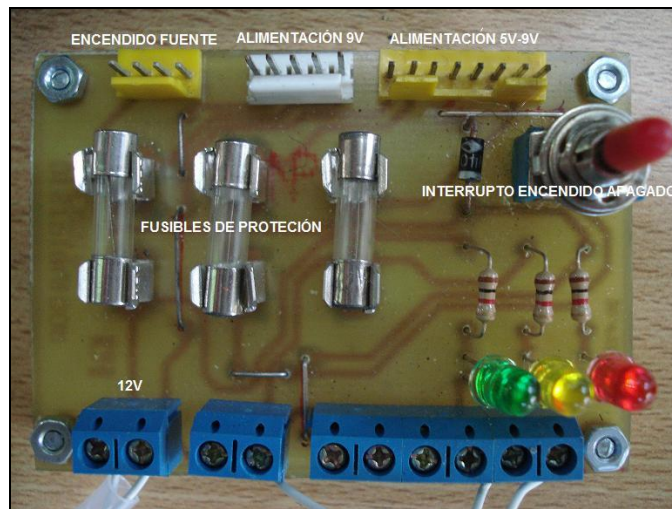


Figura.3.3-Foto real placa con elemento ensamblada

### 3.3. Montaje Interfaz de Potencia.

Para la alimentación de la bomba y la electroválvula se cuenta con la tarjeta de interfaz de potencia la misma que es fijada a la tabla en la parte superior izquierda delante de la fuente. El diseño del circuito impreso es presentado en la figura 3.4 y la foto real de la misma en la figura 3.5.

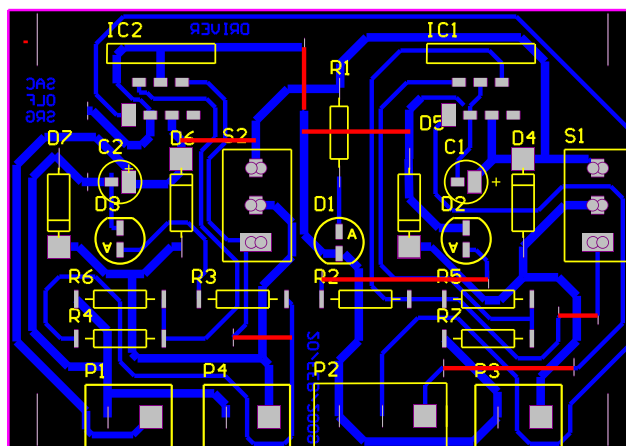


Figura.3.4-Diseño de Circuito Impreso para el Driver

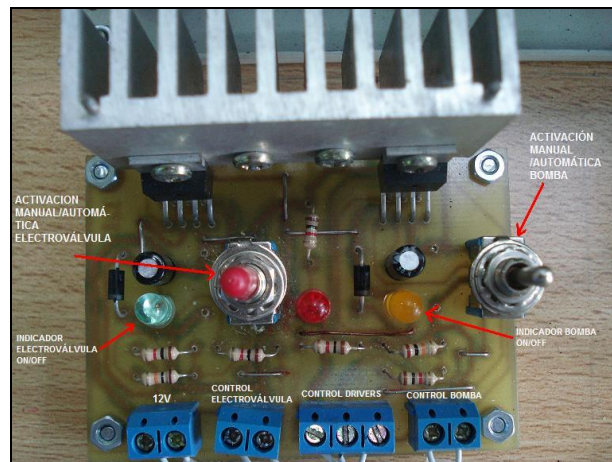


Figura.3.5-Foto real placa con elemento ensamblada

### 3.4. Montaje cable de comunicación serial

Para la visualización de datos en tiempo real e histórico nuestro sistema cuenta con una comunicación serial la que permite observar el estado del sistema mediante una pantalla gráfica desarrollada bajo el entorno de Visual Basic 2005.

La comunicación con la PC se la realiza mediante el cable USB-SERIAL mostrado en la figura 3.6.



Figura.3.6-Foto real convertidor USB a Serial

### 3.5. Montaje Tarjeta de Interfaz Hombre-Máquina.

Es la tarjeta donde el operario dispondrá de un teclado matricial donde se digitará el nivel de referencia deseado al cual se llenará el tanque, y tendrá una pantalla de cristal líquido donde visualizará, en porcentajes, el nivel del actual del tanque y el nivel digitado por el operario.

La tarjeta ensamblada con el diseño de su circuito impreso se muestra en las figura 3.5 y 3.6 respectivamente.



Figura.3.7-Foto real Interfase Hombre-Máquina.

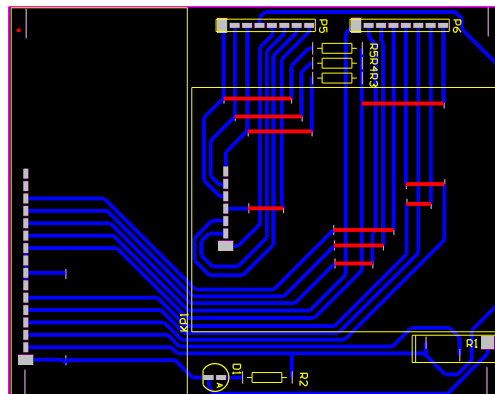


Figura.3.8-Diseño de Circuito Impreso Interfase Hombre-Máquina.



En la tabla 3.1 se muestra la distribución de pines del dsPIC donde se especifica los periféricos a conectar.

**Tabla 3.1.** Tabla Distribución de pines de los periféricos del dspic30f4011

PIN	PUERTO	PERIFERICO
2	RB0	Teclado Matricial
3	RB1	
4	RB2	
5	RB3	
6	RB4	
7	RB5	
8	RB6	
9	RB7	
10	RB8	Sensor de Nivel
30	RF0	Pantalla de Cristal Liquido
29	RF1	
24	RF6	
23	RD0	
18	RD1	
22	RD2	
19	RD3	
37	RE1	PWM 1H Driver Bomba
35	RE3	PWM 2H Driver Electroválvula
25	RF3	Interfase Serial MAX233
26	RF2	
27	RF5	
28	RF4	
15	RC13	LED Indicador
16	RC14	
33	RE5	BOCINA

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los dsPIC's a diferencia de los microcontroladores comunes cuentan con un juego de instrucciones muy potente, incluye multiplicadores por hardware que lo hace mas rápida al realizar los cálculos y una arquitectura de memoria de acceso múltiple que permite leer varios datos a la vez con todo esto útil el dsPIC30F4011 para el tipo de aplicación de medición y control de nivel debido que al linealizar la curva se utiliza mucho las instrucciones de multiplicación y acumulación (MAC) y además se interactúa con diversos módulos (ADC, UART, MC PWM) lo cual lo hace versátil frente a microcontroladores comunes.

Usando el Controlador de Señal Digital dsPIC30F4011 con sus módulos ADC, PWM, UART nosotros somos capaces de demostrar como implementar un controlador proporcional para el Sistema de Medición y Control de Nivel para que de forma automática se llegue al nivel deseado.

La clave de implementar este control es tener una comprensión básica del sistema físico e identificar la constante proporcional para la estabilización del sistema mediante forma experimental ya que es muy complicado modelar nuestro sistema matemáticamente mediante ecuaciones que represente a dicha planta.

Es de resaltar que en el desarrollo de las pistas de la tarjeta se debe tener en cuenta disposición de los elementos y grosor de las pistas para un correcto diseño.

Si utiliza un cable de comunicación serial asegúrese de instalar los controladores en su computadora y verificar el número de puerto para configurar el programa de aplicación.

En caso de no apreciar los valores en la pantalla de cristal líquido, ajuste el potenciómetro ubicado en la tarjeta Interfaz Hombre-Máquina.



# **ANEXO A**

## **MANUAL DE USUARIO**

### **1. INTRODUCCIÓN**

La operación y puesta en marcha del sistema serán descritos a continuación para una correcta utilización a fin de evitar un mal funcionamiento que pueda afectar al control del sistema.

#### **1.1. ANTES DEL ENCENDIDO**

Antes del encendido verificar que el tanque reservorio tenga un porcentaje de agua adecuado para el funcionamiento de la bomba.

Además se deberá verificar que no existan fugas en tuberías y los acoples entre electroválvula, bomba y del tanque de suministro.

Asegurarse que el flotador este en su correcta posición es decir que este alineado al lente del sensor.

Verificar la correcta alimentación de la fuente y revisar las polaridades y nivel de tensión.

Luego de alimentar la fuente se procederá a mover el interruptor del suministro de energía y verificar que los 3 leds en cada tarjeta de distribución estén encendidos.

## **1.2. FUNCIONAMIENTO Y PUESTA EN MARCHA**

El sistema puede operar en forma manual, automática o sin ninguna acción dependiendo de la posición del interruptor de tres estados localizado en la tarjeta del driver como se muestra en la figura 3.5.

La tarjeta cuenta con leds indicadores de funcionamiento (bomba, electroválvula y alimentación).

## **1.3. Pasos para el Ingreso del Nivel de Referencia.**

Para ingresar el valor de referencia de nivel se procede de la siguiente manera:

1. Al encender el sistema por primera vez le aparecerá el valor del nivel de referencia al 50% y la lectura del nivel del tanque.
2. Presione la tecla “#” para ingresar el nivel de referencia deseado, manténgala presionada como mínimo 2 segundos
3. En la pantalla de la LCD aparecerá mensaje: **“INGRESE VALOR”**
4. Ingrese un valor entre el 0% y 100%
5. En caso de digitar un número mayor al establecido en paso 4, aparecerá el mensaje: **“ERROR”**. El sistema automáticamente desecha el valor y nuevamente podrá ingresar el valor dentro del rango establecido.
6. En caso de digitar un número por error, usted tendrá la opción de borrarlo con la tecla “#” y así volver a ingresar nuevamente el valor correcto. Al borrar el valor equivocado se mostrará: **“BORRADO”**
7. Ya habiendo ingresado el correcto valor, será validado al presionar la tecla “\*”.
8. Luego se visualizará en la pantalla de crista líquido; el valor del nivel en la primera fila, y en la segunda fila se mostrará el valor ingresado.

9. Si se pretende cambiar el nivel de referencia, se procederá desde el paso 2.

Luego de esto el sistema funciona de manera automática y controlada mediante el dsPIC.

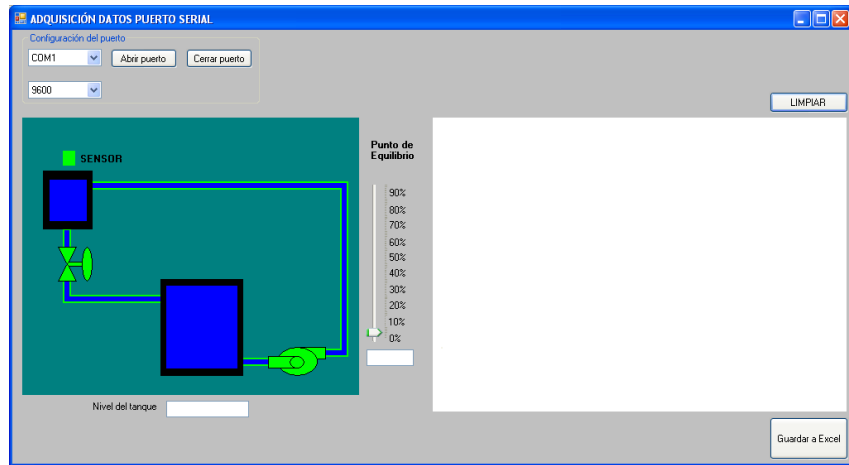
#### **1.4. Visualización del Programa de Aplicación**

Para poder observar los valores del nivel deseado y el nivel del tanque ejecute el programa de aplicación de Visual Basic en su Equipo Terminal de Información (Computador) y realice lo siguientes pasos:

1. Configure la velocidad de transmisión a 9600bps
2. Seleccione el puerto de comunicación serial por donde quiere adquirir los datos que provienen de la tarjeta controladora
3. De clic en el botón “abrir puerto”

Luego de haber realizado los pasos anteriores, se podrá observar en la parte derecha de la pantalla una gráfica bidimensional del valor de referencia y nivel del tanque en el tiempo.

Los datos ingresados pueden ser almacenados en una tabla de Excel dando clic al botón “Guardar a Excel”



# ANEXO B

## CODIGO FUENTE

```
1: program PWM
2: dim duty_50,tecla      as word
3:     i,adcRes,distancia as float
4:     txt                 as string[10]
5:     OutTxt              as byte[5]
6:     kp,set_point,cnt   as byte
7:     txt1,txt2          as string[6]
8:     error_act,T,k      as float
9:     nivel,offset       as byte
10:
11: main:
12:     TRISE = 0
13:     TRISB.8 = 1 ' set pin as input - needed for ADC to work
14:     ADPCFG = $FEFF ' declaración entrada analógica
15:     Lcd_Init(PORTD, 3,2,1,0, PORTF, 0,1,6)
16:     Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)
17:     Lcd_Cmd(LCD_CURSOR_OFF)
18:     Lcd_Out(1,1,"Nivel")
19:     Lcd_Out(1,13,"%")
20:     Lcd_Out(2,1,"Nivel Ref")
```

```

20: Lcd_Out(2,1,"Nivel Ref")
21: Lcd_Out(2,13,"%")
22: Uart1_Init(9600)
23: '
24: cnt = 0
'inicializacion contador
25: kp = 0
26: Keypad_Init(PORTB)           'inicializacion teclada
27: offset=13
28:
29: while TRUE
30:     lazo:
31:         ADCON3 = $0206
32:         adcRes = Adc_Read(8) ' entrada analogica del sensor
33:         adcRes = (adcRes * (5.0/1024.)) ' fondo de escala a 5V
34:         distancia = 21.78141/(adcRes-0.4023) 'distancia en centimetros
35:         distancia = (20.8 - distancia) * 12.5 'distancia en porcentaje
36:         distancia=distancia-offset
37:         floattostr(distancia, txt) 'conversion flotante a string
38:         OutTxt=txt
39:         Lcd_Chr(1, 7, OutTxt[0])           ' Presentamos cada caracter en el LCD
40:         Lcd_Chr(1, 8, OutTxt[1])
41:         Lcd_Chr(1, 9, OutTxt[2])
42:         Lcd_Chr(1, 10, OutTxt[3])
43:         Lcd_Chr(1, 11, OutTxt[4])
44:
45:         nivel= (OutTxt[0]-$30) *10+(OutTxt[1]-$30) 'nivel tanque en byte
46:         'nivel=StrToInt(txt)
47:
48:         Uart1_Write_char($24)           'cabecera
49:         Uart1_Write_Char(nivel)
50:         Uart1_Write_Char(Eeprom_Read($7FFC00))
51:         'Uart1_Write_Text(txt)
52:
53:
54:         if Eeprom_Read($7FFC00) > 100 then
55:             Eeprom_Write($7FFC00, 50)
56:             while (NVMCON.15 <> 0)
57:                 nop
58:             wend
59:         else
60:             ByteToStr (Eeprom_Read($7FFC00),txt2)
61:         end if
62:         Lcd_Out(2,10,txt2)
63:
64:
65:
66:         error_act= Eeprom_Read($7FFC00)- distancia
67:         floattostr(error_act, txt1)
68:         Lcd_Out(2,13,txt1)
69:
70:

```

```

71:  if error_act>0 then
72:      duty_50 = Pwm_Mc_Init(5000,1,0x10,0) 'activo salida PWM1H
73:      T=duty_50 /50
74:      k=5
75:      i = k*error_act*T - 1
76:      if i<23 then
77:          i= 24
78:          Pwm_Mc_Set_Duty(i, 1)
79:          Pwm_Mc_Start()
80:      else
81:          Pwm_Mc_Set_Duty(i, 1)
82:          Pwm_Mc_Start()
83:      end if
84:  end if
85:  if error_act<0 then
86:      duty_50 = Pwm_Mc_Init(5000,1,0x20,0) 'activo salida PWM2H
87:      i=2*duty_50-1
88:      Pwm_Mc_Set_Duty(i, 2)
89:      Pwm_Mc_Start()
90:  end if
91:  if error_act = 0 then
92:      Pwm_Mc_Stop()
93:  end if
94:      Delay_ms(500)
95:  '=====
=
96:  'i = ((Eeprom Read($7FFC00)*duty_50)/50)-1
97:  ' Pwm Mc Set Duty(i, 1)
98:  ' Pwm Mc Start()
99:  '=====
100: if Keypad_Key_Click()<>0 then
101:     Lcd_Out(1,1,"INGRESE VALOR")
102:     Delay_ms(500)
103:     Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)
104:     Lcd_Out(1,1,"Nivel")
105:     while TRUE
106:         kp=0
107:         while kp = 0
108:             kp = Keypad_Key_Click()
109:         wend
110:         cnt=cnt+1
111:         select case kp
112:             case 1 kp = 1 ' 1
113:             case 2 kp = 2 ' 2
114:             case 3 kp = 3 ' 3
115:             case 5 kp = 4 ' 4
116:             case 6 kp = 5 ' 5
117:             case 7 kp = 6 ' 6
118:             case 9 kp = 7 ' 7
119:             case 10 kp = 8 ' 8
120:             case 11 kp = 9 ' 9
121:             case 13 kp = "*" ' *
122:             case 14 kp = 0 ' 0

```



```

122:         case 14 kp = 0 ' 0
123:         case 15 kp = "#" ' #
124:
125:     end select
126:
127:     if (cnt=1) and (kp<>"*") and (kp<>"#") then
128:     tecla=kp
129:     end if
130:
131:     if (cnt=2) and (kp<>"*") and (kp<>"#") then
132:     tecla=tecla*10+kp
133:     end if
134:
135:     if (cnt=3) and (kp<>"*") and (kp<>"#") then
136:     tecla=tecla*10+kp
137:     end if
138:
139:     if kp= "*" then
140:         cnt=0
141:         Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)
142:         set_point=tecla
143:         Eeprom_Erase($7FFC00)
144:         Eeprom_Write($7FFC00, set_point)
145:         while (NVMCON.15 <> 0)
146:             nop
147:         wend
148:         ByteToStr (Eeprom_Read($7FFC00),txt1)
149:         Lcd_Out (2, 11,txt1)
150:         Lcd_Out (2, 15, "%")
151:         Lcd_Out (1, 1, "VALOR INGRESADO")
152:         Delay_ms (1000)
153:         Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)
154:         Lcd_Out (2, 1, "Nivel Ref")
155:         Lcd_Out (1, 1, "Nivel")
156:         Lcd_Out (1, 13, "%")
157:         Lcd_Out (2, 13, "%")
158:         goto lazo
159:     end if
160:
161:     if kp<>"*" then
162:         ByteToStr (tecla,txt1)
163:         Lcd_Out (1, 13,txt1)
164:     end if
165:
166:     if tecla > 100 then
167:         Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)
168:         Lcd_Out (1, 1, "ERROR")
169:         Delay_ms (1000)
170:         Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)

```

# BIBLIOGRAFÍA

1. ANGULO USATEGUI JOSÉ, Microcontroladores avanzados dsPIC 1º Edición; Thomson; Madrid-España, 2006; pp 3-495.
2. MALONEY J. TIMOTHY, Electrónica industrial moderna 3º Edición; Pretince Hall; Naulcalpan de Juárez-México, 2007; pp 526-530.
3. Hojas de Datos Técnico del OPA 548T :  
<http://www.ti.com>
4. Guía para elaborar una Tesis de Grado  
<http://www.cib.espol.edu.ec>
5. Implementación de controles PID  
[http://www.automatas.org/hardware/teoria\\_pid.htm](http://www.automatas.org/hardware/teoria_pid.htm)
6. Hoja del fabricante para las especificaciones de los integrados utilizados en la implementación de las tarjetas.  
<http://www.datasheetcatalog.com>
7. Hojas de fabricante de especificación del dsPIC30F y dsPIC30F4011  
<http://www.microchip.com>
8. Información general sobre dsPIC  
[http://isa.uniovi.es/~fernando/Programa\\_II\\_EUITI.htm](http://isa.uniovi.es/~fernando/Programa_II_EUITI.htm)
9. Manual de mikroBasic para dsPIC  
<http://www.mikroe.com>
10. Distribuido de componentes electrónicos

<http://www.electroavil-es.com/>

<http://www.mouser.com>

#### 11. Reglas para diseño electrónico

<http://www.monografias.com/trabajos35/dibujo-electronico/dibujo-electronico.shtml>