



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

Propuesta de automatización y distribución del agua potable, energizado con celdas fotovoltaicas para su aplicación en una comunidad mixteca.

**TESIS**

Para obtener el grado:  
Ingeniero eléctrico electrónico

Presenta:  
Flavio Hernández Vidal

Asesor:  
Dr. Ismael Díaz Rangel

México a 01/01/2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## Índice

CAPÍTULO 1.- Introducción .....	8
<b>1.1 Justificación .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Organización del trabajo.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>11</b>
1.3.1 Objetivo general .....	11
1.3.2 Objetivos específicos .....	11
<b>1.4 Planteamiento del problema.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5 Alcance .....</b>	<b>14</b>
CAPÍTULO 2.- Marco teórico .....	15
<b>2.1 Instrumentación para los sistemas de control .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Métodos para el diseño de sistemas de control.....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Según su dimensión: .....	16
2.2.2 Según el conocimiento de sus parámetros: .....	17
2.2.3 Según el carácter de transmisión en el tiempo: .....	17
2.2.4 Según la presencia de linealidad: .....	17
2.2.5 Según el comportamiento en el tiempo: .....	18
2.2.6 Según sus aplicaciones: .....	18
<b>2.3 Sistemas de control por retroalimentación .....</b>	<b>19</b>
2.3.1 Control de Encendido/Apagado o Control On/Off .....	20
2.3.2 Controlador proporcional (P) .....	21
2.3.3 Controlador integral (I) .....	22
2.3.4 Controlador derivativo (D).....	23
2.3.5 Controlador proporcional-integral (PI) .....	24

2.3.6 Controlador proporcional-derivativo (PD).....	24
2.3.7 Controlador proporcional integral derivativo (PID) .....	25
<b>2.4 Estrategias de control .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5 Sensores y transmisores.....</b>	<b>27</b>
2.5.1 Definición sensores y transmisores de flujo .....	28
2.5.2 Características de los sensores de flujo.....	30
2.5.3 Turbina o sensor de flujo .....	31
2.5.4 Selección para sensor de flujo.....	32
<b>2.6 Sensores e Interruptores de Nivel.....</b>	<b>33</b>
<b>2.6.1 Tipos instrumentos de nivel por medición directa .....</b>	<b>34</b>
2.6.2 Selección para sensor de nivel. ....	35
<b>2.7 Elementos finales de control.....</b>	<b>37</b>
2.7.1 Válvulas de control .....	37
<b>2.8 Especificación de válvulas .....</b>	<b>39</b>
2.8.1 Selección. Dimensionamiento de válvulas de control.....	39
<b>2.9 Selección del controlador lógico programable para el sistema.....</b>	<b>40</b>
<b>2.10 Factores Cuantitativos.....</b>	<b>41</b>
2.10.1 Serial Peripheral Interface (SPI) .....	43
<b>2.11 Módulo Tiny RTC I2C (DS1307).....</b>	<b>44</b>
<b>2.12 Fuentes de energía.....</b>	<b>45</b>
2.12.1 Día solar .....	46
2.11.2 La hora solar.....	46
2.12.3 Radiación Solar Promedio para la república mexicana.....	46
<b>2.13 Sistema solares fotovoltaicos .....</b>	<b>47</b>

2.13.1 Célula solar.....	48
2.13.2 Tipos de células solares.....	48
2.13.3 Características de los paneles fotovoltaicos.....	48
<b>2.14 Sistema SQFlex.....</b>	<b>50</b>
2.14.1 El CU 200 ofrece: control del sistema: .....	52
<b>2.15 Bombas Grundfos SQFlex.....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO 3.-Desarrollo experimental de la propuesta.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1 Consideraciones de diseño.....</b>	<b>54</b>
<b>3.2 Subsistema: Pozo de agua.....</b>	<b>56</b>
<b>3.3 Subsistema: deposito A.....</b>	<b>59</b>
<b>3.4 Subsistema: deposito B.....</b>	<b>60</b>
<b>3.5 Subsistema: deposito C.....</b>	<b>62</b>
<b>3.6 Diseño y solución del sistema.....</b>	<b>63</b>
3.6.1 Diseño para el pozo de agua: .....	63
3.6.2 Para el diseño del depósito A:.....	67
<b>CAPÍTULO 4.-Pruebas y resultados.....</b>	<b>70</b>
Conclusiones y trabajos futuros .....	76
<b>APENDICE A.....</b>	<b>77</b>
<b>Programa del sistema de pozo de agua.....</b>	<b>77</b>
<b>Programa de los subsistemas A, B, C.....</b>	<b>86</b>
<b>APENDICE B.....</b>	<b>88</b>
<b>Atmega328.....</b>	<b>88</b>
<b>APENDICE C.....</b>	<b>89</b>
<b>Cotización.....</b>	<b>89</b>

## **Glosario**

**Campo de medida o Rango.** Es el conjunto de valores dentro de los límites superior e inferior de medida, en los cuales el instrumento es capaz de trabajar en forma confiable. Este denota la capacidad del equipo y puede expresarse en unidades físicas.

**Alcance o *Span*.** Es la diferencia entre el valor superior e inferior del campo de medida del instrumento.

**Error.** Es la diferencia que existiría entre el valor que el instrumento indique que tenga la variable de proceso y el valor que realmente tenga esta variable en ese momento.

**Precisión.** Es la dispersión del conjunto de valores que se obtiene a partir de las mediciones repetidas de una magnitud: a menor dispersión, mayor precisión.

**Zona Muerta.** Es el máximo campo de variación de la variable en el proceso real, para el cual el instrumento no registra ninguna variación en su indicación, registro o control, es decir, el intervalo de valores para cual el instrumento no produce respuesta alguna.

**Sensibilidad.** Es la relación entre la variación de la lectura del instrumento y el cambio en el proceso que causa este efecto.

**Repetibilidad.** Es la capacidad de un instrumento de repetir el valor de una medición, de un mismo valor de la variable real en una única dirección de medición, considerando las mismas condiciones de funcionamiento.

**Histéresis.** Similar a la repetibilidad, pero en este caso el proceso de medición se efectuara en ambas direcciones.

**Campo de medida con supresión de cero.** Es aquel rango de un instrumento cuyo valor mínimo se encuentra por encima del cero real de la variable.

**Campo de medida con elevación de cero.** Es aquel rango de un instrumento cuyo valor mínimo se encuentra por debajo de cero de las variables.

**Instrumentos ciegos.** Son aquellos que no tienen indicación visible de la variable medida pero cumplen una acción reguladora en el proceso.

**Instrumentos indicadores.** Son aquellos que tienen un indicador visual de la variable del proceso, pueden ser analógicos y/o digitales.

**Instrumentos registradores.** Estos pueden ser de tipo mecánico o también de tipo electrónico, como por ejemplo los registradores digitales que por medio del puerto serial se conectan a una computadora donde aparece gráficamente en pantalla las estadísticas de medición. Estos instrumentos se utilizan cuando el proceso requiere generar un historial de la variable.

**Elementos primarios de medida.** Son aquellos que están encargados de medir directamente la variable a controlar, estos tienen contacto directo con la variable del proceso, con el fin de recibir un efecto sobre este; evaluando la variable.

**Transmisores.** Son todos aquellos que transmiten la variable a distancia en forma de señal eléctrica, neumática, hidráulica, o electromagnética. Estos transmiten las variables de proceso en forma de señales proporcionales a estas.

**Transductores.** Estos modifican, convierten, o acondicionan la señal de entrada. Son instrumentos fuera de línea (no en contacto con el proceso), capaces de realizar operaciones lógicas y matemáticas con señales de uno o más transmisores.

**Receptores.** Son aquellos instrumentos que reciben la señal enviada por los transmisores. Son generalmente instalados en el panel de control, como interface entre el proceso y el operador.

**Controladores.** Son los encargados de encontrar el error entre la variable medida y la referencia, se genera una acción para corregir el error. Es uno de los elementos más importantes, encargado de ejercer la función de comparar y ser corregido.

**Elemento final de control.** Son los instrumentos que reciben la señal de corrección del controlador y actúan sobre el proceso para corregir el error. Este instrumento está en contacto directo con el proceso en línea, ejerciendo un cambio sobre este de tal manera que se cambien los parámetros hacia el valor deseado.



<i>Símbolo</i>	<i>Variable que representa</i>	<i>Unidades</i>
<i>A</i>	<i>Área de la sección transversal</i>	<i>m<sup>2</sup></i>
<i>H</i>	<i>Altura</i>	<i>m</i>
<i>D</i>	<i>Distancia</i>	<i>m, Km</i>
<i>P</i>	<i>Presión</i>	<i>Pa, bar</i>
<i>M</i>	<i>Masa</i>	<i>Kg</i>
<i>Q</i>	<i>flujo</i>	<i>m<sup>2</sup>/s, kg/s, lpm, lps</i>
<i>Ø</i>	<i>Diametro</i>	<i>“ (pulgadas)</i>
<i>T</i>	<i>Temperatura</i>	<i>°C, °K, °F</i>
<i>V</i>	<i>Velocidad, Velocidad media del fluido</i>	<i>m/s</i>
<i>V</i>	<i>Volumen</i>	<i>m<sup>3</sup></i>
<i>V</i>	<i>Voltaje</i>	<i>V</i>
<i>Vdc</i>	<i>Voltaje de corriente directa</i>	<i>Vcd</i>
<i>Vac</i>	<i>voltaje de corriente alterna</i>	<i>Vca</i>
<i>P</i>	<i>Potencia</i>	<i>W</i>
<i>I</i>	<i>Corriente</i>	<i>A</i>
<i>Lps</i>	<i>Litro por segundo</i>	<i>l/s</i>
<i>Lpm</i>	<i>Litro por minuto</i>	<i>l/m</i>



al Sur el pueblo de Asunción Acaquizapan, al Oriente con el Pueblo de San Francisco Huapanapan, Al Sur la Comunidad de Lunatitlán del Progreso, y al Noroeste con la Comunidad de El Higo.

La hidrografía de la comunidad proviene de las afluentes del río Zapoquila, que nace en la serranía El Membrillo, Zapoquila, pasando por pueblos de Mixquislahuaca, Nochistlán, Huapanapan hasta llegar a Huaxtepec, siguiendo una ruta al poniente rumbo a Lunatitlán rumbo a Acatlán de Osorio Estado de Puebla hasta unirse con el Río Balsas, para seguir su curso al Océano Pacífico. La comunidad cuenta con un pequeño manantial que brota en los terrenos denominados Xica cúau, surte de agua potable a la comunidad.

El sistema actual es ineficiente debido a que la estación de bombeo se encuentra ubicada a 6 km de distancia río arriba de la comunidad con un difícil acceso, figura 2Figura 1. El proceso de abastecimiento de agua debe ser monitoreado durante todo un día, lo cual es tardado y laborioso para la comunidad de Trinidad Huaxtepec, con cerros altos con difícil acceso, dificultando la operación donde se recorre una ruta para poder ser activado.



*Figura 2 - Referencia geográfica de Trinidad Huaxtepec al tablero de control del sistema potable.*

El propósito es aumentar la eficiencia y autonomía de dicho sistema para aumentar el suministro de agua ocupando la ingeniería de control como ayuda para la implementación de la tecnología.

Se busca que las bombas de agua se activen de forma automática de día, y en una hora estratégica para tener mayor radiación solar, ya que el sistema instalado cuenta con paneles solares como única fuente de alimentación.

Los beneficios a la comunidad serían:

- Ahorro de energía eléctrica.
- Reducción de gastos por servicio de luz.
- Suministro de agua a más personas.
- Aumento del servicio de agua.

Cabe resaltar que un beneficio importante es el presente proyecto en sí, ya que se busca incentivar a las nuevas generaciones de la comunidad para que sigan preparándose académicamente, y de esta forma disminuir el alto índice de deserción escolar que existe actualmente.

## **1.1 Justificación**

Las comunidades han sufrido muchas alteraciones por migración y cada vez hay menos población por falta de empleo ya que la tierra es semidesértica dificultando la siembra, además se han creado huertos de frutas de la misma región generando empleo temporal; el comercio, el trueque y la venta de comida se convirtió en un estilo de vida.

En tiempos de lluvia el agua causa estragos y genera problemas de desgajamiento de cerros, se crean ríos muy peligrosos que erosionan la tierra. Por otro lado casi la mitad del año es de sequía total.

La necesidad de obtener el agua potable en la comunidad indígena es complicado por la distancia a la que se encuentra el pozo profundo, si el sistema se monitorea manualmente les lleva todo un día este proceso. Este sistema de bombeo se alimenta por energía fotovoltaica, donde tiene un horario de mayor captación de energía ya que

no cuenta con baterías para almacenarla. Consta de tres niveles para que el agua pueda fluir por medio de gravedad.

Con el presente proyecto se busca aportar conocimiento a mi comunidad por medio de una implementación tecnológica para el abastecimiento de agua, sin necesidad de tener una persona que este al día encargada de pilotear el sistema de bombeo.

## **1.2 Organización del trabajo**

En el capítulo 2, se encuentra la teoría necesaria para comprender el funcionamiento de la propuesta. En el capítulo 3, se menciona el funcionamiento del sistema de bombeo y el desarrollo de la propuesta del diseño. En el capítulo 4, se explica si alcanzamos los objetivos específicos y se menciona los trabajos futuros.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar una propuesta de control automático para el sistema de suministro de agua, que cuente con una interfaz gráfica de fácil interpretación para el usuario, en donde se defina el día, la hora y la cantidad de litros de agua para abastecer a la comunidad.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Investigar el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua implementado actualmente en el poblado.
- Definir los elementos de control necesarios en el sistema que se presenta.
- Proponer un método para inicio y cantidad de abastecimiento de agua.
- Implementación de un sistema de control microprogramado.
- Desarrollar un algoritmo para el funcionamiento automático del sistema.
- Investigar los tipos de sensores de flujo de agua y determinar el adecuado para la propuesta.
- Investigar tipos de electroválvulas y determinar la más adecuada para la propuesta.
- Investigar los tipos de medidores de nivel y elegir el adecuado para el sistema.

## 1.4 Planteamiento del problema

El suministro de agua de Trinidad Huaxtepec actualmente tiene dos sistemas de suministro de agua funcionales; el primer sistema se encuentra río abajo del pueblo, este ocupa energía alterna de alta tensión que es abastecida por la CFE (Comisión Federal de Electricidad) que se encuentra como a 1Km de distancia, que lo hace accesible a la comunidad, logrando suministrar agua al pueblo pero existe un problema, que es pagar una cantidad de 3000 a 5000 pesos al mes por el consumo de la luz; es un alto costo para una comunidad sin ingresos económicos.

El segundo sistema es un mejor diseño, donde ocupa energía solar transformándola a energía eléctrica mediante paneles solares, dependiendo de las horas con radiación; pero la distancia hace difícil acceso y no es funcional para la comunidad.

Ocupar este sistema de bombeo tiene diferentes procesos que se operan de manera manual, tomando en cuenta que el tanque siempre debe tener agua hasta cierto nivel para evitar una fractura en los depósitos. El pozo profundo tienen 2 bombas centrifugas verticales marca Grundfos, se extrae con un gasto máximo de 0.182 lps (litros por segundo) en un pozo con 18 m de profundidad y 1.5 m de diámetro Figura 3. Tiene un sistema de regulación de energía marca SQFlex modelo CU200 instalado, <sup>1</sup> 18 paneles fotovoltaicos (9 paneles entregan un voltaje 263 Vdc con una corriente de 8.02 A -nominal máximo- para la alimentar a una sola bomba), con un módulo CU200 (comunica los paneles y la bomba) para regular la energía suficiente que demandan las bombas; si la energía es menor el módulo cortará el suministro como protección. La extracción se hace por 2 bombas cada una con su instalación por separado como se muestra en la Figura 3, con el módulo CU200 se activa con un interruptor teniendo el control del motor por separado, evitando sobrecarga. Este mismo sistema de control sirve para la bomba del depósito A.

---

<sup>1</sup> <http://www.cryplant.com/product-info.php?pid80.html>

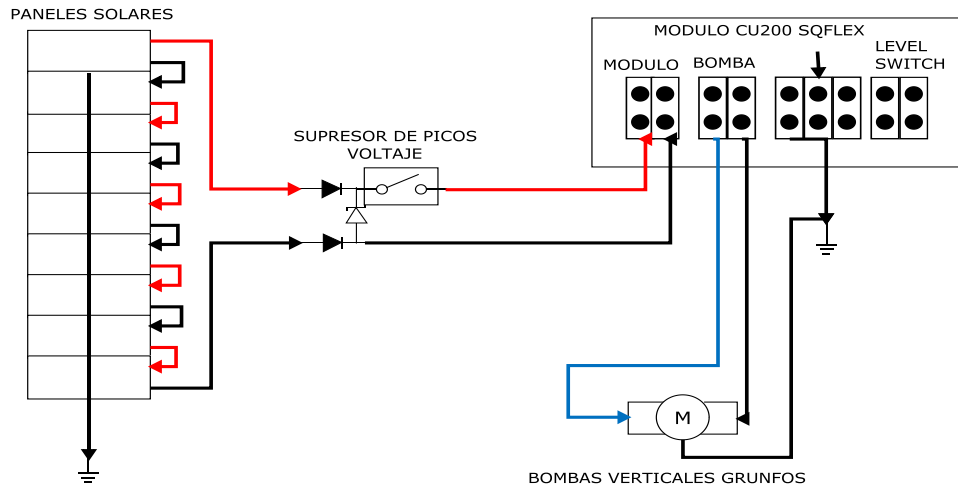


Figura 3. Instalación de un motor del sistema bombeo en el pozo y subsistema A.

Al ser activadas las 2 bombas del pozo se envía agua al primer *depósito A*, que tiene la capacidad de 30 000 l, y está a 2.5 Km de distancia, cuando el *depósito A* se encuentra lleno garantiza poder activar la bomba para enviarla al depósito B; con una distancia aproximada de 1.5 Km, si el *depósito A* esta en un nivel bajo la bomba tiene un sistema que detecta ausencia de líquido y se desactiva. El *deposito B* tiene una capacidad de 30 000 l; aquí se controla el agua con una válvula mariposa para que drene por gravedad el agua al *depósito C* con una capacidad de 20 000 l, con una distancia de 4 Km. Este es el último depósito, con la ayuda de una válvula mariposa la comunidad decidirá el uso del agua potable, está a una distancia de 1.5 Km de la comunidad, facilitando su acceso para el usuario, encargado de manipular el agua ver Figura 4.

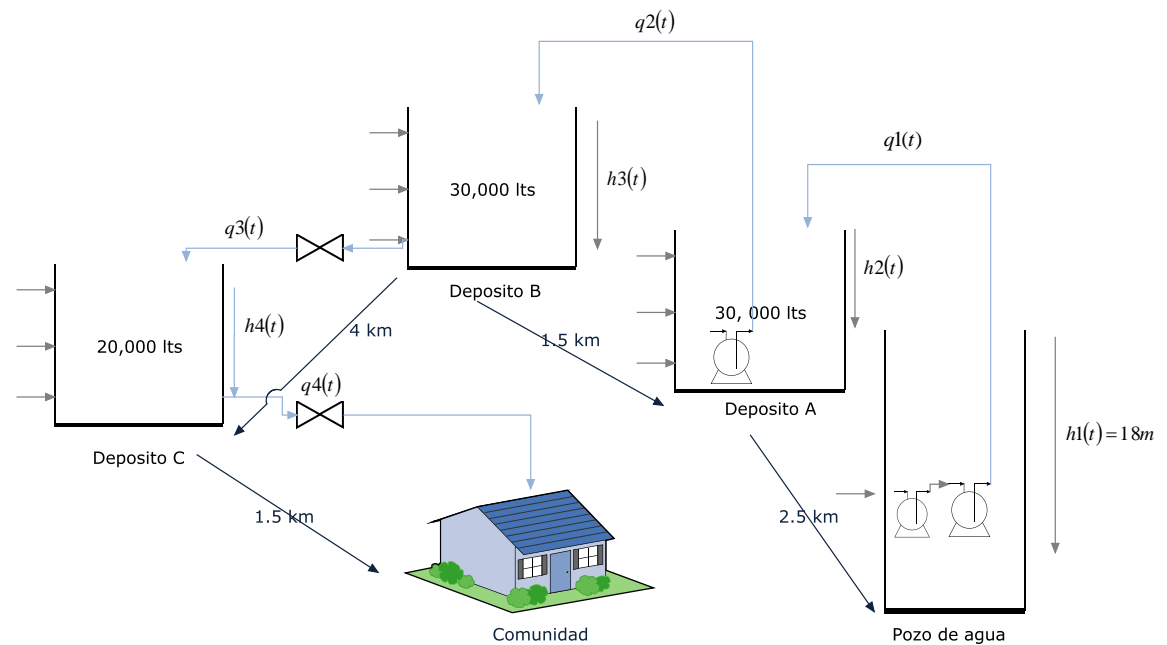


Figura 4. Desarrollo del sistema de bombeo por niveles.

## 1.5 Alcance

La propuesta aporta, la comprensión del control automático para suministro de agua potable, facilitando el uso y control para cualquier usuario encargado, solucionando el problema actual del sistema potable. El abastecimiento queda a cargo del comité de agua de la comunidad para evitar el mal uso de agua.



# **CAPÍTULO 2.- Marco teórico**

## **2.1 Instrumentación para los sistemas de control**

La utilización de dispositivos eléctricos y electrónicos para la automatización de control de procesos vive actualmente un acelerado desarrollo tecnológico, por lo que el diseño e implementación de los procesos involucrados en el proyecto de automatización del sistema de bombeo, engloban un amplio espectro de tecnología disponible para la solución de las múltiples tareas de nuestro sistema de control.

La utilización de dispositivos eléctricos y electrónicos para la automatización de control de procesos vive actualmente un acelerado desarrollo tecnológico, por lo que el diseño e implementación de los procesos involucrados en el proyecto de automatización del sistema de bombeo, engloban un amplio espectro de tecnología disponible para la solución de las múltiples tareas de nuestro sistema de control.

La descripción del comportamiento de un sensor se hace en este caso mediante las denominadas respuestas dinámicas, error dinámico y velocidad de respuesta del sensor a una magnitud de entrada según este sea constante o variable en el tiempo.

La velocidad de respuesta indica la rapidez con el que el sistema de medida responde a los cambios de la variable de entrada. En cuanto a la medida, no es importante que exista un retardo entre la magnitud aplicada a la entrada y la indicación correspondiente a la salida, sin embargo cuando el sensor forma parte de un complejo sistema de control, el retardo puede dar lugar a pequeñas oscilaciones.

Para poder determinar las características dinámicas de un sensor, se debe aplicar a su entrada; una magnitud variable. Estas pueden ser formas distintas, suficiente para un sistema lineal es estudiar la respuesta, frente a una entrada transitoria como impulso, un escalón o una rampa periódica o aleatoria. La elección de una u otra depende del tipo de sensor.

Para describir matemáticamente el comportamiento de un sensor, se relaciona la salida y la entrada con una ecuación diferencial lineal de coeficientes constantes y que, por lo tanto, se tiene un sistema lineal invariable en el tiempo.

**Variables** Se define como variable a todo aquel parámetro físico cuyo valor puede ser medido, controlado y modificado en sus cuantificaciones. En el control de procesos se definen las siguientes variables ilustradas en la Figura 5:

- Variable Controlada: Es aquella que se busca mantener constante o con cambios mínimos. Su valor debe seguir al valor de consigna o setpoint.
- Variable Manipulada: A través de esta se debe corregir el efecto de las perturbaciones. Sobre esta se colocará el actuador.
- Variable Perturbadora: Esta dado por los cambios repentinos que sufre el sistema y que provocan inestabilidad.
- Variable Medida: Es toda variable adicional, cuyo valor es necesario registrar y monitorear, pero que no es necesario controlar.

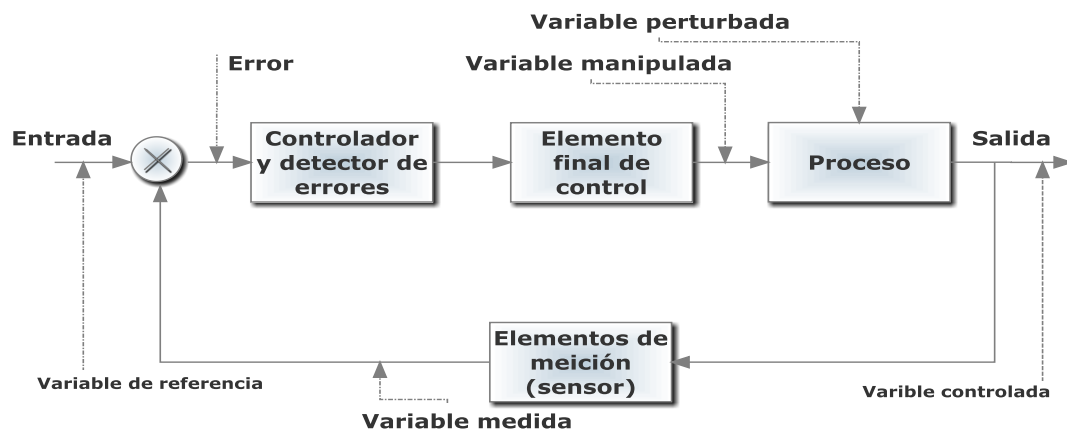


Figura 5. Variables en el control automático de procesos.

## 2.2 Métodos para el diseño de sistemas de control

Los sistemas de control pueden ser clasificados basándose en diferentes criterios, así pues, podemos tener las siguientes clasificaciones. [2]

### 2.2.1 Según su dimensión:

- **Sistemas de parámetros concentrados.** Son aquellos que pueden ser descritos por ecuaciones diferenciales ordinarias. También son conocidos como sistemas de dimensión finita.

- **Sistemas de parámetros distribuidos.** Son aquellos que requieren ecuaciones en diferencias (permiten el cálculo de polos y ceros en sistemas dinámicos). También son conocidos como sistemas de dimensión infinita.

### 2.2.2 Según el conocimiento de sus parámetros:

- **Sistemas determinísticos.** En estos sistemas se conocen exactamente el valor que corresponde a los parámetros. Por ejemplo un circuito RLC encargado de suministrar tensión a un equipo.
- **Sistemas estocásticos.** En este caso, la forma de conocer algunos o todos los valores de los parámetros, es por medio de métodos probabilísticas. Por ejemplo un horno o caldero que ha acumulado sarro y otras impurezas, las cuales no tienen una función matemática conocida que puedan identificar al proceso.

### 2.2.3 Según el carácter de transmisión en el tiempo:

- **Sistemas continuos.** Son aquellos descritos mediante ecuaciones diferenciales, donde las variables poseen un valor para todo tiempo posible dentro de un intervalo de tiempo finito. Está referido a las señales analógicas y su comportamiento matemático es similar a una onda continua. Por ejemplo un proceso de llenado de balones de gas.
- **Sistemas discretos.** Son aquellos descritos mediante ecuaciones diferenciales y poseen valores solo para determinados instantes de tiempo, separados por intervalos dados por un período constante. Está referido a las señales digitales y su comportamiento matemático es similar a un tren de pulsos. Por ejemplo el encendido y apagado de un selector que acciona una alarma.

### 2.2.4 Según la presencia de linealidad:

- **Sistemas lineales.** Son aquellos cuyo comportamiento está definido por medio de ecuaciones diferenciales lineales, es decir, los coeficientes son constantes o funciones de la variable independiente. Deben cumplir con el principio de superposición. Por ejemplo un amplificador de señales.

- **Sistemas no lineales.** Cuando una ecuación diferencial no sea lineal. También se considerará como sistema no lineal a aquellos para los cuales el principio de superposición no sea válido. Por ejemplo el calentamiento de un horno.

### 2.2.5 Según el comportamiento en el tiempo:

- **Sistemas invariantes en el tiempo.** Ocurre cuando todos sus parámetros son constantes, por tanto se mantiene en un estado estacionario permanentemente. Se representa por ecuaciones diferenciales cuyos coeficientes constantes. Así queda descrito el modelo de solución con un método específico de la gama de ecuaciones diferenciales.
- **Sistemas variantes en el tiempo.** Ocurre cuando uno o más de sus parámetros varían en el tiempo, por lo tanto, no se mantiene en estado estacionario. Se define por ecuaciones diferenciales cuyos coeficientes son funciones del tiempo. Por ejemplo para un motor de un vehículo de carrera, la masa del vehículo va a variar por acción del consumo de combustible.

### 2.2.6 Según sus aplicaciones:

- **Sistemas servomecanismos.** Son aquellos en donde la variable controlada es la posición o el incremento de la posición con respecto al tiempo. Por ejemplo un mecanismo de control de velocidad o un brazo robótico.
- **Sistemas secuenciales.** Son aquellos en donde un conjunto de operaciones preestablecidas es ejecutada en un orden dado. Por ejemplo el arranque y parada de un motor o la conmutación delta-estrella de un motor.
- **Sistemas numéricos.** Esta referido a sistemas de control que almacenan información numérica, la cual incluye algunas variables del proceso codificadas por medio de instrucciones. Por ejemplo tornos, taladros, esmeriles, los cuales almacenan información referente a posición, dirección y velocidad.

En base a su principio de funcionamiento, los sistemas de control pueden emplear o no información acerca de la planta a fin de elaborar estrategias de supervisión y control.

Según su principio de funcionamiento y control:

- lazo abierto
- lazo cerrado

El diseño de este proyecto se lo realiza con un sistema de control en lazo cerrado, donde se tiene la información del nivel y flujo del proceso, y mediante estos se toman las correspondientes acciones de control y monitoreo. Un sistema de control de lazo abierto es aquel en el cual no existe retroalimentación del proceso al controlador. Su principal ventaja consiste en su facilidad para implementar, además son económicos, simples y de fácil mantenimiento. Sus desventajas consisten en que no son exactos, no corrigen los errores que se presentan y por consiguiente su desempeño depende de la calibración inicial.

### 2.3 Sistemas de control por retroalimentación

Un sistema de control se dice que funciona en lazo cerrado cuando recibe información del proceso por medio de las señales de los sensores/transmisores, y en función del valor de éstas, decide el valor de los actuadores; la utilización de información del proceso actualizada permite al sistema de control corregir sus acciones para compensar cualquier suceso imprevisto.

En un sistema de control con retroalimentación negativa, esta señal se resta de la señal de entrada, generando un error, el cual debe ser corregido por accionamiento del controlador. Este es el caso común utilizado en el campo del control de procesos industriales y su configuración se ilustra en la Figura 6. [2](pp. 89-97)

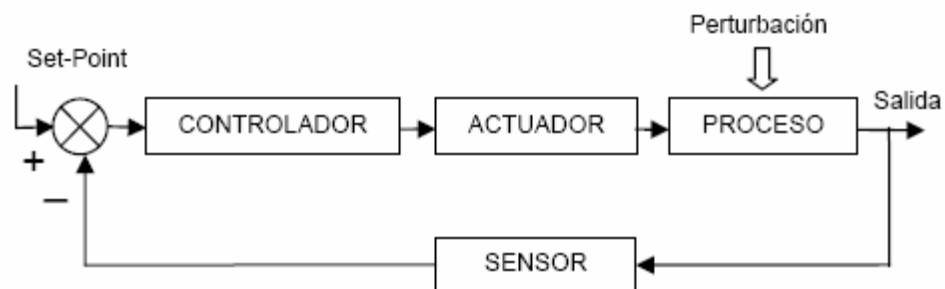


Figura 6. Sistema de control en lazo cerrado.

El término lazo se refiere al hecho de que una vez introducida una señal de error al sistema, esta viaja por el lazo hasta que se reestablece el equilibrio. El propósito fundamental de un proceso de control automático a lazo cerrado es mantener la variable

controlada igual a su valor de referencia. Por supuesto, el sistema de control automático empieza a trabajar una vez que aparece una señal de error. Esta se puede originar por una de tres siguientes causas posibles:

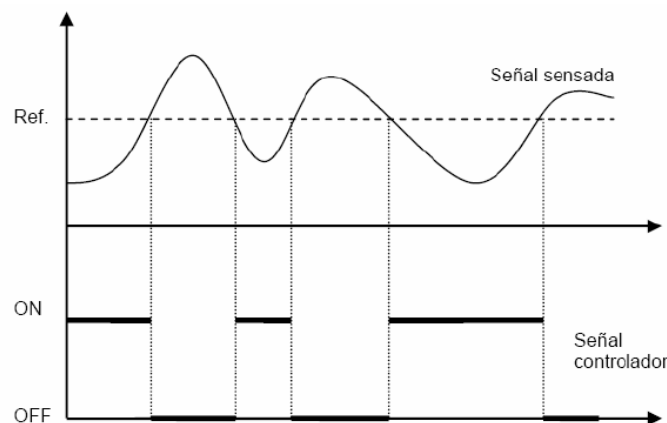
1. Cambios en el valor de referencia.
2. Cambios inesperados en el proceso.
3. Cambios en la carga.

Cuando se genera una señal de error en un sistema de control automático, el controlador empieza a trabajar para restablecer el equilibrio; este llegará a reestablecerse un tiempo más tarde. Al tiempo de respuesta de un sistema de control automático, o al tiempo que tarda en reestablecer el equilibrio, se le llama respuesta dinámica. Algunos de los factores que retardan la respuesta dinámica son los siguientes:

1. El tiempo de respuesta de los instrumentos que constituyen el lazo de control, conocido comúnmente como *time lag*.
2. El tiempo que tarda la señal en viajar de un instrumento a otro.
3. La inercia de la variable controlada a cambiar su valor, conocido comúnmente como *pure lag*.
4. El tiempo que transcurre desde el momento en que la variable controlada sufre un cambio hasta que se inicia una acción correctiva, que se le denomina *dead time*.

### 2.3.1 Control de Encendido/Apagado o Control On/Off

Su funcionamiento se muestra en la Figura 7, donde se observa la señal censada y la señal del controlador.



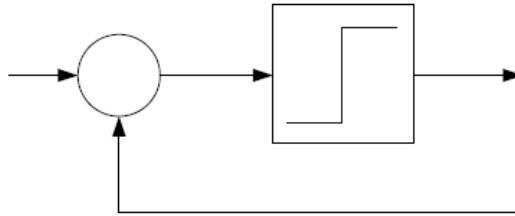
*Figura 7. Funcionamiento del Control On/Off.*

Este tipo de sistema de control de dos posiciones se maneja con actuadores que tienen dos posiciones fijas, lo que significa que se controla la conexión y desconexión. Este tipo de controlador es bastante económico y simple, por esta razón su campo de aplicación es extenso dentro de los sistemas de control industrial. Si consideramos que  $u(t)$  es la señal de salida del controlador y  $e(t)$  la señal de error, en el controlador de encendido/apagado, la señal  $u(t)$  permanece en un valor máximo o mínimo, como se ilustra en la Figura 8, según sea la señal de error positiva o negativa; de manera que: [3](pp. 176)

$$u(t) = U_1 \text{ Para } e(t) > 0 \text{ (Positivo)}$$

$$u(t) = U_2 \text{ Para } e(t) < 0 \text{ (Negativo)}$$

Donde  $U_1$  y  $U_2$  son constantes.



*Figura 8. Diagrama de bloques del controlador On/Off.*

### **2.3.2 Controlador proporcional (P)**

Es un control que se basa en la ganancia aplicada al sistema, se fundamenta en el principio de que la respuesta del controlador deber ser proporcional a la magnitud del error. No corrige ni elimina perturbaciones, únicamente atenúa o aumenta la señal de error, como se observa en la Figura 9. Se representa a través del parámetro  $K_p$  y define la fuerza o potencia con que el controlador reacciona frente a un error. [3](pp. 178)

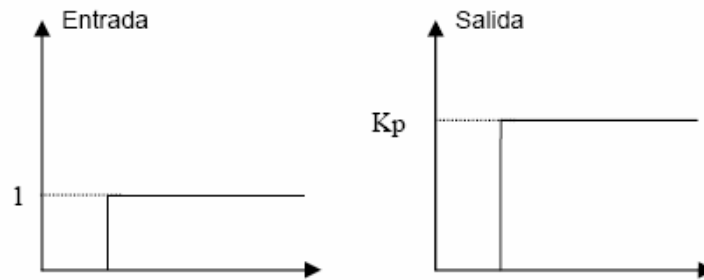


Figura 9. Funcionamiento del Control Proporcional.

La ecuación que describe su funcionamiento es:

$$\mathbf{m(t)} = m + k_c e(t) \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:  $\mathbf{m(t)}$  representa la salida del controlador.

$\mathbf{m}$  representa el valor de la salida del controlador cuando el error es cero.

$\mathbf{K_c}$  representa la ganancia del controlador.

$\mathbf{e(t)}$  representa la señal de error y es la diferencia entre el valor de consigna y la variable que se controla, es decir:  $e(t) = r(t) - c(t)$

La ventaja de este tipo de controlador es que su único parámetro de ajuste es el valor de  $K_c$ , sin embargo, estos operaran con un error en estado estacionario o desviación causado por el ajuste de este parámetro; mientras mayor es el valor de  $K_c$  menor es su desviación pero a la vez la respuesta del proceso se hace más oscilatoria e inestable. Su función de transferencia es la siguiente:

$$k_p(s) = ks \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde  $K_c$  es una ganancia proporcional ajustable. El controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente (offset).

### 2.3.3 Controlador integral (I)

Es también conocido como *reset*. Este tipo de controlador anula errores y corrige perturbaciones, mediante la búsqueda de la señal de referencia, necesita de un tiempo  $T_i$  para localizar dicha señal, como se observa en la Figura 10. Se representa mediante el término  $K_i$  que es el coeficiente de acción integral y es igual a  $1/T_i$ . [3] (pp. 186)



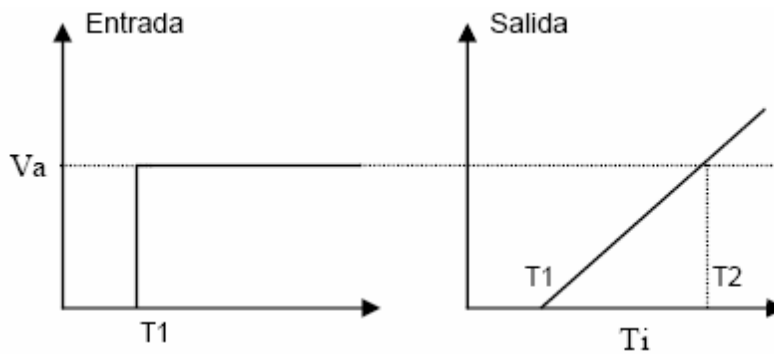


Figura 10. Funcionamiento del Integral.

La ecuación que representa este controlador es la siguiente:

$$u(t) = k_i \int_0^t e(t) dt \quad \text{Ecuación 3}$$

La función de transferencia del controlador es:

$$C_i(s) = \frac{k_i}{s} \quad \text{Ecuación 4}$$

La señal de control  $u(t)$  tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error  $e(t)$  es cero; por lo que se concluye, que dada una referencia constante o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.

### 2.3.4 Controlador derivativo (D)

Conocido también como *rate*. Este controlador por sí solo no es utilizado, necesita estar junto al proporcional y al integral. Sirve para darle rapidez o aceleración a la acción de control. Necesita de una diferencial de tiempo  $T_d$  para alcanzar la señal de referencia, como se ilustra en la Figura 11. Se representa mediante el término  $K_d$  que es el coeficiente de acción derivativa y es igual a  $1/T_d$ .

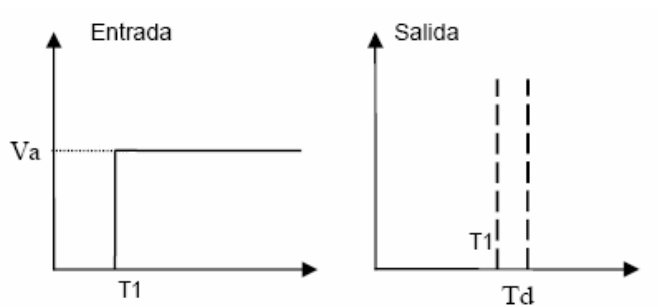


Figura 11. Funcionamiento del Control derivativo.

### 2.3.5 Controlador proporcional-integral (PI)

Actúa en forma rápida, tiene una ganancia y corrige el error, no experimenta un offset en estado estacionario. Cuando los procesos no son controlables con la acción proporcional, es decir, exigen control en un punto determinado, este tipo de controlador elimina dicha desviación, agregando inteligencia al controlador proporcional gracias al reajuste en su función. Su ecuación de modelado esta descrita de la siguiente forma: [3] (pp. 186)

$$\mathbf{m}(t) = m + k_c e(t) + \frac{k_c}{\tau_1} \int e(t) dt \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:  $\tau_1$  representa el tiempo de integración o de reajuste.

Del análisis de la ecuación anterior podemos concluir que  $\tau_1$  es el tiempo que toma al controlador repetir la acción proporcional, por tanto, mientras menor es el valor de  $\tau_1$ , la respuesta del controlador se torna más rápida. La función de transferencia de este controlador es:

$$C_{PI}(s) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_s + s} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero; con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción de control creciente, y si fuera negativa la señal de control será decreciente. Este razonamiento nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero; se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden, lo que puede ejecutarse mediante un ensayo al escalón.

### 2.3.6 Controlador proporcional-derivativo (PD)

Es estable y reduce los retardos, es decir, su acción es más fulminante. Este tipo de controladores se utilizan en los procesos que tienen la posibilidad de ser solucionados con la acción proporcional, pero el parámetro derivativo le agrega cierta cantidad de anticipación. Se describe mediante la siguiente ecuación: [3] (pp. 190)

$$\mathbf{m}(t) = m + k_c e(t) + k_c \tau_D de(t)$$

**Ecuación 7**

Dónde:  $\tau_D$  representa la constante de tiempo de derivación

La desventaja de este controlador es que opera con una desviación en la variable que controla. Dicha desviación se puede corregir únicamente con la acción de integración, pero por otro lado, el controlador PD soporta mayor ganancia, lo que causa menor desviación comparado con un controlador que solo tiene acción proporcional. La función de transferencia de este controlador es la siguiente:

$$C_{PD}(s) = k_c + s k_c T_d$$

**Ecuación 8**

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Aunque el control derivativo no afecta en forma directa al error en estado estacionario, añade amortiguamiento al sistema y, por tanto, permite un valor más grande que la ganancia  $K$ , lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable.

### 2.3.7 Controlador proporcional integral derivativo (PID)

Este controlador es el más completo y complejo, tiene una respuesta más rápida y estable siempre que esté bien sintonizado. Este tipo de controlador tiene por objeto, el anticipar hacia donde se dirige el proceso, utilizando para ello la observación de la rapidez para el cambio del error. Su ecuación característica es la siguiente: [3] (pp. 193)

$$\mathbf{m}(t) = m + k_c e(t) + \frac{k_c}{\tau} \tau_D de(t)$$

**Ecuación 9**

La función de transferencia de este controlador es la siguiente:

$$C_{PID}(s) = k_c \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

**Ecuación 10**

Resumiendo se puede decir que; el control proporcional actúa sobre el tamaño del error, El control integral rige el tiempo para corregir el error y el control derivativo le brinda la rapidez a la actuación, volviéndolo anticipativo.

## 2.4 Estrategias de control

Existen diferentes métodos que se utilizan para realizar la acción de control dentro de un proceso, sean estos clásicos o modernos, dependiendo la clasificación del sistema en la teoría de control. Estos métodos permiten reaccionar al controlador, mandando una señal correctiva del error generado, mientras que las estrategias de control, hacen más eficiente el trabajo de todo el sistema, ahorrando recursos y tiempo.

Las estrategias de control más reconocidas dentro de los procesos industriales son las siguientes: [3] (pp. 239-262)

- **Control en cascada.** Consiste en incluir uno o más lazos de control interno dentro de otro externo, con el objetivo de anular perturbaciones, impidiendo que las perturbaciones secundarias afecten al sistema principal. Básicamente el controlador externo se encarga de la variable principal, mientras que los controladores internos se encargan de las perturbaciones más frecuentes. Como regla general, a más interno es el lazo, la respuesta de este debe ser más rápida. Las ventajas de esta estrategia es que las perturbaciones más frecuentes son corregidas antes de afectar a la variable principal, permite usar ganancias altas y tiene una respuesta relativamente rápida.
- **Control de relación.** Consiste en analizar y mantener una proporcionalidad entre dos o más elementos (actuadores) dentro de un proceso continuo. Se usa comúnmente cuando se tiene que ingresar dos líquidos a un tanque y donde la cantidad del primer líquido debe mantener una relación respecto con la del segundo, además los líquidos deben entrar constantemente al tanque. Este tipo de estrategia significa un ahorro de instrumentos y un sistema más sencillo de
- **Control selectivo.** Consiste en ejercer control sobre dos variables de un proceso, relacionas entre sí de tal modo que una u otra pueda ser controlada por la misma variable manipulada. La acción de control se logra conectando la salida de los controladores a un *switch* selector. Es aplicado por lo general en seguridad y protección de supervisar y reparar.
- **Control de rango dividido.** Es aplicado a sistemas con una sola variable controlada y dos o más variables manipuladas, las cuales afectan de igual forma a

la variable controlada. Requiere compartir la señal de salida del controlador con varios elementos actuadores.

- **Control inferencial.** Consiste en efectuar la medición de la variable controlada a través de otra variable relacionada, considerada variable secundaria (pero dependiente de la principal). Los componentes de este sistema son los mismos que los de un sistema de control realimentado más una unidad de computo llamada estimador. Se aplica a procesos donde la obtención de información o la medición no se pueden llevar a cabo por motivos de que no existe un elemento medidor para ese tipo de parámetros, o si existe es demasiado costoso, o también porque no se puede medir constantemente el parámetro, lo que hace que se adquieran muy pocas muestras en un tiempo muy largo.
- **Compensación de tiempo muerto.** El tiempo muerto es el intervalo de tiempo de respuesta desde que se ingresa una señal en la entrada a un componente o un sistema, y el comienzo de una señal de respuesta por la salida del sistema. El tiempo muerto presenta la principal dificultad en los diseños de sistemas de control estable.

Estas estrategias se toman en cuenta para el diseño del sistema de control en conjunto con los métodos con los que se logrará el control y monitoreo del nivel y flujo del líquido del proyecto. Una vez caracterizada la planta y elegidos los métodos de control más apropiados, las estrategias de control para el proceso complementan el diseño del sistema.

## 2.5 Sensores y transmisores

El elemento primario de medición o sensor, es aquel que detecta el valor de la variable medida, es decir, es la porción de los medios de medición que primero utiliza o transforma la energía del medio controlado. Los sensores y transmisores realizan todas las operaciones de medición en los procesos de control; en el sensor se produce un fenómeno físico, relacionado con una variable del proceso, que puede ser de tipo eléctrico, mecánico, electrónico o una combinación de estos varios. Por otra parte, el transmisor convierte este fenómeno que se produce en el sensor, en una señal que se pueda transmitir, y por lo tanto esta tiene relación con la variable que se mide en el

proceso. Existe una clasificación de sensores por su tipo, dependiendo de las propiedades físicas en las que se desarrolla el proceso y de sus características de funcionamiento: [5]

- **Sensores de contacto.** Son aquellos que realizan la medida en contacto directo, real y físico con el producto o materia.
- **Sensores de no contacto.** Se basan en propiedades físicas de los materiales, son más exactos, pero propensos a interferencias del medio ambiente.
- **Sensores digitales.** Trabajan con señales digitales, en código binario, pueden representar la codificación de una señal analógica, o también la representación de dos estados on/off.
- **Sensores analógicos.** Proporcionan medidas continuas, los rangos típicos son de 0 a 20mA, 4 a 20mA, 0 a 5v, 1 a 5v y dependiendo del tipo de proceso existen rangos especiales.
- **Sensores mecánicos.** Son aquellos que traducen la acción física del elemento medido, en un comportamiento mecánico, típicamente de movimiento o calor, por ejemplo el barómetro o el termómetro de mercurio.
- **Sensores electro-mecánicos.** Este tipo de sensor emplea un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico, por ejemplo los sensores resistivos o los sensores magnéticos.

### 2.5.1 Definición sensores y transmisores de flujo

A continuación se definen los aspectos más importantes para entender a los sensores y cómo se comporta.

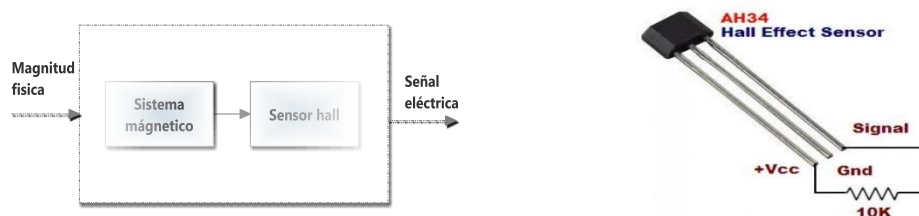
- **Flujo:** Se denomina flujo, al movimiento de fluidos por canales o conductos abiertos o cerrados, considerando como fluido a cualquier sustancia que pueda desplazarse. Es importante denotar, que el caudal es la cantidad de material, en peso o volumen, que fluye por unidad de tiempo. Las medidas de flujo y caudal están presentes en todos los procesos de transporte de materia y energía mediante fluidos, bien sea para el control de dichos procesos, para su monitoreo o con el fin de una tarea determinada.

- **El sensor y transmisor de flujo:** es uno de los instrumentos más utilizados dentro de los procesos industriales. Los procesos de fabricación operan continuamente con variables que involucran movimiento de materiales y productos, todos estos sistemas pueden ser considerados como flujos, ya sean de soluciones líquidas o de diferentes clases de sólidos que se desplacen en el proceso. Los métodos de medición de flujo son tan variados como las aplicaciones en las que se tienen dentro de la industria; es por esta razón, que este tema se centrará en el estudio de los dispositivos de acuerdo a las características de medición de líquidos porque el proceso corresponde al control y monitoreo del flujo de agua en el bombeo de agua potable.

La mayoría de flujómetros y de caudalímetros se basan en métodos de medida indirectos y, en particular, en la detección de diferencias de presión provocadas por la inserción de un elemento en el conjunto donde se desea medir; pero además de estos, existen instrumentos que se basan en la medición del flujo en base a la velocidad a la que se desplaza la sustancia, utilizando en sus dispositivos de censo paletas, turbinas o ultrasonido.

### 2.5.2.1 Sensor de efecto hall

Consiste en la producción de una caída de voltaje a través de un conductor o semiconductor con corriente, bajo la influencia de un campo magnético externo. Para esto es necesario que la dirección del campo magnético sea perpendicular a la dirección de flujo de la corriente, Figura 12.



*Figura 12. Sensor de efecto Hall.*

Un sensor de efecto Hall se vale del efecto Hall para la medición de campos magnéticos o corrientes. Si por un sensor Hall circula corriente y se lo coloca en un

campo magnético, aparece un voltaje proporcional al producto entre la corriente y la intensidad de la componente normal del campo magnético respecto del sensor. Si se conoce el valor de la corriente, se puede calcular la intensidad del campo magnético. A la vez, si se crea un campo magnético por medio de una corriente que circula por una bobina o un conductor, se puede practicar el experimento inverso de la determinación de la corriente mediante la medición del campo magnético con el sensor.

### 2.5.2 Características de los sensores de flujo

La medición del flujo de un líquido obedece a la gran variedad del tipo de sustancias de dicho flujo y el método utilizado para la medición, que dependiendo de la sensibilidad específica que se necesite en el proceso, pueden ser mediciones basadas en el caudal o flujo volumétrico, o mediciones basadas en la velocidad del flujo. Las unidades usadas se expresan en volumen de líquido suministrado por unidad de tiempo. En cambio, las mediciones basadas en la velocidad del flujo están expresadas como la distancia que el líquido viaja a través del elemento de transporte (tubería) por unidad de tiempo, las unidades típicas son metros por minuto y se relaciona mediante la fórmula:

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 11}$$

Dónde:  $v$  representa la velocidad de flujo del líquido

$Q$  representa el caudal

$A$  representa la sección transversal del elemento de transporte del líquido

Las mediciones de flujo a velocidades mayores, el flujo tienden a convertirse en rotacional o turbulento, es por esta razón, para la selección del instrumento de medición, se debe considerar el cálculo y análisis del tipo de flujo del proceso. La viscosidad se caracteriza por un coeficiente que determina a cada tipo de fluido y viene dado por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Fh}{Av} \quad \text{Ecuación 12}$$

Dónde:



$F/A$  representa la tensión cortante necesaria para mantener el flujo entre dos planos paralelos

$h$  representa la distancia entre los dos planos

$v$  representa la velocidad relativa del flujo

### 2.5.3 Turbina o sensor de flujo

En este tipo de instrumento, el fluido entra en el medidor y hace girar un rotor a una velocidad que es proporcional a la del fluido, y por tanto al caudal instantáneo. La velocidad de giro del rotor se mide por conexión mecánica, un sensor registra el número de vueltas, o por pulsos electrónicos generados por cada giro, como se representa en la Figura 13. Cada uno de los elementos o vanos de la turbina tiene incorporado un dispositivo magnético, de tal forma que cuando circula el fluido y produce el movimiento de la turbina, este es captado magnéticamente por una bobina generando un pulso eléctrico. Esta señal eléctrica emite pulsos a una frecuencia proporcional a la razón de flujo volumétrico, estándar a la instrumentación electrónica con una señal de 4 a 20 mA. Dependiendo del sensor y transmisor del medidor, se generan medidas del flujo en determinados períodos de tiempo o una medida del flujo totalizado.

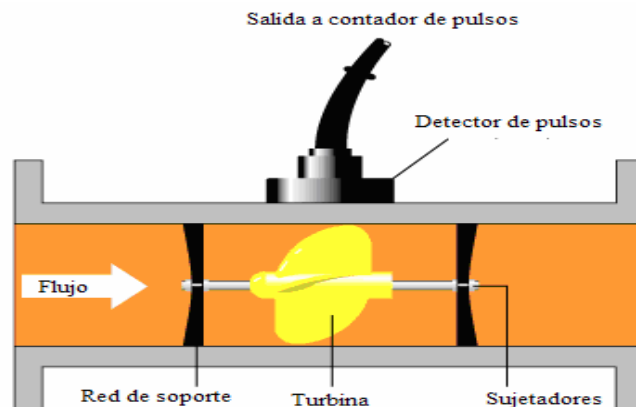


Figura 13. Sensor basado en la velocidad de flujo (Turbina).

Este tipo de instrumento tiene uno de los más altos índices de precisión, con una escala totalmente lineal y una relación de flujo máximo respecto de flujo mínimo de 15:1. Por contraparte es un instrumento más propenso al daño, causado por el flujo de líquido con partículas que originan el desgaste de su mecanismo o por el encuentro de agua a alta

velocidad que produce sobre flujo y daño en la turbina. Además es importante notar, que la turbina tiene limitaciones con respecto a la viscosidad, considerando que este tipo de fluidos se desplazan con mayor lentitud en las paredes de la tubería y por tanto las palas de la turbina no giran a la velocidad que se desea censar.

#### 2.5.4 Selección para sensor de flujo

La selección del sensor y transmisor de flujo debe basarse en las características estáticas y dinámicas que se adapten en el proceso, pero además se debe tomar en cuenta las variables que pueden alterar a la medición y cambiar el control del sistema.

Las mediciones que se han obtenido en el proceso de bombeo se ha obtenido como gasto máximo 0.182 lps, indican la utilización de agua con un caudal promedio de 10.92 lpm, que fluctúan en valores mínimos de acuerdo a las condiciones del proceso. Considerando que el transporte del fluido se lo realiza mediante tubería galvanizada de diámetro igual 1-1/2 pulgadas se obtiene que:

A continuación se presenta en la tabla 1, los sensores de flujo revisados, con sus parámetros y características de funcionamiento.

Tabla 1. Comparación de los parámetros y características de los sensores de flujo

Elemento	Tipo de fluido	Pérdida de presión	Ajuste en rango del flujo	Precisión	Efecto de viscosidad	Costo	Tipo de Lectura
<b>Orificio concéntrico</b>	Líquido	50 –90 %	3 a 1	±0.75%	Alto	Bajo	Raíz cuadrada
<b>Orificio excéntrico</b>	Líquido con gas	60–10%	3 a 1	±2.5%	Alto	Bajo	Raíz cuadrada
<b>Orificio de segmento</b>	Líquido con sólidos	60–1%	3 a 1	±2%	Alto	Bajo	Raíz cuadrada
<b>Tubo Venturi</b>	Líquido	10 – 20%	3 a 1	±1%	Muy alto	Muy alto	Raíz cuadrada
<b>Tubo Pitot</b>	Líquido	Ninguna	3 a 1	±1%	Bajo	Bajo	Raíz cuadrada
<b>Medidor de Turbina</b>	Líquido puros	0 – 7 psi	14 a 1	±0.5%	Alto	Alto	Lineal
<b>Medidor magnético de flujo</b>	Líquido con sólidos	Ninguna	3 a 1	±1%	Ninguno	Alto	Lineal

<b>Medidor de vértice</b>	Líquidos y gases	0 – 5 WF	30 a 100	±0.5%	Mínimo Nro. de Reynolds 10000	Alto	Lineal
<b>Medidor Ultrasónico</b>	Líquidos	Ninguna	--	--	Ninguno	Alto	Lineal
<b>Medidor térmico</b>	Líquidos y gases	5 - 10%	Ajustable	±1%	Bajo	Alto	Lineal

Para el caso específico este diseño, que representa un modelo de bobeeo, se recomienda utilizar un sensor de flujometro, con una turbina ajustando a la tubería que manda una señal Figura 14. Este sensor cumple con el dimensionamiento propuesto para mediciones cuya velocidad de flujo varía entre 19 a 190 lpm en agua, con una temperatura de trabajo entre -100 a 177°C y para una presión máxima de 500 psi. Las consideraciones restantes de funcionamiento y datos específicos están definidas en las hojas técnicas correspondientes a la descripción del sensor de flujo CONAIMEX DXMM1 1/2. [4]



Figura 14. Medidor de Turbina.

## 2.6 Sensores e Interruptores de Nivel

Los sensores de nivel permiten conocer la altura de un líquido con respecto a una base referencial hasta la superficie o un límite determinado, es aplicado tanto en grandes cantidades de agua tales como ríos, lagos, mares, así como para menores cantidades de líquido como tanques, pozos, etc. Por otra parte, los interruptores de nivel son un sistema sencillo y seguro para controlar el nivel de líquidos, agua potable y en diversidad de aplicaciones generales tanto para llenado, como el vaciado de depósitos dentro de los

procesos. Estos instrumentos basan su funcionamiento en principios mecánicos, que con el complemento de la instrumentación electrónica se obtiene mayor eficiencia en la medición del nivel, obteniendo lecturas precisas y por ende el mejoramiento de la calidad del proceso.

Los beneficios básicos que proporciona la instalación de un sistema de medición de nivel preciso y fiable son los siguientes:

- **Mejoramiento en la calidad del producto.** La utilización de nuevas tecnologías, combinadas con los avances en el sector electrónico, proporciona medidas de mayor fiabilidad y precisión, dando lugar a mejoras en la calidad del producto.
- **Reducción en los costes de operación y mantenimiento.** El uso de nuevas tecnologías de comunicación digital facilita las tareas de configuración, detección de problemas y posibilidades de autodiagnóstico, reduciendo notablemente los costes de operación y mantenimiento.
- **Cumplimiento de Normativas medioambientales y de calidad.** La mejora en las técnicas de fabricación y la sensibilización con las normativas medioambientales y de calidad de los suministradores de instrumentación y del sector industrial en general, facilitan al usuario el cumplimiento de normativas reguladoras (ISO, FDA, OSHA).

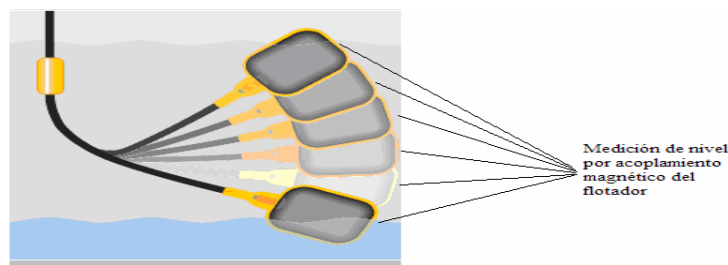
### 2.6.1 Tipos instrumentos de nivel por medición directa

**Instrumentos de Flotador.** La medición directamente el nivel, donde dicha conexión puede ser directo, magnético o hidráulico.

**Flotador de Conexión Directa.** Este modelo de flotador es generalmente, una pieza metálica hueca de forma circular, con alambres de guía que van de la parte superior a la inferior del tanque, para limitar su movimiento. Además, el tanque no puede estar sometido a presión y es esencial que el flotador se mantenga limpio para mantener la precisión en la medida.

**Flotador acoplado magnéticamente.** Se ha desarrollado una gran variedad de medidores de nivel activados con flotador, que transmiten el movimiento de éste por medio de un acoplamiento magnético, Figura 15. Este instrumento de medición de nivel

consta de un flotador que se desliza exteriormente a lo largo de un tubo de guía sellado, situado verticalmente en el interior del tanque. Dentro del tubo, una pieza magnética o imán, suspendida por medio de una cinta o cable, sigue al flotador en su movimiento y mediante el cable arrastra el índice de un instrumento situado en la parte superior del tanque. Los transmisores electrónicos consisten en su forma más sencilla, en una barra rígida apoyada en un punto sobre la cual actúan dos fuerzas en equilibrio, la fuerza ejercida por el elemento de medición y la fuerza electromagnética de una unidad magnética.



*Figura 15. Instrumentos de medición directa de nivel (Flotador).*

### **2.6.2 Selección para sensor de nivel.**

Además de las diferentes variables requeridas para la medición de nivel, tales como masa, volumen, densidad, temperatura, viscosidad, existen otra serie de parámetros que deben ser tenerse en cuenta para la selección del medidor adecuado, como se indican a continuación. En la Tabla 2, se presenta los parámetros y características de los instrumento de medición de nivel analizados. Las variaciones en las condiciones de proceso así como las condiciones ambientales.

El éxito en la medición de nivel, en la mayoría de los casos reside en la elección de la tecnología más adecuada para la aplicación. Cada tecnología tiene características y prestaciones que deben ser tomadas en cuenta antes de realizar la selección. Los dos parámetros que tienen mayor influencia en la selección de la tecnología para la medición de nivel son la presión y temperatura, pero existen otros factores a tener en cuenta:

- Variable requerida en el proceso: El sistema de control y monitoreo de nivel, para un control óptimo del líquido para el proceso de bombeo, tanto en la medición de

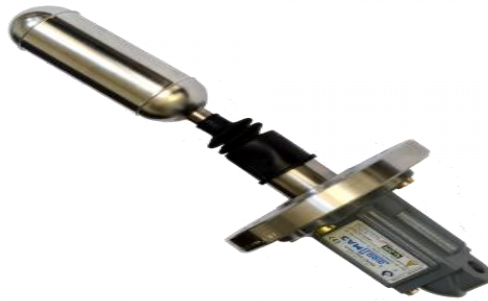
nivel de agua en los tanques de acumulación, antes de ser enviados por los ductos, de tal manera que se garantice el control sobre los elementos actuadores del sistema.

- Precisión en la medida: La diversidad de instrumentos en el mercado, brindan una amplia gama de variación en los dispositivos de medición, con las cuales vamos a integrar a nuestro proceso. Específicamente, en lo correspondiente a la medición de nivel de los depósitos de agua, debemos considerar que la precisión en la medida no es tan crítica, de tal manera que se puede considerar un instrumento cuyo porcentaje de precisión sea moderado pero que cumpla con el resto de características requeridas.
- Características de los depósitos: son tanque de capacidad máxima de 30,000 litros, hechos de concreto y piedra de río del sitio.

Tabla 2. Comparación de los parámetros y características de los sensores de nivel.

Instrumento	Campo de medida	Precisión	Presión Máxima (bar)	Temp. Max. Del fluido(C)	Precio	Observación
Flotador	0-10 m	±1-2%	400	250	Bajo	Independiente de la naturaleza del liquido
Manómetro	altura del tanque	±1%	1	60	Bajo	Utilización en fluidos limpios
Burbujeo	altura del tanque	±1%	400	200	Bajo	mantenimiento y contaminación del liquido
Presión diferencial	0.3 m	±0.15 a 0.5%	150	200	Alto	Para interface con líquidos
Desplazamiento	0 - 25 m	±0.5%	100	170	Bajo	Expuesto a corrosión
Conductivo	Limitado	-	80	200	Bajo	aplicaciones en líquidos conductores
Capacitivo	0.6 m	±1%	80-250	200-400	Alto	Resistencia a la corrosión
Ultrasónico	0.3 m	±1%	400	200	Alto	Sensible a la densidad
Radiación	0-2.5 m	±0.5%	-	170	muy alto	Uso de fuente radiactiva

Para el caso del diseño se recomienda utilizar interruptores de nivel de montaje vertical adaptados para actuar sobre tres niveles en los distintos acumuladores del circuito Figura 16. Estos interruptores trabajan hasta una temperatura máxima de 100°C, presión máxima de 25 Bares y en diferentes tipos de líquidos debido a que su material de construcción está fabricado en acero inoxidable o hule especial. Estos datos son generales de los sensores verticales de este instrumento están descritos en las hojas técnicas correspondientes al interruptor de nivel PFGLP D3988. [9]



*Figura 16. Interruptor de nivel.*

## **2.7 Elementos finales de control**

Los elementos finales de control son los dispositivos encargados de transformar una señal de control en un flujo de masa o energía (variable manipulada), sirve como una retroalimentación de un lazo cerrado de control. Es esta variable manipulada la que incide en el proceso causando cambios de la variable controlada. Lo más común en procesos es que la manipulación sea un caudal. Para ajustar el flujo de fluidos en una línea existen primariamente dos mecanismos: (Figura 6)

- Modificar la energía entregada al fluido (bombas y ventiladores de velocidad variable).
- Modificar la resistencia al paso del fluido (válvulas, registros en ductos de gases).

### **2.7.1 Válvulas de control**

**Características.** La válvula de control es básicamente un orificio variable por efecto de un actuador. Constituye el elemento final de control en más del 90 % de las aplicaciones

industriales. Estos elementos utilizan una señal externa que puede ser neumática o eléctrica y posteriormente transformada en una de tipo mecánica que incide en el dispositivo de control de la válvula, como se muestra en la Figura 17. Estos elementos los podemos considerar constituidos por dos partes:

- **Actuador:** recibe la señal de controlador y la transforma en un desplazamiento (lineal o rotacional) merced a un cambio en la presión ejercida sobre el diafragma.
- **Cuerpo:** el diafragma está ligado a un vástago o eje que hace que la sección de pasaje del fluido cambie y con ésta el caudal.

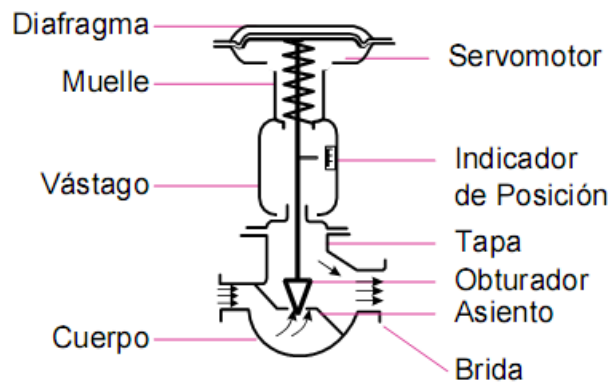


Figura 17. Partes de una válvula de control.

Con un diagrama en bloques, como se ilustra en la Figura 18, se puede representar a la válvula como un sistema en serie.



Figura 18. Representación en diagrama de bloques de una válvula de control.

Desde el punto de vista estático el actuador es moderadamente lineal y la dinámica más significativa es la de llenado del cabezal con una constante de tiempo del orden de los



segundos. El cuerpo carece de retardo y la ganancia viene determinada por la característica de flujo.

**2.8 Especificación de válvulas.** Especificar una válvula de control implica determinar las siguientes características:

- **Cuerpo e internos.** indicando el tipo, material y serie que se fija de acuerdo al servicio que debe prestar. También hay que indicar el diámetro que está relacionado con la capacidad y a esto se lo denomina dimensionamiento. Por último, algunos tipos de válvula permiten elegir la característica de flujo, como se analizó en el caso de los elementos de medición de flujo al calcular el número de Reynolds.
- **Actuador.** una vez conocidos los detalles del cuerpo se debe elegir el tipo de motor (neumático de cabezal o pistón, eléctrico, etc.), la acción ante falla y el tamaño.
- **Accesorios.** corresponde a elementos adicionales como transductores I/P o V/P, volante para accionamiento manual y posicionador.

**Funcionamiento.** Existen diversos tipos de cuerpos, que se adaptan a la aplicación según el diseño y movimiento del obturador, considerándose por estas características válvulas de movimiento lineal y de movimiento rotatorio.

### **2.8.1 Selección. Dimensionamiento de válvulas de control.**

Por dimensionamiento se entiende la determinación del tamaño de la válvula, que viene dado por su diámetro. Es evidente que hay razones económicas que hacen que esta tarea sea importante, por consiguiente hay que tratar que este dispositivo tenga el tamaño adecuado y por lo tanto el costo adecuado. Pero también hay razones técnicas, ya que válvulas sobre dimensionadas pueden llegar a tener un pobre desempeño cuando trabajan en un lazo de control.

La electroválvula que se recomienda es Válvula solenoide de uso general, 2 Vías - Acción Indirecta, normalmente cerrada Figura 19. La válvula es de uso general soporta hasta una presión de 16 bares, tiene una bobina estándar con un consumo de 8 Watts; los datos se pueden corroborar en la hoja de datos *Solenoid valve 2/2 way N.C.*

*With pilot control 21WN. [7]*



*Figura 19. Válvula solenoide de uso general.*

## **2.9 Selección del microcontrolador lógico programable para el sistema**

Las funciones del controlador para las que ha sido diseñado el Sistema de Control de Nivel y Flujo de líquido, deben cumplir con las siguientes características básicas:

- Detección y lectura de las señales que envían los sensores-transmisores.
- Desarrollo del funcionamiento del algoritmo de control.
- Conservación de un diálogo con los operarios, informando el estado del proceso y detectando fallas posibles en el sistema.
- Capacidad de ser reprogramado con un nuevo algoritmo de supervisión y control.
- Controlar tanto procesos continuos, como procesos discretos.
- A través de un bus de campo o interfaz de comunicación, deben recoger la información de procesos remotos.

Con estos criterios de funcionamiento, se encuentra en el mercado una gran gama de dispositivos que cumplen con las características especificadas. Podemos contar con soluciones basadas en diseños propios con microcontroladores y el acondicionamiento de sus periféricos.

Uno de los autómatas que se adapta a los parámetros planteados para el sistema es un Microcontrolador Lógico Programable de la familia ATMEL con la plataforma Arduino, son chip sencillos basada en el Atmega328.

## 2.10 Factores Cuantitativos.

El lenguaje de programación de Arduino es el “wiring”, este lenguaje está basado en el lenguaje “processing”. Processing es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de Código abierto basado en Java, de fácil utilización, y que sirve como medio para la enseñanza y producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital.

Todas estas herramientas organizan en un microcontrolador en librerías fáciles de usar. Arduino, además de simplificar el proceso de trabajar con microcontroladores, ofrece algunas ventajas respecto a otros sistemas:

- **Accesibles** –La placas Arduino son más accesibles comparadas con otras plataformas de microcontroladores.
- **Multi-plataforma** – El software de Arduino funciona en los sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux.
- **Entorno de programación simple y directo**– El entorno de programación de Arduino IDE es fácil de usar.
- **Software aplicable y de código abierto**- El software de Arduino se publica bajo una licencia libre.
- **Hardware ampliable y de código abierto**- Arduino está basado en los microcontroladores ATMEGA168, ATMEGA328, ATMEGA1280.

Tabla 3. Características principales de Arduino uno.

<b>Microcontrolador</b>	<b>AT mega 328</b>
Operación de voltaje	5 V
voltaje de entrada (pines)	7-12 V
voltaje de entrada (limites )	6-20 V
pines digitales I/O	14(de los cuales 6 proporcionan PWM)
pines de entrada analógica	6
corriente continua para las E/S pin	40 mA
Corriente de la C.C. para Pin	50 mA
Memoria Flash	32kB (ATmega328) de los cuales 0,5KB utilizados por el gestor de arranque
SARM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1KB (ATmega328)
Velocidad del reloj	16 MHz
Comunicación	RX, TX, USB, SPI.

En la siguiente Figura 20, se muestra más a detalle los componentes que contiene Nuestro prototipo electrónico, pero para mayor información de las características se muestra en el apéndice B.

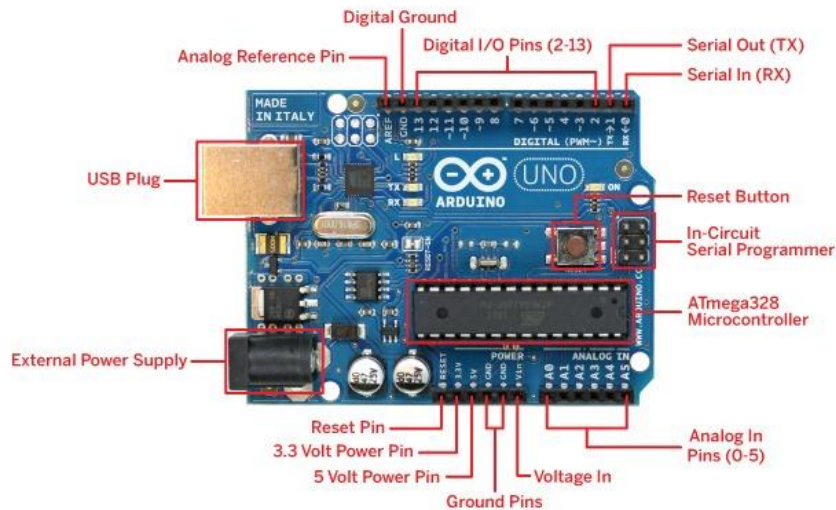


Figura 20. Descripción de componentes de la placa Arduino.

### 2.10.1 Serial Peripheral Interface (SPI)

Es un protocolo de datos en serie síncrono utilizado por los microcontroladores para comunicarse con uno o más dispositivos periféricos de manera rápida y en distancias cortas. También se puede utilizar para la comunicación entre dos microcontroladores.

Con una conexión SPI siempre hay un dispositivo maestro (por lo general un microcontrolador), que controla los dispositivos periféricos. Normalmente hay tres líneas comunes a todos los dispositivos:

- **MISO** (Master En Slave Out) - La línea de esclavo para el envío de datos al maestro.
- **MOSI** (Master Sale Slave In) - La línea de Maestro para el envío de datos a los periféricos.
- **SCK** (Serial Clock) - Los impulsos de reloj que sincronizan la transmisión de datos generada por el maestro.

Hay y una línea específica para cada dispositivo: **SS** (Slave Select) - El pin de selección en cada dispositivo, que el maestro puede utilizar para activar y desactivar dispositivos específicos.

## 2.11 Módulo Tiny RTC I2C (DS1307)

El módulo DS1307 Reloj de Tiempo Real (RTC) es completamente montado y pre-programado con la hora, se puede reprogramar dependiendo de un programa de un módulo maestro, Figura 21. Su comunicación a través del protocolo I2C. Este módulo tiene como elementos principales: un reloj (DS1307), una memoria EEPROM (24C32AN), con una batería incluida de litio moneda celda (CR1225 41mAh) que se ejecutará el módulo durante un mínimo de 9 hasta 17 años típico sin alimentación externa de 5V. La pila de litio y la memoria EEPROM del módulo almacena los datos; perfecto para el registro de datos, la creación de reloj, temporizadores y alarmas, etc.



Figura 21. Tiny RTC.

Especificaciones:

- Voltaje de funcionamiento: 5V.
- Interfaz de comunicación con protocolo I<sup>2</sup>C.
- Hora: Minutos: Segundos AM / PM.
- Día Mes, fecha – Año.
- Indemnización año bisiesto.
- Precisa calendario hasta el año 2100.
- Consume menos de 500 nA en Battery-Backup.
- Batería incluida.
- Pin salida (SCL) de 1 Hz.
- 56 Bytes de memoria no volátil disponible para el usuario.
- ofrece 32.768 bits (4 KB) de serie eléctricamente borrable y programable.

- Memoria de sólo lectura (EEPROM).
- Interfaz de sensor de temperatura DS18B20 Incrustar con la resistencia pull-up.
- Dimensiones: 28mm x 25mm x 8mm.

## 2.12 Fuentes de energía

La energía está a nuestro alrededor, se manifiesta en muchos fenómenos como la energía calorífica, mecánica, eléctrica, solar, etcétera. La energía solar y la eléctrica se detallaran más a fondo por la aplicación en los paneles solares.

Los recursos renovables ofrecen la oportunidad de obtener energía para diversas aplicaciones. El aprovechamiento tiene menores impactos ambientales respecto a las funestes convencionales. Además, contribuye a conservar los recursos energéticos no renovables y propicia el desarrollo regional.

La energía solar toma gran prioridad, gran parte del territorio de México registran altos niveles de insolación durante la mayor parte del año, equivalentes a 5 kWh/m<sup>2</sup>-día en promedio, lo que se traduce como alto potencial de aprovechamiento. [6]

La potencia de radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que amortiguan y la latitud. Las celdas o células solares son dispositivos que convierten energía solar a electricidad. La forma más común de las celdas solares se basa en efecto fotovoltaico, en la cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce diferencia de voltaje o de potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo para producir un trabajo útil.

La radiación solar que llega la superficie plana que se encuentra sobre la superficie plana se encuentra la superficie terrestre tiene variaciones, estas variaciones se deben básicamente a tres factores: [6]

- Factores astronómicos
- Factores atmosféricos
- Factores de orientación

### **2.12.1 Día solar**

El Día Solar (DS) represente el valor promedio de horas, del total de horas entre el amanecer y anochecer, durante el cual un sol “equivale” (con radiación constante de  $1\text{kW}/\text{m}^2$ ) es capaz de generar la misma cantidad de energía que el sol verdadero entrega, en promedio en esa localización, para esa época del año.

### **2.11.2 La hora solar**

El tiempo solar es una medida del tiempo fundamentada en el movimiento aparente del sol sobre el horizonte del lugar. Donde se toma como origen el instante en el cual el Sol pasa por el meridiano, que es el punto más alto del cielo, denominado medio día, el cual se le asigna el valor de 12. Sin embargo el sol no tiene movimiento regular a lo largo del año.

### **2.12.3 Radiación Solar Promedio para la república mexicana**

Con la finalidad de conocer la radiación por día en México en el instituto de Geofísicas de la UNAM se dio la tarea de realizar estudio para poder determinar un mapa de insolación promedio diaria mensual en la república mexicana, el estudio que involucra parámetros tales como latitud del lugar, longitud promedio del día, número de días lluviosos en el mes y humedad relativa promedio. [11]



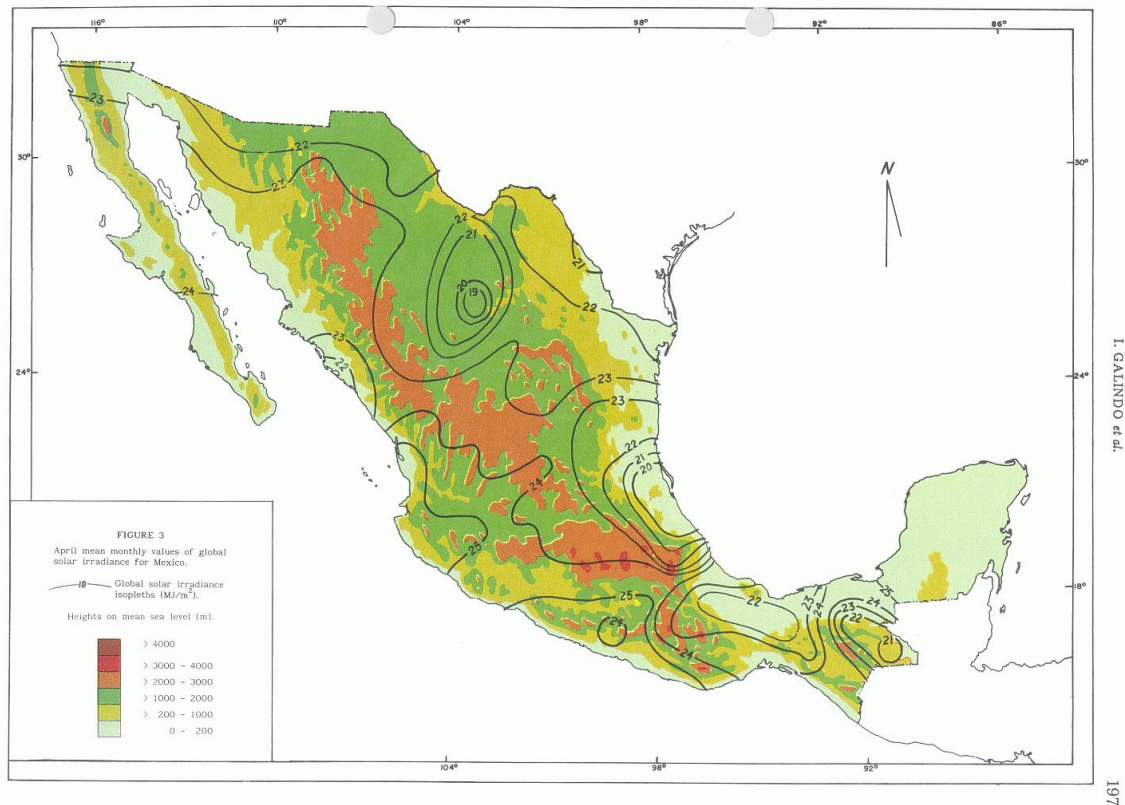


Figura 22. Mapa de radiación Solar de la república mexicana.

Del mapa se puede observar una radiación diaria promedio donde hay estados con buenas condiciones de radiación solar que están entre los 6 y 7 kWh/m<sup>2</sup>/día algunos con menor radiación como en Veracruz, Oaxaca y Nuevo León con valores de 4.0 y 5.0 kWh/m<sup>2</sup>/día . Sin embargo los valores más bajos del país están por encima de la radiación que pueden recibir algunos países Europeos.

### 2.13 Sistema solares fotovoltaicos

Los sistemas solares fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía de la radiación solar en electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente de silicio, el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (arena de los mares) cuando al Silicio se le agregan otros materiales de ciertas características, obtiene características eléctricas unidas en presencia de radiación solar [8].

### **2.13.1 Célula solar**

La energía solar fotovoltaica corresponde un sistema directo de conversión, ya que los fotones de la radiación solar interactúan de modo directo sobre los electrones del captador fotovoltaico para dar lugar foto eléctrico y de esta manera a la generación de corriente eléctrica de valor dependiente de la energía solar que incide sobre la superficie.

La célula solar está basada en el silicio el cual se extrae de la arena común ( $\text{SiO}_2$  dióxido de silicio).

### **2.13.2 Tipos de células solares**

Se puede considerar tres tipos de células disponibles para formar paneles fotovoltaicos comerciales son: [8]

- Silicio Monocristalino. Este modelo fue el primero de las células solares en 1954. Se recorre para su obtención método del crecimiento de los cristales denominados CZHRALSKY, lo que se consigue mediante el Silicio puro fundido al que se le agrega boro. Se distingue a los paneles que incorporan estas células por su color azul homogéneo.
- Silicio Policristalino. Las células están compuestas por compuestas por pequeños cristales elementales que presentan diferentes tonalidades del azul. Sus células tienen menor espesor, que las monocristalinas, pero el material semiconductor tiene menos pureza por lo tanto ofrece menos rendimiento.
- Silicio amorfo. Estas células es de capa delgada y de bajo costo, lo cual permite realizar módulos fotovoltaicos flexibles y presentan un color marrón homogéneo.

### **2.13.3 Características de los paneles fotovoltaicos**

Los paneles fotovoltaicos se definen por un conjunto de parámetros expresados en las condiciones denominadas TONC (temperatura de operación nominal de la célula) o en la SRC (condición de pruebas estándar), cuyos valores diferenciadores característicos se indican en la Tabla 4.

Tabla 4. Los datos expresados en SCR se consideran de ensayo y los datos en TONC son típicos de operación. [8]

Condiciones	TONC	SRC
Irradiación	$800 \frac{W}{m^2}$	$1000 \frac{W}{m^2}$
distribución espectral		AM 1.5
temperatura ambiente	20°C	25°C
velocidad del viento		$1 \frac{m}{s}$

A continuación se mencionan algunos de los parámetros eléctricos más importantes para los paneles fotovoltaicos. [7]

- **Potencia máxima ( $P_{max}$ ).** indica la potencia máxima obtenida o absorbida en las condiciones especificadas. Su valor corresponde a los parámetros de tensión (V) y corriente (I) máximos.
- **Tensión de potencia máxima ( $V_{mp}$ ).** Valores de la tensión cuando el panel está suministrando la máxima intensidad de corriente.
- **Intensidad de potencia máxima ( $I_{mp}$ ).** Corriente suministrada a la potencia máxima. Se considera este parámetro el representativo de la corriente nominal.
- **Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ).** Representa la máxima corriente que puede proporcionar el panel bajo condiciones de tensión cero.
- **Corriente de circuito abierto ( $V_{oc}$ ).** Especifica la tensión máxima que puede proporcionar el panel sin carga.
- **Coefficiente de temperatura de  $I_{sc}$ .** indica el porcentaje, de la alteración de este parámetro con la temperatura.
- **Coefficiente de la temperatura de  $V_{oc}$ .** Indica, en  $mV/°C$ , la alteración de la tensión en circuito abierto con la temperatura.
- **Coefficiente de la temperatura de la potencia.** Indica el signo y el valor de alteración de potencia con la temperatura.

Si bien se puede definir un determinado panel por los parámetros dados en las condiciones de operación TONC o de ensayo SRC, es de considerar es considerar la posible alteración de sus valores ante diferentes condiciones de irradiación, distribución espectral (AM) o temperatura ambiente, lo que es imprescindible para

aproximar los cálculos de dimensionamiento a las condiciones reales del lugar en los que se ubican los paneles fotovoltaicos. Tales parámetros son proporcionados por los diversos vendedores de este tipo de equipos.

## **2.14 Sistema SQFlex**

El sistema SQFlex es un sistema para suministro de agua, basado en energías renovables, como la energía solar y la eólica. El sistema SQFlex incorpora una bomba sumergible SQF.

Es muy flexible al suministro de energía y funcionamiento, por lo que puede combinarse y adaptarse a cualquier necesidad según las condiciones del lugar de instalación.

El sistema consta de los siguientes componentes:

1. Bomba sumergible SQF.
2. Unidad de control CU200 SQFlex.
3. Caja de conexiones IO 100 SQFlex.
4. Caja de conexiones IO 101 SQFlex.
5. Caja de control IO 102 SQFlex.
6. Control de carga.
7. Suministro de energía:
  - Paneles solares
  - Turbinas eólicas
  - Generador
  - Baterías

En este controlador y monitor de sistema se puede usar con arreglo solar como fuente de alimentación o en combinación con el módulo IO100 (para el respaldo de energía con generador) también con el IO102 (para aerogenerador). Estos componentes son compatibles para bombas Grundfos para su mejor rendimiento.

La unidad de control CU200 es una unidad combinada de estado, control y comunicación, desarrollo especialmente para el sistema SQFlex. Permite además conectar interruptores de nivel, donde puede tener aplicaciones de apagado.



Se puede arrancar, parar la bomba mediante el botón de on/off (pos. 1)

#### **2.14.1 El CU 200 ofrece: control del sistema:**

- Control del sistema
- Indicación de alarma.

Las siguientes indicaciones permiten controlar el funcionamiento de las bombas:

- Tanque lleno de agua (interruptor de nivel) (pos. 2)
- Bomba de funcionando (pos. 3)
- Potencia de entrada (pos. 11)

Además el modulo ofrece las siguientes indicaciones de alarma:

- Marcha en seco (pos. 10)
- Reparación necesaria (pos. 5) en el caso de :
  - Sin contacto con la bomba
  - Sobre voltaje
  - Sobre temperatura
  - Sobrecarga.

#### **2.15 Bombas Grundfos SQFlex**

Las Bombas Grundfos de rotor helicoidal para cargas hasta 200m. Cuentan con un inversor integrado muy versátil que permite trabajar con una amplia gama de voltajes, es un sistema versátil que puede operar con un aerogenerador si cuenta con suficiente corrientes de aire en el lugar, figura 24.



*Figura 24 . Bombas Grundfos.*

Características según la carga (carga hasta 200m):

- 30-300 VDC, o de 90-240 VAC de admisión monofásica.
- Motor de alta eficiencia de imán permanente.
- Protección contra sobrecalentamiento.
- Protección contra funcionamiento en seco.
- Seguimiento de Punto de Máxima Potencia para mejor operación de acuerdo a la corriente DC disponible.
- Comunicación en línea de potencia con el CU200 (optativo) para mostrar las condiciones de operación.
- Juegos de alambrado disponibles para configuraciones de 3 a 10 módulos.
- Protección contra sobrecargas.

Basados en los principios de bombeos originales, la bomba de rotor helicoidal usa pocos componentes para un bombeo efectivo en condiciones de carga alta y alto flujo. Tiene sistemas de bujes carbón/cerámica teniendo gran confiabilidad. Todas las bombas utilizan el mismo tipo de motor con una característica única integrada según la carga.

# CAPÍTULO 3.-Desarrollo experimental de la propuesta

## 3.1 Consideraciones de diseño

La automatización y control se lleva a cabo, una vez que todos los parámetros del proceso se han establecidos para cumplir con el alcance y los objetivos del proyecto. Uno de los aspectos del proyecto, es considerar las estrategias que convienen para un funcionamiento óptimo del sistema; englobando todas las variables que se involucren dentro del proceso, Tabla 5.

Tabla 5. Estrategias de los parámetros de automatización.

PARÁMETRO DE CONTROL	ESTRATEGIA
Activación del sistema de bombeo	Por medio del módulo con tiempo real para estar sincronizados con la hora. La hora también puede ser como referencia en que momento hay mayor radiación.
Niveles de agua	Monitorear los niveles de agua para que el tanque no sufra sobre flujo.
Flujo de agua	Cuantificar los litros deseados a bombear, por medio de un sensor de flujo, que mandara una señal eléctrica para conocer los litros.
Abrir válvulas de agua	Como elemento de control final la electroválvulas podrán manipular el agua drene automáticamente cuando el tanque este lleno.
Energía de alimentación	La alimentación con paneles solares para la obtención de energía eléctrica es eficiente por la alta radiación solar en México, además la ubicación del proyecto es en una zona marginal.



El caudal del fluido, está relacionado directamente con la variable a controlar. El fluido se transporta desde la vertiente natural del sector, mediante el uso de la bomba Grundfos de rotor helicoidal con potencia de 900 W de consumo, con una carga hasta 200 m. El líquido se transporta mediante una tubería de acero de  $(1\frac{1}{2}''\varnothing)$  para una presión máxima de  $1200\text{ lb/in}^2$ . Se manifiesta un caudal variable del líquido por la radiación solar, la temperatura del agua varía desde los  $14^{\circ}\text{C}$  hasta los  $28^{\circ}\text{C}$ , temperatura máxima alcanzada al pasar por la bomba centrífuga. Esta variable no altera el funcionamiento de la medición en el instrumento.

En la presión del fluido, es importante evitar la pérdida de carga causada por la obstrucción del instrumento de medición que se vaya a utilizar, de esta forma garantizamos el correcto funcionamiento del proceso, pero además evitamos el deterioro de la bomba centrífuga que se produciría por una presión excesiva en su mecanismo, causado por un medidor cuyo principio de funcionamiento este orientado a la obstrucción del líquido.

El diseño del sistema se divide en 4 subsistemas que se pueden ver en la Figura 25, está comprendido por cuatro etapas. La primera etapa corresponde al control de extracción líquido para ser enviado al primer *depósito A*. La segunda etapa corresponde al control de nivel del *depósito A* para enviar el líquido al *depósito B*, donde se activara las bombas rebasando el nivel máximo. El tercer *depósito C* también se controla por los niveles del depósito, rebasando el nivel máximo se abrirá las válvulas de control para que fluya por gravedad el agua hasta el *depósito C*.

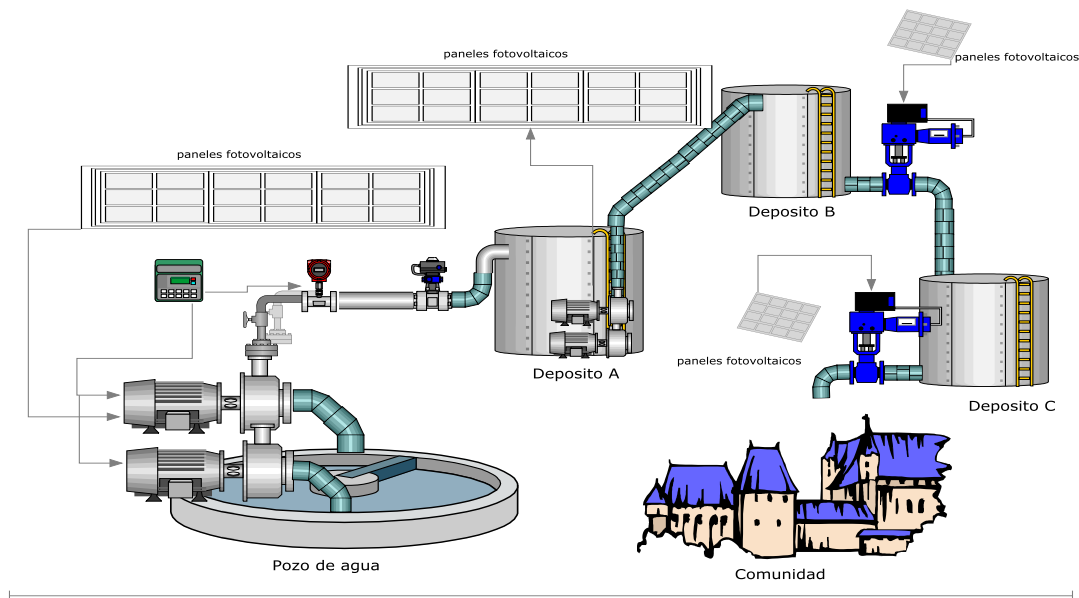


Figura 25. Diseño del sistema.

Para analizar el diseño de control se hace un diagrama de flujo para determinar el análisis del sistema, se divide en cuatro subsistemas; donde analizaremos cada etapa, para explicar la acción de control, Figura 26.

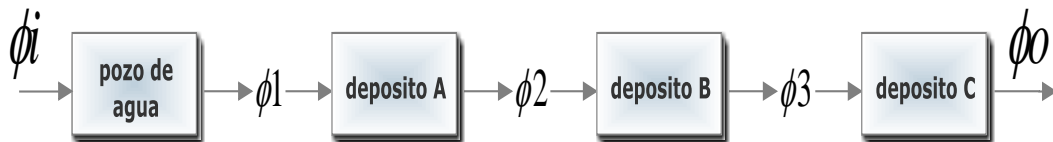


Figura 26. Sistema de control en serie.

### 3.2 Subsistema: Pozo de agua

La primera etapa es la activación para la extracción del agua por medio de dos bombas centrífugas verticales Grundfos ver Figura 27, el módulo SQFlex regular la energía suficiente para la alimentación que demandan las bombas, la energía obtenida de los paneles es suficiente, por el alto nivel de radiación solar de la región.

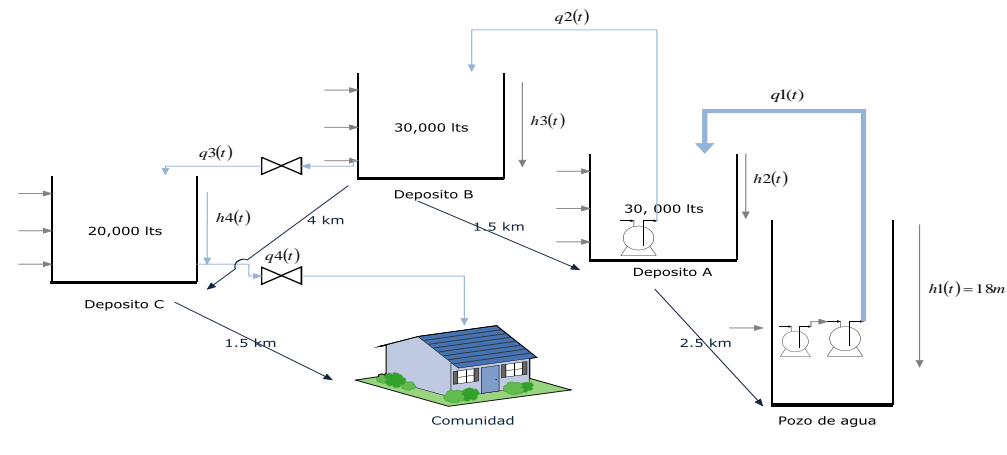


Figura 27. Sistema de bombeo.

El pozo de agua tiene la suficiente capacidad de para mantener encendida durante días, sin sufrir de escases de agua todo el año. En los datos obtenidos de un estudio de CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), que garantiza el uso; como agua potable para uso de la comunidad.

Como se muestra en la Figura 28, se encuentra cerca de un río, protegido por una cerca para su protección, con una caseta para la protección del agua para los módulos electrónicos.



Figura 28. Pozo del agua con los paneles solares.

El primer nivel es el control fundamental de todo el sistema, la activación depende del tiempo; por los niveles más altos de radiación al día. El módulo *tiny RTC* nos garantiza la hora como una señal que se enviara al microcontrolador del Arduino,

para mandar una señal de activación de las bombas. La señal de retroalimentación será un sensor que cuente los litros, para lograr la desactivación.

La variable a controlar es el flujo de agua como se muestra en la Figura 29, para visualizar el problema para un mejor manejo de las variables de control, se realiza un sistema de control.

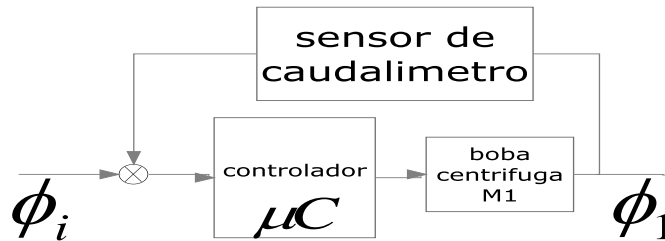


Figura 29. Sistema de control del pozo de agua.

El módulo para visualizar y manipular el menú, en nuestro sistema, se propone *lcd shield keypad*, así el usuario manipulara las variables como el: día, hora, y litros de agua. Estas variables serán guardadas en la EEPROM del microcontrolador, para poder ser cambiadas cada vez que el usuario lo necesite.

El prototipo que se muestra en la Figura 30, en el módulo *lcd shield keypad* se observara las variables de control. La variable a controlar son los litros, para conocer cuánta agua se ha enviado; se simula por medio de un motor, que mueve una pequeña turbina; que tiene un pequeño imán, gira a causa de la turbina donde el sensor de efecto hall lee la velocidad de la turbina, para determinar el gasto por medio de la Ecuación 10.

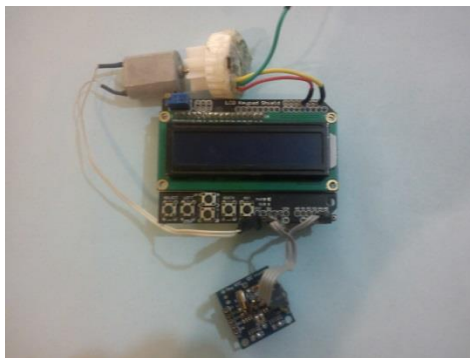


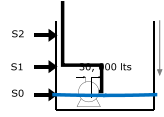
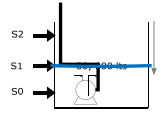
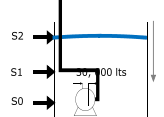
Figura 30. Prototipo de control para el pozo de agua.

### 3.3 Subsistema: deposito A

El control del segundo subsistema es del *depósito A*, donde el control de encendido y apagado de la bomba, es por medio de sensores de nivel dentro del depósito. Tendrá tres niveles, en la Tabla 6 se muestra sus estados con todas sus posibles combinaciones, con las acciones que debe tomar para un control ON/OFF.

Hay combinaciones que sucederán, cuando los sensores fallen, mandando una señal de error para dar mantenimiento a los sensores de nivel.

Tabla 6. Estados de los sensores de nivel para el deposito A.

Estado motor	S0	S1	S2	Nota	Niveles
Apagado	0	0	0	Si estuviera vacío	Led verde
Activar	0	0	1	Seria error de las señales	Error en los sensores, led rojo
Apagado	0	1	0	Mandar señal problemas de nivel	Error en los sensores, led rojo
Activar	0	1	1	Sería error pero puede suceder	Error en los sensores, led rojo
Apagar	1	0	0	Está en nivel bajo donde el agua ya no debe enviarse	
Activar	1	0	1	Mandar señal problemas de nivel	Error en los sensores, led rojo
Apagar	1	1	0	Está en un nivel del agua como mínimo para evitar fracturas	
Activar	1	1	1	Máximo nivel	

Como se ve en la Figura 31, se enviara agua dependiendo del nivel que se encuentre el depósito logrando un control en cascada.

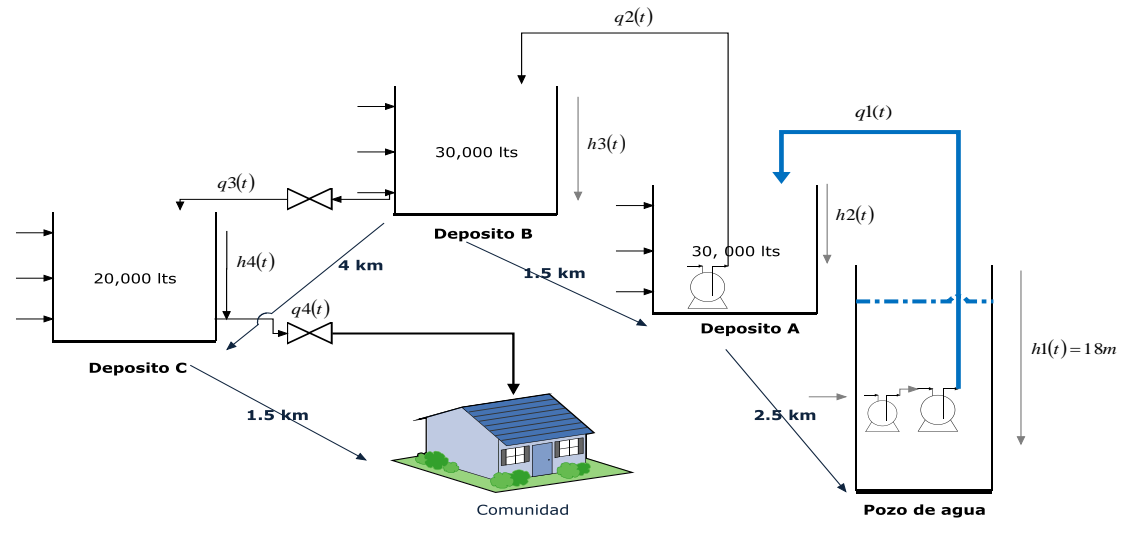


Figura 31. Subsistemas de A-B.

Cuando existe un flujo de entrada, la respuesta de los estados de los sensores de nivel como se muestra en la Tabla 6, sera el resultado para activar el motor dando como resultado un flujo de salida. En la siguiente Figura 32, se muestra el sistema de control con una señal de retroalimentación haciendo el sistema automatico.

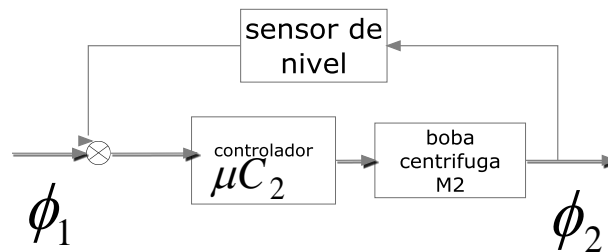


Figura 32. Diseño del sistema de control para el depósito A.

### 3.4 Subsistema: depósito B

En este subsistema también depende de los estados de los sensores de nivel para dar una acción de respuesta a la electroválvula, como se muestra en la Figura 33. La electroválvula, como resultado del control final.

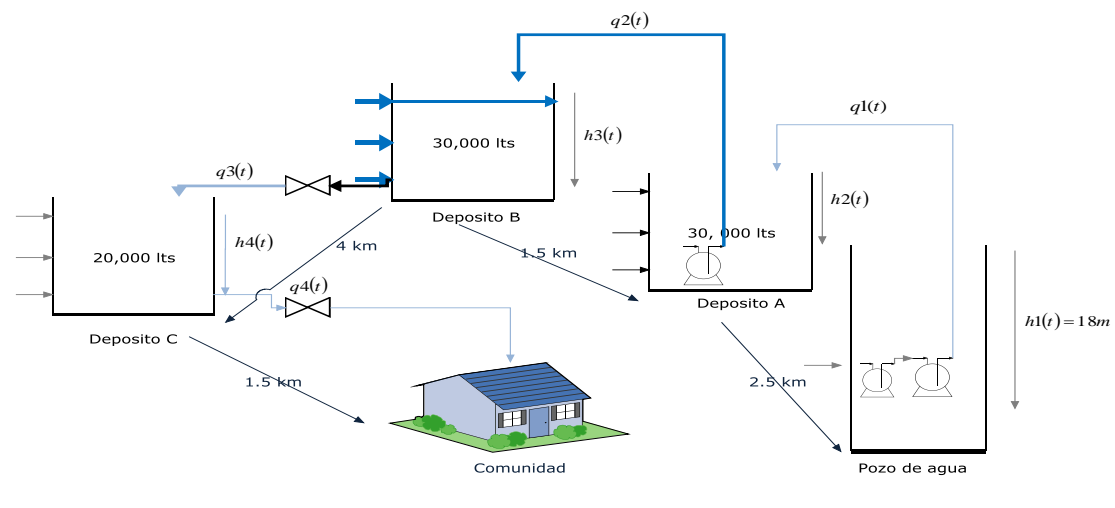
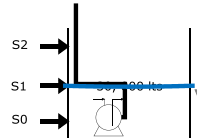
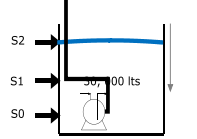


Figura 33. Subsistema: deposito B.

La retroalimentación son los sensores de nivel, quienes dependen de su estado para dar una respuesta, el resultado de cada estado y las acciones que toma, se muestra en la siguiente Tabla 7.

Tabla 7. Estados de la tabla de verdad de los sensores de nivel para el *deposito B*.

Estado electroválvula	S0	S1	S2	Nota	Niveles
Apagado	0	0	0	Si estuviera vacío	Led verde
Activar	0	0	1	Sería error de las señales	Error en los sensores, led rojo
Apagado	0	1	0	Mandar señal problemas de nivel	Error en los sensores, led rojo
Activar	0	1	1	Sería error pero puede suceder	Error en los sensores, led rojo
Apagar	1	0	0	Está en nivel bajo donde el agua ya no debe enviarse	
Activar	1	0	1	Mandar señal problemas de nivel	Error en los sensores, led rojo

Apagar	1	1	0	Está en un nivel del agua como mínimo para evitar fracturas	
Activar	1	1	1	Máximo nivel	

El sistema de control que se ocupó, se muestra a continuación en la Figura 34, para ver cómo se comportan las variables de entrada y salida, esto nos facilita ver su comportamiento de respuesta.

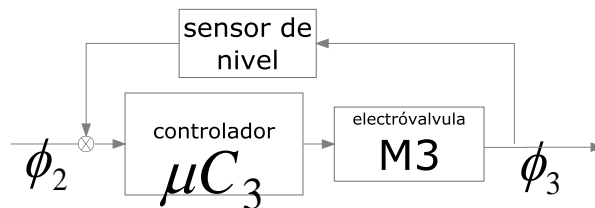


Figura 34. Sistema de control para subsistema depósito B.

### 3.5 Subsistema: depósito C

El depósito C, es la última fase del sistema, para que el pueblo tome la decisión que uso debe darle. El control es igual a los anteriores, pues ocupa la misma tabla de verdad y sucederán los mismos casos, figura 34.



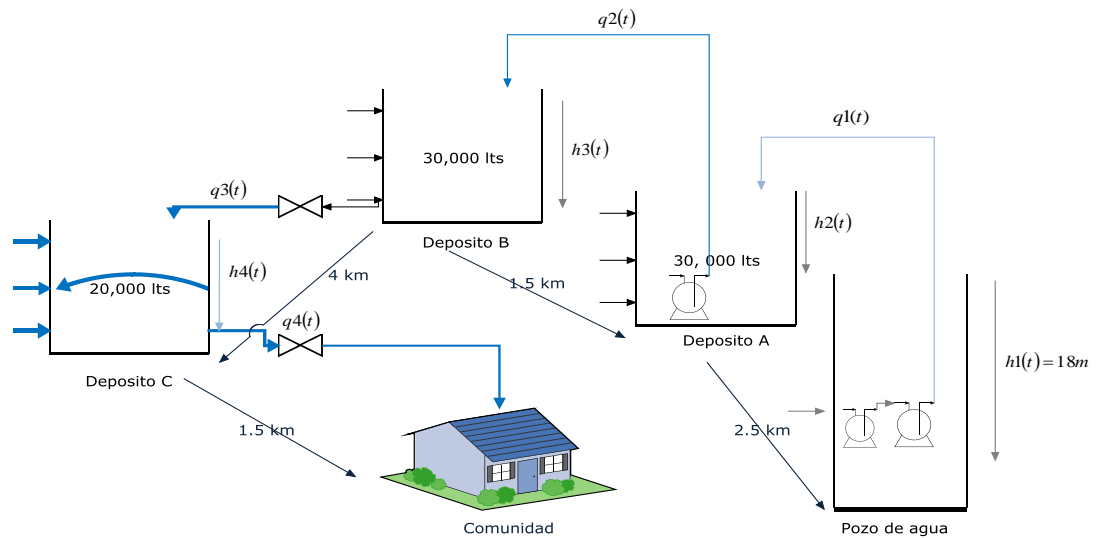


Figura 35. Subsistema: deposito C.

El sistema de control que se muestra en la Figura 36, el control de todos los depositos son iguales, se lleva un control en cascada. Solucionando un subsistema se solucionan todos los demas por el comportamiento similar.

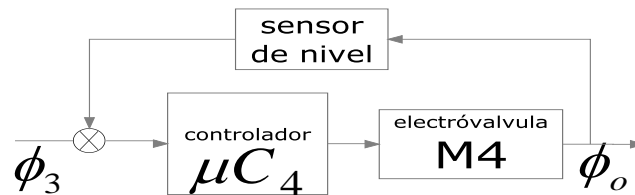


Figura 36. Sistema de control para el deposito C.

### 3.6 Diseño y solución del sistema

El diseño eléctrico para el control, de cada fase, depende de cada tarea que realiza, el programa se genera a partir de un algoritmo; demostrando que nuestro sistema es funcional.

#### 3.6.1 Diseño para el pozo de agua:

Como se explicado anteriormente el problema, el sistema del pozo es la parte principal para el control, como es un control tipo cascada, dependerá de la activación. El siguiente algoritmo se muestra en la Figura 37, muestra la solución; donde un

usuario manipula tiempo y gasto de agua, estos datos se guardan en una memoria interina del microcontrolador, donde cambiaran hasta que el usuario lo desee. El algoritmo es para ver errores del programa y facilitar la programación, mejorando la respuesta y diseño.

El programa se crea y compila en la plataforma de Arduino, este se encuentra en el apéndice A, donde está todo el código realizado. Se programa y se carga en microcontrolador para armar y comprobar su funcionamiento.

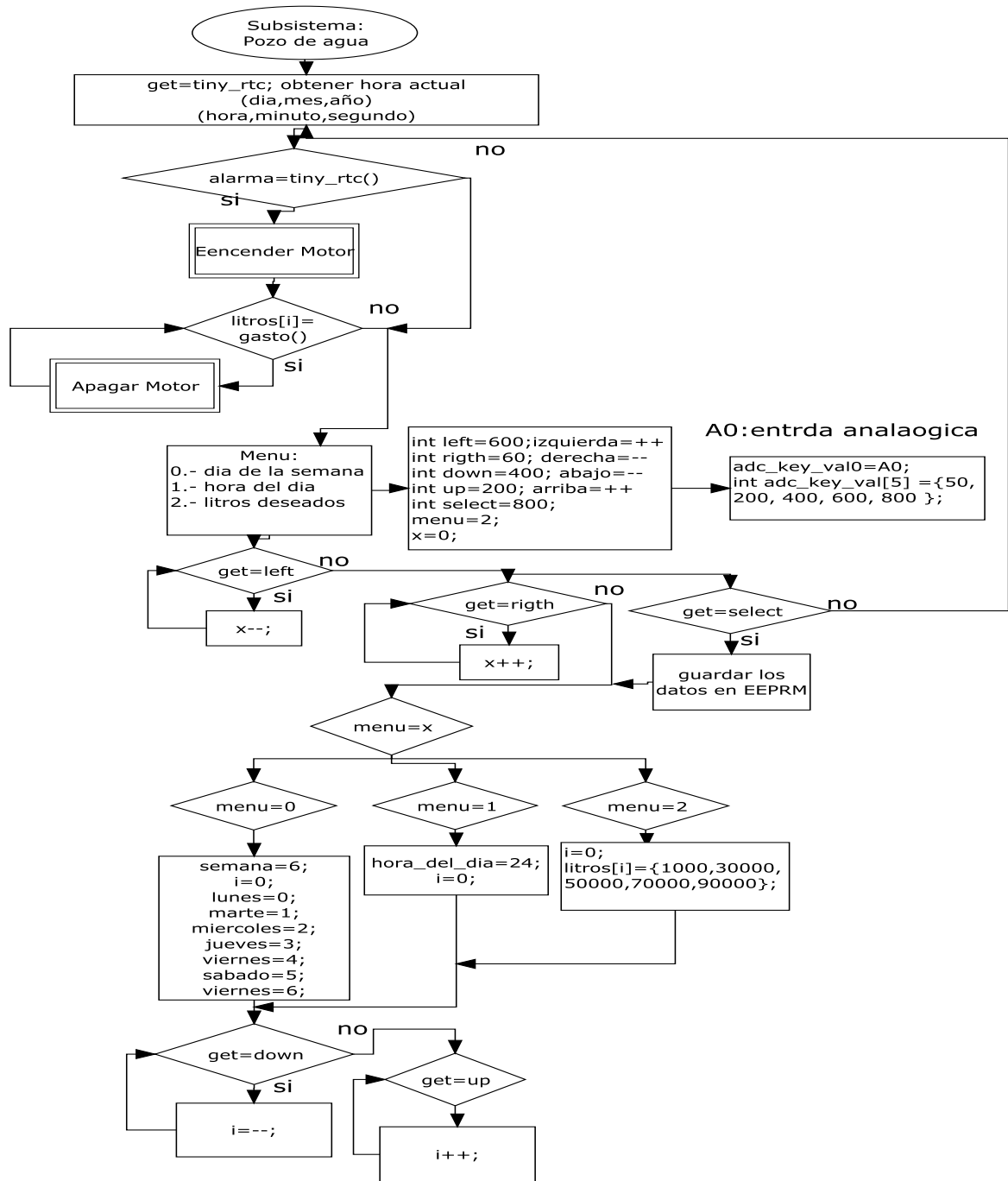


Figura 37. Algoritmo del subsistema pozo de agua.

El modulo *lcd keypad shield* se puede manipular facilmente, ademas tiene un facil ensamble con el Arduino. Solo ocupa una entrada analogica para el control de los botones, con los botones nos podemos deplazar en la pantalla; para una facil interpretacion del menu, logrando un facil interpretacion al usuario, Figura 38.

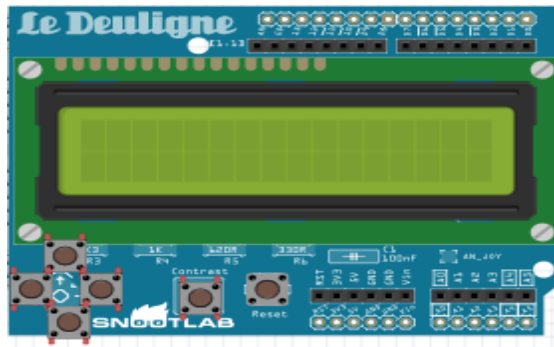


Figura 38. *lcd keypad shield.*

Es sensor de flujo, se diseñó con un sensor de efecto hall, este puede leer el campo magnético analógico o digital. Para comprobar un motor gira una hélice donde tiene pegado un imán permanente, este girara y el número de pulsos que cuente el sensor, es la velocidad con la que el agua fluye. Partiendo de la formula  $v=Q/A$ , el área de la tubería es constante, se necesita la velocidad para determinar el caudal. Su conexión es simple, se muestra en la Figura 39.

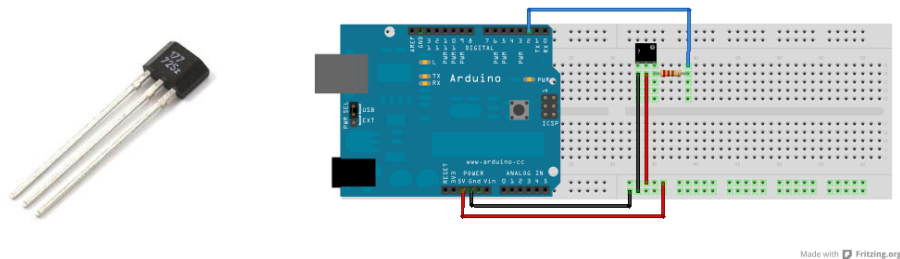


Figura 39. *Sensor de efecto hall.*

El módulo *tiny RTC*, tiene varias aplicaciones y la conexión depende del protocolo de comunicación que ocupamos. El protocolo que se ocupo es  $i^2c$  y se arma como se muestra en la Figura 40, también se muestra la integración de sensor de efecto hall y un motor que gira un imán permanente; el módulo *lcd keypad shield* se ensambla directamente por su diseño al Arduino.

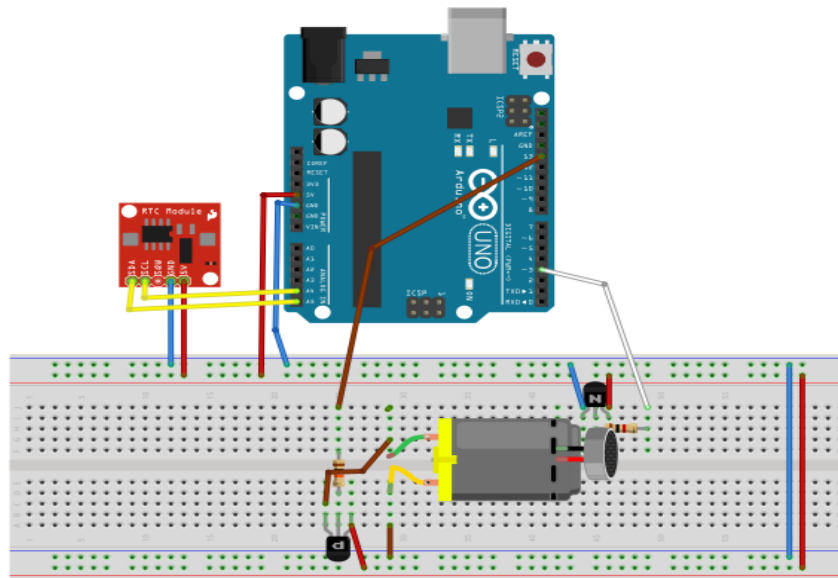


Figura 40. Ensamble de sensores Modulo tiny RTC y sensor efecto hall.

### 3.6.2 Para el diseño del depósito A:

En el *depósito A* tendrán 3 niveles, para comprobar lo simularemos por medio de *push button* y leds. Todas las combinación posibles que sucedieran, se muestra en la tabla 6, de ahí se generar el algoritmo, después el código para comprobar su comportamiento. En la siguiente Figura 41, se muestra la solución del problema por medio del algoritmo.

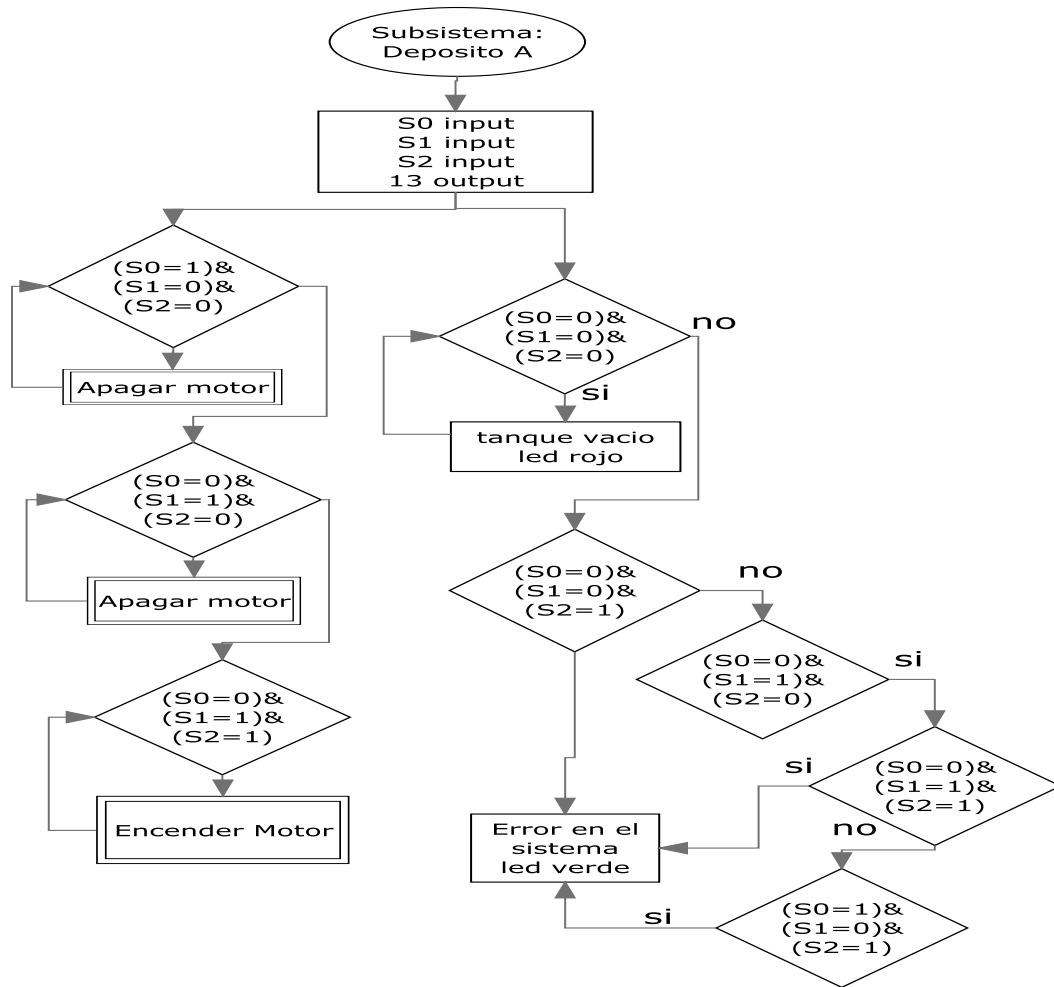


Figura 41. Algoritmo de control del depósito A.

Para la comprobación de nuestro algoritmo, se genera el programa que se encuentra en el apéndice A, se carga en el Arduino y se arma en una protoboard como se muestra en la Figura 42.

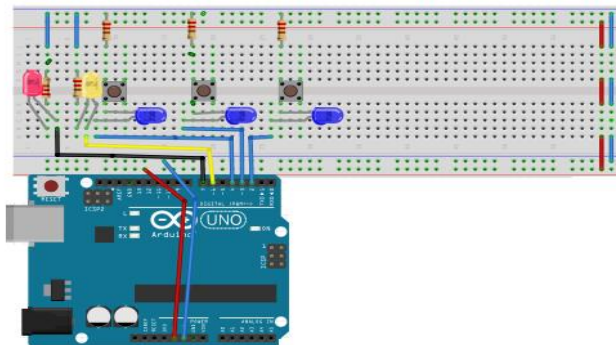


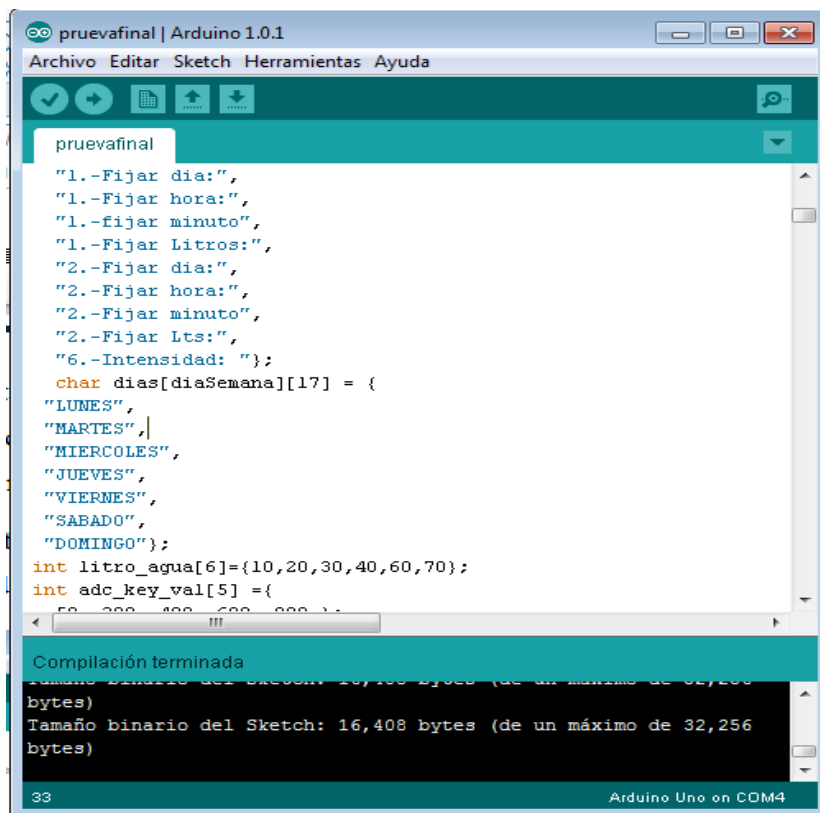
Figura 42. Ensamble de simulación.

La tarea de los otros depósitos son similares, solo cambia el elemento de control; dependiendo de su acción final, la solución del diagrama de flujo es igual. Como resultado se ocupa el mismo algoritmo para todos los subsistemas de los depósitos B y C.

# CAPÍTULO 4.-Pruebas y resultados

Los programas resueltos del apéndice A, es la solución en forma de código que se cargaran al microcontrolador. Estos programas ya están probados, se compilaron en el programa múltiples veces hasta llegar a la solución de los algoritmos que se muestran en la Figura 37 y Figura 41.

El software de Arduino transformará el programa a un lenguaje máquina, verifica si tiene errores, carga el programa por medio de una comunicación USB al microcontrolador, figura 42.



```
pruevafinal
"1.-Fijar dia:",
"1.-Fijar hora:",
"1.-fijar minuto",
"1.-Fijar Litros:",
"2.-Fijar dia:",
"2.-Fijar hora:",
"2.-Fijar minuto",
"2.-Fijar Lts:",
"6.-Intensidad: ";
char dias[diaSemana][17] = {
"LUNES",
"MARTES",
"MIERCOLES",
"JUEVES",
"VIERNES",
"SABADO",
"DOMINGO"};
int litro_agua[6]={10,20,30,40,60,70};
int adc_key_val[5]={
50, 200, 400, 600, 800 };
```

Compilación terminada  
Tamaño binario del Sketch: 16,408 bytes (de un máximo de 32,256 bytes)  
Tamaño binario del Sketch: 16,408 bytes (de un máximo de 32,256 bytes)

33 Arduino Uno on COM4

Figura 43. Plataforma Arduino.

Para cargar un programa al microcontrolador tenemos que verificar el puerto de comunicación que ocupa el Arduino, en el administrador de equipos; donde el puerto COMx puede cambiar cada que conectamos el USB a la computadora. En la Figura 44 se muestra un ejemplo de la comunicación donde se puede ver un caso particular, donde se encuentra nuestro dispositivo conectado.



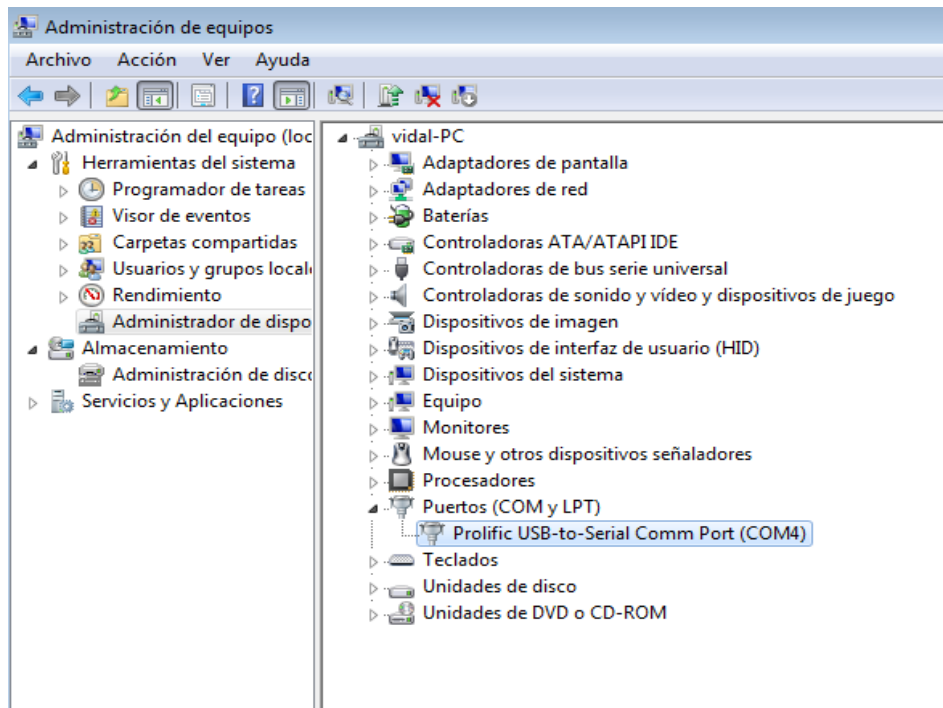


Figura 44. Administración puerto de comunicación serial.

Cuando conosemos la localizacion del puerto COM que ocupa el Arduino, en el entorno Arduino seleccionamos para verificar si esta en el puerto correcto, como se muestra en la Figura 45.

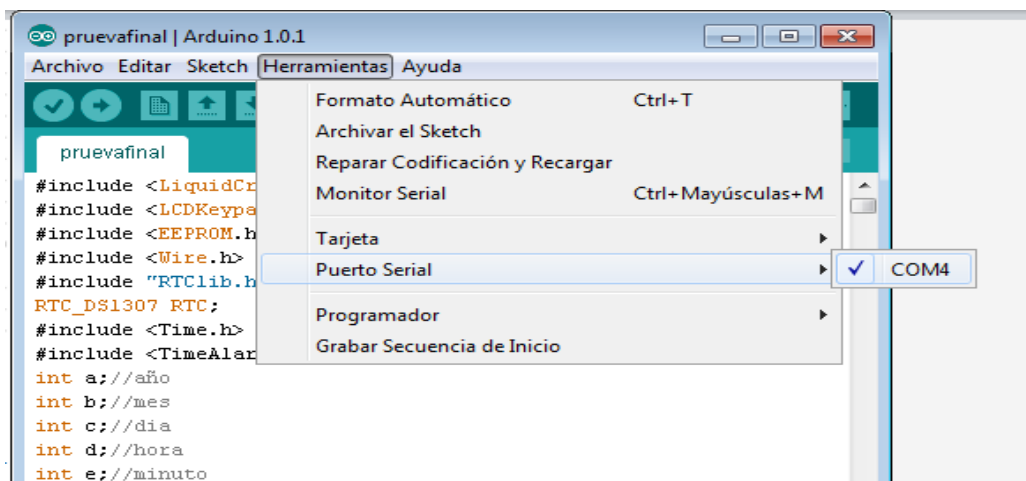


Figura 45. Selección del puerto COM en software de Arduino.

El programa para el control del pozo, se carga y se muestra a continuación como funciona la interfaz grafica del menu; para el Subsistema pozo de agua.

El *display lcd keypad* sirve para observar las acciones o movimientos en el menu. Se muestra la hora y fecha actual, hasta tener una interrupcion; que depende de los botones; si se preciona cualquier tecla. La siguiente Tabla 8, muestra los resultados del menu.

Tabla 8. Opciones del menú.

Alarma 1			Alarma 2					
día de la semana	hora del día	minuto	litro de agua	día de la semana	hora del día	minuto	litro de agua	Brillo del <i>display</i>
Lunes	9	0 al 59	10	lunes	9	0 al 59	10	0 al 100%
Martes	10		20	martes	10		20	
Miércoles	11		30	miércoles	11		30	
Jueves	12		40	jueves	12		40	
Viernes	13		50	viernes	13		50	
Sábado	14		60	sábado	14		60	
Domingo	15		70	domingo	15		70	
	16				16			
	17				17			

El display muestra una variable a la vez, nos movemos dentro como una matriz, los botones sirven para desplazarnos dentro de la matriz, Figura 46. El módulo *lcd keypad shield* tiene 5 botones los cuales se muestran en la tabla 9, el botón *select* se presiona hasta el final, cuando queremos guardar los datos que cambiamos. La tecla *reset* sirve para restablecer cuando se ha bloqueado por un error, necesitando que se reinicie para restablecer a su estado normal.

Tabla 9. Clasificación de los botones.

figura	Botón	Acción
	slect	Seleccionar
←	left	Izquierda
→	right	Derecha
↓	down	Abajo
↑	up	Arriba
	reset	Reinicio

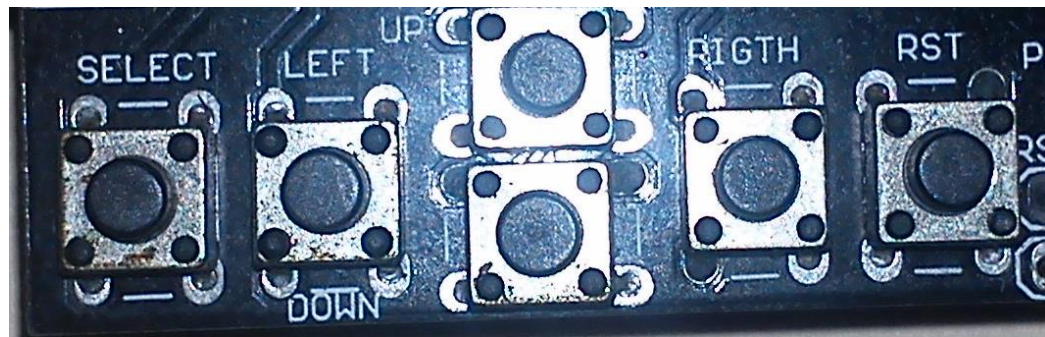


Figura 46. Botones del keypad lcd.

Mostraremos unas imágenes de las acciones que el display muestra cuando se ha presionado los botones para desplazarse dentro del menú.



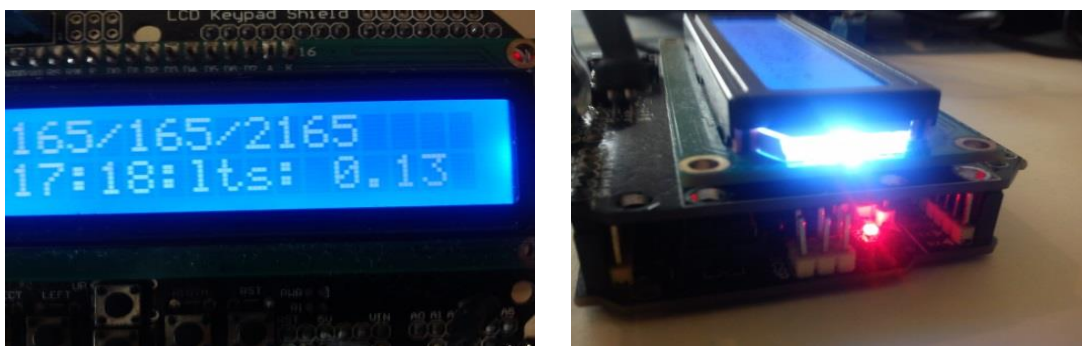
Figura 47. Diferentes estados del menú.

Simulamos una programación, de nuestro menú: el día de la semana, una hora de activación, con los litros de agua que se desea enviar. Son los elementos necesarios para una activación. En el menú siempre se muestra la hora, la fecha actual como default, esperando una señal de interrupción o una alarma programada.



*Figura 48. Prototipo de control.*

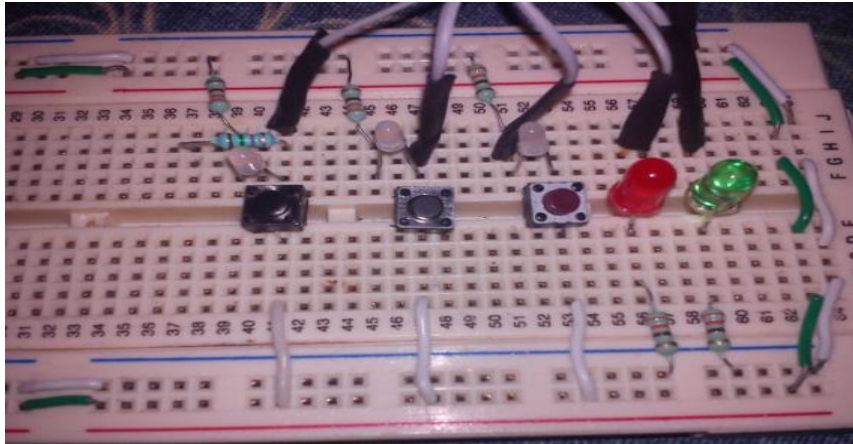
Cuando se programa el menú muestra: fecha actual, la configuración de 2 alarma. Cada alarma se configura: el día de la semana, la hora, el minuto, los litros. Cuando una alarma es activada, enciende un led que indica que encendió el motor. Cuando el motor gira el sensor de flujo leerá el caudal, este se mostrara por la pantalla como se ve en la Figura 49.



*Figura 49. Funcionamiento del control del prototipo.*

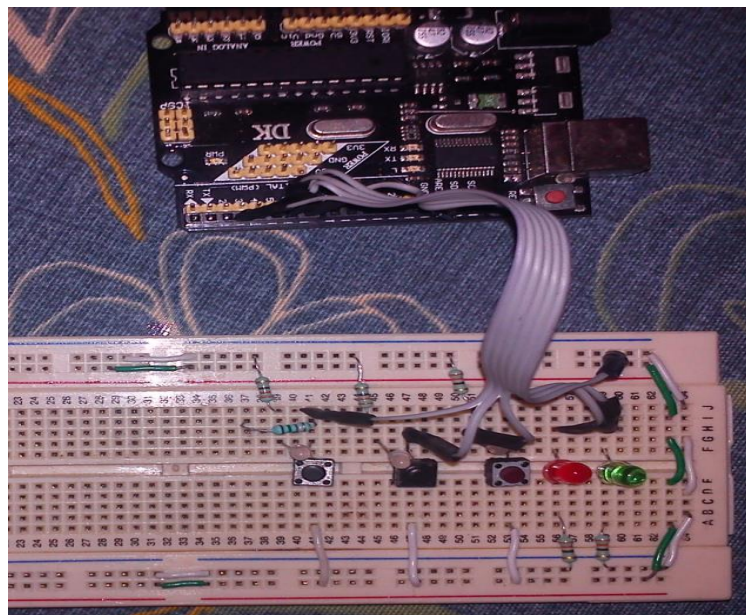
Cuando el flujómetro lea el movimiento del agua y compare los litros enviados de la alarma, hasta que sea igual o mayor, el led se apagará. Esperando la activación de otra alarma o la acción de una nueva configuración del menú.

El prototipo de los niveles de agua se simuló en una *protoboard*, se simulan por medio de *push button* Figura 50, por medio de los leds podremos observar la respuesta de salida, para ver si cumple con el algoritmo que es la solución de control en los subsistemas A, B y C.



*Figura 50. Simulación de los niveles con push button.*

En la siguiente Figura 51, se muestra los botones y la conexión con el Arduino, es una simulación para probar la teoría del algoritmo; garantiza el control del agua por un sistema en cascada.



*Figura 51. Ensamble de los botones con Arduino.*

## Conclusiones y trabajos futuros

El diseño propuesto es la solución que automatiza el abastecimiento de agua a la comunidad; se diseñan algoritmos para escoger los elementos de control, necesarios para su funcionamiento. Facilitando la tarea de control que ayuda al suministro a la comunidad, se creó un menú, que se visualiza en un display para una fácil interpretación gráfica de programar.

Generamos algoritmos para plantear una hipótesis de funcionamiento, el cual debe cumplir con la tarea de control automático. También se generan simulaciones electrónicas donde comprobamos su funcionamiento. Garantizando la fiabilidad del sistema necesita hacer pruebas exhaustivas, esto queda como un trabajo a futuro para la instalación del sistema en la comunidad.

Este trabajo solo es una propuesta, donde se creó un circuito eléctrico para simular su comportamiento y garantizar su aplicación. También se proponen comprar los instrumentos industriales, en el apéndice C la tabla 10 se encuentra la cotización que se necesita para poder aplicar la propuesta.

Esta propuesta tiene errores, como saber si no hay una fuga de agua o si el agua que se desea es la esperada. Pero el sistema es funcional para la comunidad ayudando considerablemente el uso de este sistema de bombeo. Como trabajo futuro se buscarán métodos de mantenimiento para que el sistema esté activo, ayudando el correcto funcionamiento.

La comunidad de Trinidad Huaxtepec se le comunicó en una reunión donde se dio a conocer el proyecto, de una manera se está agradecida por la propuesta y ayuda, aún no se han vistos los resultados, pero me dan el permiso para aplicar mi propuesta. Como un trabajo previo ya se mandó una cotización de cuánto costaría si se implementa, se recomiendan instrumentos industriales para garantizar el rendimiento.



# APÉNDICE A

## Programa del sistema de pozo de agua

```

#include <LiquidCrystal.h>                //libreiar lcd
#include <LCDKeypad.h>                    //libreria shieldkeypad
#include <EEPROM.h>                        //librerie para leer o escribir en la eeprom
#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"                        // Libreria del reloj DS1307
RTC_DS1307 RTC;
#include <Time.h>
#include <TimeAlarms.h>
int a;//año
int b;//mes
int c;//dia
int d;//hora
int e;//minuto
int f;//segundo
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
#define ThermistorPIN 1                    // Analog Pin 1
#define NUM_KEYS 5                         //número de botones de menu
LiquidCrystal lcd(8, 13, 9, 4, 5, 6, 7);
const int numeroDeMenus=9;
const int diaSemana=7;
char tituloMenu[numeroDeMenus][17] = {
  "1.-Fijar dia:",
  "1.-Fijar hora:",
  "1.-fijar minuto",
  "1.-Fijar Litros:",
  "2.-Fijar dia:",
  "2.-Fijar hora:",
  "2.-Fijar minuto",
  "2.-Fijar Lts:",
  "6.-Intensidad: "};
char dias[diaSemana][17] = {
  "LUNES",
  "MARTES",
  "MIERCOLES",
  "JUEVES",
  "VIERNES",
  "SABADO",
  "DOMINGO"};
int litro_agua[6]={10,20,30,40,60,70};

```

```

int adc_key_val[5] = {50, 200, 400, 600, 800 };
int adc_key_in;
int key=-1;
int oldkey=-1;
boolean luzEncendida=true;
boolean cursorActivo=false;
boolean enMenu=false;
unsigned long time;
int x=0;
int kris;
int signo=0;
char temp[10];
int lecturas[100];
byte numeroLectura=0;
byte consigna=1;
byte tiempo=1;
byte kp=1;
byte kd=1;
byte kdd=1;
byte ki=1;
byte ka=1;
byte kb=1;
byte kc=1;
byte intensidad=10;
byte k0=1;
int w=0;
int y=0;
int hj=0;
volatile int Contpulsos; //flujometro
float Q; //flujometro
int hallsensor = 2; //flujometro
float v; //flujometro
float Sv; //flujometro
int t = 1*1000; //flujometro

void setup()
{ cargarConfig();
  Wire.begin();
  RTC.begin();
  pinMode(10, OUTPUT);
  analogWrite(10,intensidad*25);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(hallsensor, INPUT); //initializes digital pin 2 as an input
  pinMode(4,OUTPUT);
  pinMode(3,OUTPUT);

```



```

attachInterrupt(0, rpm, RISING); //and the interrupt is attached
  lcd.clear();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("TRINIDAD HUAX.");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("SIST. DE BOMBEO");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  time = millis();
  if (! RTC.isrunning() ) {
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
  }
    digitalClockDisplay();
    hora_actual();
}

void loop()
{
  if (millis()-time > 20000) { // Si han pasado más de 20 segundos apagamos la luz
    digitalWrite(10, LOW);
    luzEncendida=false;
  }
  if (millis()-time > 7000) { // Si han pasado más de 7 segundos salimos del menu
    if (enMenu) guardarConfig();
    enMenu = false;
    x=0;
    time = millis();
    // #####reloj con la fecha y hora actual del tiny rtc, para que el
//usuario vea el tiempo#####
//
//#####
    digitalClockDisplay();
    hora_actual();
    if(consigna==0){ Alarm.alarmRepeat(tiempo,kd,0, MorningAlarm);
kris=0;}
    if(consigna==1){ Alarm.alarmRepeat(tiempo,kd,0, MorningAlarm);
kris=0;}
    if(consigna==2){ Alarm.alarmRepeat(tiempo,kd,0, MorningAlarm);
kris=0;}
    if(consigna==3){ Alarm.alarmRepeat(tiempo,kd,0, MorningAlarm);
kris=0;}
    if(consigna==4){ Alarm.alarmRepeat(tiempo,kd,0, MorningAlarm);
kris=0;}
    if(consigna==5){ Alarm.alarmRepeat(tiempo,kd,0, MorningAlarm);

```

```

kris=0;}
    if(consigna==6){ Alarm.alarmRepeat(tiempo,kd,0, MorningAlarm);
kris=0;}
    if(ki==7) { Alarm.alarmRepeat(ka,kb,0, MorningAlarm); kris=1;}
    if(ki==1) { Alarm.alarmRepeat(ka,kb,0, MorningAlarm); kris=1;}
    if(ki==0) { Alarm.alarmRepeat(ka,kb,0, MorningAlarm); kris=1;}
    Alarm.delay(1000);
}
if (millis()-time > 5000) { // Si han pasado más de 5 segundos apagamos el
cursor
    lcd.noBlink();
    cursorActivo=false;
}

adc_key_in = analogRead(0); // Leemos el valor de la pulsacion
key = get_key(adc_key_in); // Obtenemos el boton pulsado

if (key != oldkey) // if keypress is detected
{
    delay(50); // Espera para evitar los rebotes de las pulsaciones
    adc_key_in = analogRead(0); // Leemos el valor de la pulsacion
    key = get_key(adc_key_in); // Obtenemos el boton pulsado
    if (key != oldkey)
    {
        time = millis(); // TODO: falta la comprobacion de si se ha desbordado el
tiempo
        if (!luzEncendida) { // Al pulsar cualquier tecla encendemos la pantalla
            analogWrite(10,intensidad*25);
            luzEncendida=true;
        }
        else { // si la pantalla esta encendida seguimos funcionando normalmente
            oldkey = key;
            char accion = 0;

            if (key >=0){ // Si se ha pulsado cualquier tecla
                lcd.blink(); // Mostramos el cursor parpadeando
                cursorActivo=true;
            }
            if ((key == 0) && (enMenu)){ // Se ha pulsado la tecla derecha
                x++;
                if (x>numeroDeMenus-1) x=numeroDeMenus-1;
            }
            if ((key == 1) && (enMenu)) { // Se ha pulsado la tecla arriba
                accion++;
            }
            if ((key == 2) && (enMenu)) { // Se ha pulsado la tecla abajo

```

```

    accion = accion-1;
}
if ((key == 3) && (enMenu)) { // Se ha pulsado la tecla izquierda
    x--;
    if (x<0) x = 0;
}
if (key == 4){ // Se ha pulsado la tecla de seleccion
    w++;
    guardarConfig();
}
enMenu = true;
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(tituloMenu[x]);
lcd.setCursor(0,1);
switch (x) {
    case 0: // Estamos configurando los dias de la semana donde se pueden
configurar las la activacion de la bomba
        consigna += accion;
        if(consigna>6){consigna=0;}
        lcd.print(dias[consigna]);
        break;
    case 1: // hora del dia
        tiempo += accion;
        if(tiempo<0)tiempo=24;
        if(tiempo>24)tiempo=0;
        lcd.print(tiempo);
        lcd.print(" hrs.");
        break;
    case 2: // minutos
        kd += accion;
        lcd.print("min:");
        lcd.print(kd);
        if(kd>59) kd=0;
        if(kd<0) kd=59;
        break;
    case 3: // figar litros deseados
        kp += accion;
        if(kp>6){kp=0;}
        lcd.print(litro_agua[kp]);
        lcd.setCursor(8,1);
        lcd.print(kp);
        break;
    case 4: //2.-configurar la segunda alarma, el dia que se configura
Alarm.alarmRepeat(ki,ka,kb,0, MorningAlarm);
        ki += accion;

```

```

        if(ki>6){ki=0;}
        lcd.print(dias[ki]);
        break;
    case 5: // 2.-hora
        ka += accion;
        if(ka<0)ka=24;
        if(ka>24)ka=0;
        lcd.print(" hrs: ");
        lcd.print(ka);
        break;
    case 6: // 2.-minutos
        kb += accion;
        lcd.print("min: ");
        lcd.print(kb);
        if(kb>59) kb=0;
        if(kb<0) kb=59;
        break;
    case 7: // 2.-figar litros deseados
        kc+= accion;
        if(kc>6){kc=0;}
        lcd.print(litro_agua[kc]);
        lcd.setCursor(8,1);
        lcd.print(kc);
        break;
    case 8: // Estamos en Ki.
        intensidad += accion;
        if (intensidad > 254) intensidad = 0;
        if (intensidad > 10) intensidad = 10;
        lcd.print(intensidad);
        lcd.print("0%");
        analogWrite(10,intensidad*25);
        break;
    }
}
}
}
}
//configuracion del programa
delay(10);
if (millis() < time){    time = millis();}
}
int get_key(unsigned int input)
{
    int k;

    for (k = 0; k < NUM_KEYS; k++)
    {

```

```

    if (input < adc_key_val[k])
    {
        return k;
    }
}
if (k >= NUM_KEYS)k = -1; // Error en la lectura.
return k;
}
boolean cargarConfig(){
    if ((EEPROM.read(0) == 27) && (EEPROM.read(1) == 28) &&
        (EEPROM.read(2) == 13) && (EEPROM.read(3) == 18)) {
        // Comprobamos que la eeprom tenga una
        // configuracion valida con numeros concretos
        // solo cargamos el valor de la configuracion si los valores coinciden
        if (EEPROM.read(4) == EEPROM.read(5)) consigna = EEPROM.read(4);
        if (EEPROM.read(6) == EEPROM.read(7)) tiempo = EEPROM.read(6);
        if (EEPROM.read(8) == EEPROM.read(9)) kp = EEPROM.read(8);
        if (EEPROM.read(10) == EEPROM.read(11)) kd = EEPROM.read(10);
        if (EEPROM.read(12) == EEPROM.read(13)) ki = EEPROM.read(12);
        if (EEPROM.read(14) == EEPROM.read(15)) intensidad =
EEPROM.read(14);
        if (EEPROM.read(16) == EEPROM.read(17)) k0 = EEPROM.read(16);
        if (EEPROM.read(18) == EEPROM.read(19)) ka = EEPROM.read(18);
        if (EEPROM.read(20) == EEPROM.read(21)) kb = EEPROM.read(20);
        if (EEPROM.read(22) == EEPROM.read(23)) kc = EEPROM.read(22);
        if (EEPROM.read(24) == EEPROM.read(25)) kris = EEPROM.read(24);
        return true;
    }
    return false;
}

void guardarConfig(){
    EEPROM.write(0,27);
    EEPROM.write(1,28);
    EEPROM.write(2,13);
    EEPROM.write(3,18);
    // Ponemos nmeros concretos en el comienzo
    // de la EEPROM para confirmar que tiene valores correctos.
    EEPROM.write(4,consigna); //dias de la semana
    EEPROM.write(5,consigna);
    EEPROM.write(6,tiempo); //hora
    EEPROM.write(7,tiempo);
    EEPROM.write(8,kp); //minuto
    EEPROM.write(9,kp);
    EEPROM.write(10,kd); //litros
    EEPROM.write(11,kd);

```

```

EEPROM.write(12,ki); //dia de la semana
EEPROM.write(13,ki);
EEPROM.write(14,intensidad); //
EEPROM.write(15,intensidad); // almacenamos los valores 2 veces
EEPROM.write(16,k0);
EEPROM.write(17,k0);
EEPROM.write(18,ka);
EEPROM.write(19,ka);
EEPROM.write(20,kb);
EEPROM.write(21,kb);
EEPROM.write(22,kc);
EEPROM.write(23,kc);
EEPROM.write(24,kris);
EEPROM.write(25,kris);
}
void flujometro(){
  Contpulsos = 0; //Set NbTops to 0 ready for calculations
  sei(); //Enables interrupts
  delay (t); //Wait 1 second
  cli(); //Disable interrupts
  Q = (Contpulsos / (7.5*60)); //(Pulse frequency) / 7.5Q, = flow rate inL/segundo
  if (Q > 0)
  {
    v = (Q*t)/1000; // se divide en 1000 para pasar el tiempo de milisegundos a
segundos
    Sv = Sv+v;
    Serial.print (Sv, DEC); //Prints the number calculated above
    Serial.print (" litros\r\n"); //imprime volumen en litros (consumo de agua)
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print("lts:");
    lcd.setCursor(11,1);
    lcd.print(Sv);
  }
}
void rpm () //This is the function that the interrupt calls
{
  Contpulsos++; //This function measures the rising and falling edge of the hall
effect sensors signal
}

void enter(){ y=EEPROM.read(8);
  while (y!=0){
    digitalWrite(13,HIGH);
    flujometro();
    while(Sv>=(litro_agua[kp])){digitalWrite(13,LOW);
  }
}

```

```

    }
}
void enter0(){  y=EEPROM.read(22);
    while (y!=0){
        digitalWrite(13,HIGH);
        flujometro();
        while(Sv>=(litro_agua[kc])){digitalWrite(13,LOW);
        }
    }
}
void hora_actual(){
    DateTime now = RTC.now();          //hora actual
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(now.day(), DEC);
    lcd.print('/');
    lcd.print(now.month(), DEC);
    lcd.print('/');
    lcd.print(now.year(), DEC);
    a=now.year();
    b=now.month();
    c=now.day();
    d=now.hour();
    e=now.minute();
    f=now.second();
    e=now.minute();
    setTime(d,e,f,c,b,a);
}
void MorningAlarm(){
    if(kris=0){enter();}
    if(kris=1){enter0();}
}
void digitalClockDisplay()
{
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(hour());
    printDigits(minute());
    printDigits(second());
}

void printDigits(int digits)
{
    lcd.print(":");
    if(digits < 10)
        lcd.print('0');
}

```

```

    lcd.print(digits);
}

```

## Programa de los subsistemas A, B, C.

```

#include <EEPROM.h>
const int buttonPin0 = 2; //pin 2
const int buttonPin1 = 3; //pin 3
const int buttonPin2 = 4; //pin 4
const int ledPin = 13; //pin 13 MOTOR
int buttonState0 = 0; //estado del pin 2
int buttonState1 = 0; //estado del pin 3
int buttonState2 = 0; //estado del pin 4
byte x=0;
byte y=0;
byte z=0;
byte a=B00000111;
byte b=B00000011;
byte c=B00000001;
byte d=B00000000;
void setup() {
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    pinMode(buttonPin0, INPUT);
    pinMode(buttonPin1, INPUT);
    pinMode(buttonPin2, INPUT);
}

void loop(){
    buttonState0 = digitalRead(buttonPin0);
    buttonState1= digitalRead(buttonPin1);
    buttonState2= digitalRead(buttonPin2);
    ////////////////////////////////////////configuracion de estados del boton1
    if (buttonState0 == HIGH) {
        x=1;
    }
    else {
    }
    //////////////////////////////////////// configuracion de estados del boton2
    if (buttonState1 == HIGH) {
        byte y=1;
    }
    else {
        byte y=0;
    }
}

```



```

//////////////////////////////////////configuracion de estados del boton3
if (buttonState2 == HIGH) {
  byte z=1;
}
else {
byte z=0;
}
////////////////////////////////////// estado 1 1 1 >> HIHG
if(buttonState0 == HIGH&&buttonState1 == HIGH&&buttonState2 ==
HIGH){
digitalWrite(ledPin, HIGH);
EEPROM.write(a,0);
}
////////////////////////////////////// estado 1 1 0 >>> LOW
if(buttonState0 == HIGH&&buttonState1 == HIGH&&buttonState2 == LOW){
digitalWrite(ledPin, LOW);
EEPROM.write(a,0);
}
////////////////////////////////////// estado 1 0 0 >>> LOW
if(buttonState0 == HIGH&&buttonState1 == LOW&&buttonState2 == LOW){
digitalWrite(ledPin, LOW);
EEPROM.write(a,0);
}
////////////////////////////////////// estado 0 0 0 >>> LOW
if(buttonState0 == HIGH&&buttonState1 == HIGH&&buttonState2 == LOW){
digitalWrite(ledPin, LOW);
EEPROM.write(a,0);
}
////////////////////////////////////// estado 1 1 0 >>> LOW
if(buttonState0 == HIGH&&buttonState1 == HIGH&&buttonState2 == LOW){
digitalWrite(ledPin, LOW);
EEPROM.write(a,0);
}

}

```

# APÉNDICE B

## Atmega328

### Features

- High Performance, Low Power AVR<sup>®</sup> 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
  - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
  - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C<sup>(1)</sup>
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Six PWM Channels
  - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
    - Temperature Measurement
  - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
    - Temperature Measurement
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I<sup>2</sup>C compatible)
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 23 Programmable I/O Lines
  - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
  - 1.8 - 5.5V for ATmega48PA/88PA/168PA/328P
- Temperature Range:
  - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
  - 0 - 20 MHz @ 1.8 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48PA/88PA/168PA/328P:



**8-bit AVR<sup>®</sup>**  
**Microcontroller**  
**with 4/8/16/32K**  
**Bytes In-System**  
**Programmable**  
**Flash**

**ATmega48PA**  
**ATmega88PA**  
**ATmega168PA**  
**ATmega328P**

# APÉNDICE C

## Cotización

Tabla 10. Cotización de sistema, el precio está en Moneda Nacional Mexicano.

Concepto	Unidad	Costo unitario	Cantidad	Importe	IVA	Importe final
<i>Sensor de Nivel Horizontal Metal</i>	1	5265.96	6	31595.76	5055.3216	36651.0816
ARDUINO DUEMILANOVE CON ATMEGA328	1	363.79	4	1455.16	232.8256	1687.9856
ARDUINO ATMEGA328-MICROCONTROLLER-BOOTLOADER UNO	1	135.34	3	406.02	64.9632	470.9832
Módulo LCD (1602) azul I2C	1	222.41	2	444.82	71.1712	515.9912
Módulo Reloj en Tiempo Real	1	112.52	1	112.52	18.0032	130.5232
Valvulas de membrana con accionamiento electrico	1	2516.35	2	5032.7	805.232	5837.932
medidor flujo	1	4800	1	4800	768	5568
coneccion con roscado con sensor	1	1702.78	1	1702.78	272.4448	1975.2248
Panel solar, modulo fotovoltaico 50w	1	851.89	2	1703.78	272.6048	1976.3848
tubo de acero NPT 1 1/2"(20 cm)	1	80	2	160	25.6	185.6
<b>IVA = 16%</b>			<b>Total =</b>	<b>\$47,413.54</b>	<b>\$7,586.17</b>	<b>\$ 54,999.71</b>

# Bibliografía

- [1] K. Ogata, Ingeniería de Control Moderna, México: Prentice Hall Hispanoamericano, 1998.
- [2] G. Franklin, Powell y N. Emani, Control de Sistemas Dinámicos con Retroalimentación, México: Addison-Wesley Iberoamericana, 1991.
- [3] C. A. Smith y A. B. Corrimpio, Control automático de procesos: teoría y práctica, Limusa, 2000.
- [4] «CONAINMEX,» [En línea]. Available: <http://www.conainmex.com.mx/>. [Último acceso: 14 Abril 2014].
- [5] Ramón Pallás Areny, Sensor y acondicionadores de señal, Barcelona: MARCOMBO, S.A., 2003.
- [6] J. Tonda, El oro solar y otras fuentes de energía, Fondo de Cultura Económica, 1993.
- [7] «Dominion,» [En línea]. Available: <http://www.dominion.com.mx/>. [Último acceso: 15 abril 2014].
- [8] P. B. Tomas, Guía del Instalador de Energías Renovables: energías fotovoltaicas, energías térmicas, energías eólicas, climatización, Madrid: Creaciones Copyright, 2005.
- [9] A. A. T. d. Vanguardia, «alcatel,» SA de CV. Monterrey, [En línea]. Available: <http://www.altecdust.com/>. [Último acceso: 14 Abril 2014].
- [10] «Solartech Energía Renovable,» [En línea]. Available: <http://www.solartec.mx/productos.html>. [Último acceso: 14 Abril 2014].

[11] Universidad Nacional Autónoma de México, «Portal de revistas científicas y arbitrarias de la UNAM,» [En línea]. Available: <http://revistas.unam.mx/index.php/geofisica/article/view/39221>. [Último acceso: 4 Marzo 2014].