



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**Desarrollo de un hidronivel programable
con monitor, para el control automático
de una bomba de agua de uso
doméstico.**

T E S I S P R O F E S I O N A L

**Para obtener el título de:
INGENIERO MECATRÓNICO**

Presenta:

Jafet Gamaliel Mora Romero

Director de Tesis:

M.I. Billy A. Flores M. Navarro.

México, Ciudad Universitaria Noviembre 2011.



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.

El problema se puede convertir en una nueva y mejor aplicación de la tecnología, la clave está, en atender la curiosidad que alimenta la búsqueda de la respuesta.

Les agradezco a mis amados padres **Jorge Mora** y **Luz María Romero**, el gran apoyo y motivación que me brindan para seguir adelante con mis objetivos.

Desarrollo de un hidronivel programable con monitor, para el control automático de una bomba de agua de uso doméstico

Objetivo

Construir un dispositivo que realice dos funciones: hidronivel programable y monitor de nivel, ambas, con el fin de ayudar a mejorar la administración de agua potable en el hogar. Este sistema está dirigido a los hogares donde existen problemas con el suministro del vital líquido, y que cuenten tanto con un depósito inferior (cisterna), como uno superior (tinaco). El traslado de agua de un depósito hacia el otro, se realiza utilizando una bomba eléctrica.

Justificación

El agua potable es cada vez más escasa, por lo tanto, las personas debemos cuidarla; en otras palabras administrarla mejor. Por ello, se pensó en desarrollar un dispositivo que brinde información de forma segura al usuario; evitándole asomarse al tinaco o cisterna para conocer la cantidad de agua disponible, que simultáneamente controle el traslado de agua automáticamente según lo requiera el usuario, y que sea fácil de instalar en cualquier hogar que cuente con: una cisterna, un tinaco y una bomba de agua.

La automatización de procesos en la vivienda (domótica) es una herramienta poco utilizada en los hogares mexicanos, entonces, el ahorro de agua es una buena forma de introducir a la población un dispositivo que a futuro será tan indispensable como algunos otros electrodomésticos.

Actualmente existen diferentes hidroniveles y monitores de nivel para uso doméstico, por lo tanto, el dispositivo propuesto deberá mejorar o integrar las diferentes funciones de los dispositivos actuales.

Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes	3
2.1	¿Realmente escasea el agua en México?	3
2.1.1	Disponibilidad natural media del agua (DNMA)	3
2.1.2	Interrupciones en el suministro de agua.....	4
2.2	Medidas que toman los habitantes de zonas de escasez de agua potable..	4
2.2.1	La cisterna: el depósito más utilizado en zonas de escasez.....	5
2.2.2	La bomba de agua centrífuga eléctrica	5
2.2.3	Consideraciones para automatizar el traslado de agua	6
2.3	Monitor de nivel.....	7
2.3.1	Monitores de nivel de uso doméstico disponibles en el mercado	7
2.4	Hidronivel.....	8
2.4.1	Hidroniveles mecánicos	8
2.4.2	Hidroniveles electrónicos	9
2.4.3	Hidroniveles de uso doméstico disponibles en el mercado.....	10
2.5	Características del dispositivo propuesto	11
2.5.1	Incrementando la utilidad del dispositivo	11
2.5.2	Incrementando la durabilidad	12
2.5.3	Incrementando la versatilidad.....	12
3.	Desarrollo	13
3.1	Nivel de agua en el tinaco.....	14
3.1.1	Parte electrónica del sistema	14
3.1.2	Parte mecánica del sistema	17
3.1.3	Concepto final	17
3.1.4	Medición del nivel de agua.....	21
3.2	Nivel de agua en la cisterna	25
3.2.1	Sensores resistivos.....	27
3.2.2	Circuito de los sensores resistivos.....	29
3.3	Encendido automático de la bomba de agua	30
3.4	Interfaz con el usuario	31
3.4.1	Circuito de alimentación.....	32

3.4.2	Pantalla.....	32
3.4.3	Botones Táctiles.....	33
3.4.4	Alarma acústica (Buzzer o “zumbador”).....	35
3.4.5	USB.....	36
3.5	Hardware del dispositivo	38
3.6	Software del dispositivo	42
3.6.1	Configurar el PIC.....	42
3.6.2	Interpretar las señales de las entradas	43
3.6.3	Ciclo de funciones en el programa principal	44
4.	Resultados.....	46
4.1	Instalación	46
4.1.1	Medidas del tinaco	46
4.1.2	Medidas de la cisterna	47
4.1.3	Procedimiento de instalación	47
4.2	Desempeño de las partes internas.....	49
4.2.1	Hardware.....	49
4.2.2	Software.....	51
4.3	Desempeño de la parte externa.....	51
4.4	Desempeño de las dos funciones principales	52
4.4.1	Monitor de nivel	52
4.4.2	Hidronivel programable.....	55
5.	Conclusiones.....	57
5.1	Resultados encontrados.....	58
5.2	Inconvenientes del dispositivo.....	58
5.3	Aportaciones.....	59
6.	Bibliografía.....	61

1. Introducción

El agua potable se está convirtiendo en un recurso escaso, eso genera una necesidad en las personas de cuidar el agua; cuidar el agua es básicamente administrarla mejor, por eso se pensó en un dispositivo que automáticamente, ayude a las personas a administrar el agua. ¿Qué se necesitará para administrar el agua?

La mayoría de las personas que buscan mejorar su administración de agua, viven en zonas donde el suministro es escaso, entonces, tienden a almacenar el agua en depósitos a nivel de la calle (*cisternas*), debido a la baja presión con la que llega el agua a su domicilio o simplemente porque el suministro se hace mediante camiones (pipas de agua) que pueden descargar el agua fácilmente por gravedad. Además del depósito inferior, se necesita uno superior (*tinaco*), y para trasladar el agua de uno hacia otro se utiliza una bomba de agua eléctrica.

Para administrar algo se necesita información para actuar al respecto; de eso se trata, de desarrollar un dispositivo que brinde información constante al usuario respecto a la cantidad de agua potable que tiene disponible en sus depósitos y que controle automáticamente la bomba de agua, para mantener el nivel del tinaco que el usuario decida, tomando en cuenta las diferentes situaciones que compliquen su buen funcionamiento. A las funciones anteriores se les conoce como hidronivel programable y monitor de nivel.

Un hidronivel programable, es un dispositivo para controlar el nivel agua dentro de un depósito, manteniéndolo dentro de un rango determinado por el usuario, en este caso, el control se hará de manera automática, mediante el encendido y apagado de la bomba de agua, tomando en cuenta las siguientes consideraciones: Se deberá encender la bomba cuando el nivel de agua en el tinaco llegó al mínimo seleccionado por el usuario, y se deberá apagar la bomba cuando el nivel de agua en el tinaco alcance el valor máximo seleccionado por el usuario; el usuario puede cambiar estos valores en cualquier momento. Si la cisterna se queda sin agua, la bomba deberá permanecer apagada para evitar que trabaje en seco, si la tensión de alimentación de la bomba es inferior a la necesaria para su correcto funcionamiento, la bomba deberá permanecer apagada.

Un monitor de nivel, es un sistema que le muestra al usuario en una ubicación distinta a sus depósitos, el estado actual de nivel de agua, al que se encuentran los depósitos tinaco y cisterna, sin que el usuario tenga que asomarse a sus depósitos para determinarlo él mismo.

Para que el dispositivo realice las dos funciones básicas, primeramente, se necesita conocer el nivel agua en los depósitos; el tinaco abastece directamente al usuario, por lo que el nivel de agua es sentido con una mayor resolución que en la cisterna, la cual abastece al tinaco. Esa es una de las razones, por las que se desarrolló un sensor óptico con una resolución del 1% del nivel total del tinaco, y un sensor resistivo, con una resolución del 17% del nivel total de la cisterna.

El sensor óptico se implementó utilizando un haz de luz infrarroja, que se refleja en un flotador, el cual se mueve libremente de arriba hacia abajo conforme el nivel de agua; todo esto, contenido dentro de una estructura de tubo con filtro UV que aísla al sensor de la luz exterior.

El sensor resistivo, utiliza una electrólisis extremadamente pequeña, en seis diferentes alturas del tinaco, entonces, la resolución es de 1/6 de cisterna o equivalente al 17%. Cuando ocurre la electrólisis, significa que el sensor está tocando el agua, si no ocurre, el electrodo solamente tiene contacto con el aire y eso implica que el nivel del agua ha bajado.

Los sensores se conectan a un microcontrolador, en el cual se ejecuta un programa que se encarga de calcular el porcentaje al que se encuentran los niveles de agua y de mostrar el resultado al usuario en una pequeña pantalla LCD, también, controla el encendido y apagado de la bomba de agua dependiendo del rango que haya programado el usuario. Al dispositivo se le agregaron algunas otras funciones para hacerlo más útil.

La instalación del dispositivo tiene una parte externa y una parte interna: la parte externa es la que está expuesta a la intemperie, en este caso son los sensores de nivel. La parte interna, es la parte del dispositivo con la que interactúa el usuario y donde van conectados los sensores. Ambas partes, toman en cuenta, que el dispositivo se mantendrá trabajando durante al menos dos años continuos.

El uso del dispositivo repercute directamente en el ahorro y cuidado del agua, provocando una mejor administración del recurso por parte del usuario y ayudando a evitar el desperdicio gracias a la automatización.

El dispositivo trabaja aproximadamente al 60% de su capacidad, por eso, se le pueden agregar nuevas funciones sin tener que modificar el hardware, simplemente, reconfigurando el software del dispositivo mediante el puerto USB, o también, con mínimos cambios en el hardware se pueden implementar otras funciones además de monitor de nivel e hidronivel programable.

2. Antecedentes

Naturalmente, cuando una población se concentra en una localidad y comienza a crecer, provoca que la cantidad de recursos demandados también aumente, de tal forma, que se puedan satisfacer las necesidades de la población en crecimiento; el problema ocurre cuando los recursos disponibles (por ejemplo agua potable) no pueden crecer al ritmo de la población en constante aumento. Ésta situación provoca escases en algunos sectores de la población, debido a que los recursos son dirigidos hacia lugares donde son más indispensables. Esto crea algunas zonas dentro de la ciudad donde existe una escasez de agua potable, y cuyos habitantes, ejecutan una serie de maniobras para satisfacer su necesidad.

2.1 ¿Realmente escasea el agua en México?

La respuesta la puede dar el Gobierno Federal mediante la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), cuya misión consiste en “administrar y preservar las aguas nacionales, con la participación de la sociedad, para lograr el uso sustentable del recurso”¹. Quienes en el 2008 realizaron una investigación, donde participó la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Dicha investigación tenía como objetivo cuantificar la situación actual de la disponibilidad del agua potable en el país. A continuación se muestran los resultados más importantes de dicha investigación.

2.1.1 Disponibilidad natural media del agua (DNMA).

Es una medida que indica cuánta agua potable en [m³] le toca a un habitante durante un año, de toda la que llovió y rellenó los ríos, manantiales, lagunas y alguna otra fuente de la que se abastece de agua potable la ciudad.

En más de la mitad de los países del mundo, se tiene una DNMA promedio baja. Además existe una escasez de agua en cerca de una tercera parte de los países del mundo². ¿De qué países será México?, la siguiente tabla responde a la pregunta.

Tabla 1: Parámetros de disponibilidad del agua

Países	DNMA [m ³ /habitante/año]	Categoría
Norte de África	Menor a 1000	Muy Baja
<i>México</i> y Turquía	De 1000 a 5000	Baja
Estados Unidos	De 5000 a 10 000	Media
Canadá y Brasil	Mayor a 10 000	Alta

¹ Información publicada por la CONAGUA - 2008.

² Informe sobre Desarrollo Humano 2006. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.

Como país México tiene una DNMA promedio baja, pero en realidad, dentro del mismo país hay lugares donde la DNMA es demasiado baja, y otros donde es muy alta. La DNMA promedio de México es de 4312[m³/hab/año]. Esto es alarmante porque la población continua creciendo y según estimaciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), la población del país se incrementará en casi 15 millones personas para el 2030. Si el incremento es mucho mayor en las zonas urbanas, dónde ya hay mayor concentración de habitantes, se reduciría aceleradamente la DNMA para las personas. Es sencillo, en la zona donde hay mayor concentración de habitantes, la DNMA es menor. Se muestran algunas cifras a continuación:

- En 1950 la DNMA promedio de México era de 17742[m³/hab/año], más tarde, en el año 2007 la DNMA fue de 4312[m³/hab/año], y según las proyecciones, la DNMA para el 2020 será de 3500[m³/hab/año].
- La disponibilidad de agua en el país es desigual por razones de geografía. Existen lugares con grandes sequias, y al mismo tiempo, lugares donde hay inundaciones. Por ejemplo: En el 2007 la disponibilidad de agua cerca de la frontera sur del país fue 24 270[m³/hab/año], mientras en el valle de México fue de 143[m³/hab/año]. Aproximadamente 170 veces mayor.
- En las zonas urbanas, donde vive el 77% de la población se tiene una disponibilidad del 39% de la DNMA promedio de México.
- En las zonas rurales, donde vive el 23% de la población se tiene una DNMA del 69% de la DNMA promedio de México.

2.1.2 Interrupciones en el suministro de agua

Actualmente el gobierno tiene que realizar algunos “cortes de agua”, esto significa que el suministro de agua potable por la red hidráulica se suspende, para volver a reanudarse días después, generalmente son 3. En el D.F. son 350 colonias las que se ven afectadas por cortes de agua³. También existen los denominados “tandeos”, un tandeo es cuando el suministro de agua potable se realiza cada cierto día, con una duración limitada de tiempo. Los más comunes son los tandeos de 4 días y el suministro se hace durante la noche, es decir, que el suministro de agua se hace sólo durante unas horas de la noche, cada 4 noches. En el D.F. son 240 colonias las que manejan el sistema de tandeo. Si se sacan los porcentajes, considerando que en el D.F. hay 1815 colonias, se puede decir que el 32% de las colonias en el D.F. tienen problemas con el abastecimiento del agua, y las delegaciones con mayores problemas de escasez son Iztapalapa, Tlalpan y Coyoacán.

2.2 Medidas que toman los habitantes de zonas de escasez de agua potable.

Las personas que habitan en zonas de escasez de agua, tienden a almacenar el agua potable en diferentes tipos de depósitos, los cuales, generalmente se encuentran al nivel de la calle y cerca

³ Información publicada en conferencia por el director de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), José Luis Luege Tamargo; el director del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, Ramón Aguirre Díaz, y jefes delegacionales. Marzo del 2011.

de la entrada, ya que la conexión a la red hidráulica está más cerca. El tipo de depósito depende de la economía, de la planeación de los habitantes, de la arquitectura de la casa, del terreno, etc. Diferentes factores (económicos, volumen, espacio, etc.) determinan el lugar donde se va a almacenar el agua, por ejemplo: en cisternas, tinacos, tambos, cubetas, etc.

2.2.1 La cisterna: el depósito más utilizado en zonas de escasez

Actualmente, la mayoría de los habitantes en zonas de escasez de agua, tienen cisterna⁴. Las razones son muy simples: primeramente, se puede almacenar una gran cantidad de agua en un espacio subterráneo para tener la superficie “libre”, además, las cisternas tienen una vida útil bastante larga, de 35 años como mínimo.

La capacidad de la mayoría de las cisternas ronda los 8 mil a 10 mil litros, existen cisternas prefabricadas y de concreto. Las prefabricadas generalmente son de plástico, tienen formas y volúmenes determinados por el fabricante, son ligeras y por lo tanto fáciles de transportar. Las de concreto son estructuras de tabique y concreto cuyo terminado en las paredes interiores es un aplanado muy fino y como techo tienen una losa de concreto con varilla, la forma más común es la de un prisma de base cuadrangular. Una vez almacenada el agua, se necesita trasladarla a un depósito a nivel superior para su consumo, éste traslado se hace por medio de una bomba de agua.

2.2.2 La bomba de agua centrífuga eléctrica

La bomba de agua es una máquina que crea una diferencia de presiones dentro de una tubería, de tal forma, que succiona el agua por su entrada y la impulsa hasta la salida. Esta diferencia de presiones es generada por una pieza mecánica con álabes (impulsor), conectada al eje del motor eléctrico, el cual, la hace rotar a grandes velocidades dentro de la carcasa de la bomba. Al rotar se aumenta la velocidad del agua, por ende disminuye la presión, lo que provoca el traslado del agua.



Ilustración 1: Bomba de agua centrífuga.

⁴ Una encuesta realizada a 50 vecinos de la Col. San Bartolo Ameyalco, Del. A. Obregón, Mex. D.F. Muestra que el 83 % de las personas cuentan con cisterna, mientras que el 15% utiliza tinacos, y sólo el 2% usa tambos o algún otro tipo de depósito diferente.

La capacidad de transportar el agua más alto o más lejos, depende de la potencia del motor y del tamaño de los álabes, los motores utilizados en la mayoría de las bombas de uso doméstico, manejan potencias alrededor de un caballo de fuerza (1 HP), y por lo tanto, la corriente que consumen no supera los 20 A si se trabajan con los tradicionales 120 V.

Para que la bomba de agua funcione correctamente debe de estar purgada; eso significa que antes de encender la bomba, la tubería que va de la entrada a unos 10 cm de la salida debe estar completamente llena de agua, no tiene que haber burbujas de aire. Cuando existe aire en este tramo de la tubería, se desplaza hacia el impulsor y se queda estancado ahí, evitando que el agua sea desplazada por la bomba y provocando un sobre calentamiento que daña el motor, los sellos de la carcasa y también al impulsor.

Purgar la bomba es fácil de lograr con ayuda de una válvula de pie, mejor conocida como “pichancha”, y cuya única función es la permitir el flujo de agua en un solo sentido. En este caso, permite que el agua sea succionada, pero no deja que el agua regrese, así se puede llenar de agua ese tramo de tubería. Pero si el agua de la cisterna se termina, igualmente entrará aire al impulsor y provocará sobrecalentamiento, por eso es tan importante que la bomba no trabaje sin agua.

Otra cosa que provoca que la bomba se sobrecaliente, es cuando se le hace trabajar con una tensión muy por debajo de la nominal. El motor comenzará a rotar pero no tendrá la fuerza necesaria para trasladar el agua, entonces, ésta rotación forzada del impulsor generará una gran cantidad de calor en las bobinas del motor, que si continúa durante mucho tiempo, podría derretir el esmalte del alambre de las bobinas, quemándose así el motor.

En el mercado existen algunas bombas de agua que se protegen automáticamente del sobrecalentamiento, simplemente tienen un sensor de temperatura que al detectar el sobrecalentamiento interrumpen la alimentación al motor hasta que la temperatura disminuya.

2.2.3 Consideraciones para automatizar el traslado de agua

Ya que se tiene agua almacenada y una bomba para desplazarla, lo siguiente es controlar la cantidad de agua que se va a bombear, esa cantidad depende del nivel actual del tinaco: si se bombea mucha agua, el tinaco se desparrama. Si al momento de estar bombeando agua, la cisterna se queda vacía, entonces, le entra aire a la bomba y de párrafos anteriores sabemos que eso es perjudicial, por lo tanto resulta indispensable conocer el nivel de ambos depósitos.

Resumiendo, las necesidades mínimas que debe satisfacer el dispositivo a diseñar, son las siguientes:

1. Conocer el nivel del tinaco.
2. Conocer el nivel de la cisterna.
3. Controlar el encendido-apagado de la bomba, considerando:
 - a. Que la bomba no trabaje en seco.
 - b. Que la tensión eléctrica sea la suficiente para que la bomba funcione correctamente.

2.3 Monitor de nivel

Un monitor de nivel, es un dispositivo que le indica al usuario, el nivel actual de agua en su depósito, no controla el nivel, simplemente informa cuánta agua hay. El monitor de nivel puede darle información al usuario en distintas formas, como podrían ser fracciones, porcentaje o en altura de la columna de agua, etc. Mientras más pequeño sea el cambio en el nivel de agua, que el monitor puede detectar, mayor será su resolución, y por lo tanto, dará información más precisa al usuario. Existen monitores mecánicos y electrónicos.

El monitor de nivel mecánico más simple, se puede construir colocando una manguera en el exterior del depósito que penetre en dos puntos del tinaco, uno en su parte inferior y otro por la parte superior, de tal forma que permita que el agua entre por la parte inferior y suba hasta la misma altura a la que se encuentra el nivel de agua del depósito. A esta manguera se le puede agregar una escala que nos indique la altura exacta a la que se encuentra el nivel de agua. Obviamente, el usuario tiene que acercarse al depósito para conocer la cantidad de agua con la que dispone.

A diferencia de los mecánicos, los monitores de nivel electrónicos usan un dispositivo (transductor) que transforma alguna propiedad del agua o energía de entrada, como podría ser la presión, conductividad, la reflexión del agua, etcétera, en una señal eléctrica.

Los monitores de nivel electrónicos pueden brindar información al usuario sin que esté presente en el depósito, y pueden tener grandes resoluciones dependiendo del tipo de transductor utilizado, además, de la habilidad para trabajar de forma continua o intermitente, en otras palabras, trabajar sólo cuando el usuario lo necesita o en todo momento.

2.3.1 Monitores de nivel de uso doméstico disponibles en el mercado

La mayoría de los monitores de nivel electrónicos comerciales utilizan la conductividad del agua para determinar el nivel: a diferentes alturas se colocan diferentes electrodos que al estar en contacto con el agua, mandan una señal eléctrica que indica que el electrodo está tocando el agua. Cada vez que esto ocurre se enciende su led correspondiente, el cual le indica al usuario el nivel de agua de su depósito. Vienen con suficiente cable para cubrir la distancia del monitor hacia el tinaco y su precio ronda los \$400. Véase la ilustración 2.



Ilustración 2: Monitores de nivel electrónicos más comunes.

2.4 Hidronivel

Un hidronivel, es un dispositivo que se encarga de mantener el nivel de agua de un depósito dentro de un valor mínimo y un valor máximo. Cuando el nivel de agua en el depósito disminuye, el hidronivel tiene que suministrar más agua, hasta que el nivel se encuentre nuevamente en el rango determinado por el valor mínimo y máximo. Existen hidroniveles que además de controlar el nivel de líquido, también tienen un monitor de nivel para informarle al usuario la cantidad de agua con la que cuenta. No todos disponen de ésta tecnología.

Dependiendo de cómo se hace el suministro de agua al depósito, es cómo va a operar el hidronivel, por ejemplo: se puede suministrar agua simplemente abriendo una válvula que permita el flujo del agua, o podría suministrarse por medio de una bomba de agua, etc. Esto genera diferentes mecanismos para determinar el nivel mínimo y máximo del nivel de agua en el depósito, pero básicamente, al igual que los monitores de nivel, se dividen en dos tipos: los hidroniveles mecánicos y los hidroniveles electrónicos.

Si el usuario puede cambiar el rango del nivel las veces que quiera, y sin tener que estar físicamente en el depósito, se dice que es un hidronivel programable; ya que el usuario simplemente programa un nuevo rango y el dispositivo se encarga de mantener el nivel dentro de éste.

2.4.1 Hidroniveles mecánicos

Los hidroniveles mecánicos utilizan diferentes propiedades físicas de forma directa para controlar el nivel del agua, principalmente densidad y presión. Por ejemplo, para aprovechar la densidad del agua, simplemente se tiene que utilizar un flotador (un objeto menos denso que el agua) que suba o baje junto con el nivel de agua, y al cual se le pueda acoplar a un mecanismo que dependiendo de la altura haga diferentes cosas como abrir o cerrar una válvula, un circuito eléctrico, etc.

La mayoría de los hidroniveles son mecánicos y tienen un rango fijo, es decir, que la primera vez que se instalan se fijan los niveles mínimo y máximo con los cuales operará el dispositivo en adelante. El usuario generalmente no modifica estos valores, por eso los escoge desde el inicio. El valor mínimos y máximo del rango aún se pueden cambiar, pero se requiere acudir al depósito y ajustarlos manualmente.

La principal ventaja de los hidroniveles mecánicos, es que la parte que determina el nivel mínimo o máximo, no requiere energía eléctrica para funcionar y tiene una gran durabilidad. La desventaja es que el ajuste del rango se hace manualmente y por lo general es un rango fijo, además de la baja resolución del rango.

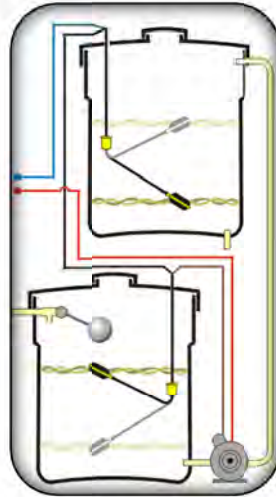


Ilustración 3: Funcionamiento de un hidronivel mecánico.

2.4.2 Hidroniveles electrónicos

Los hidroniveles electrónicos utilizan alguna propiedad física pero de forma indirecta, es decir, que una propiedad física se traduce en una señal eléctrica, para después asignarle un nivel. Un buen ejemplo sería, colocar un sensor de presión al fondo del tinaco y conforme el nivel de agua en el depósito aumente o disminuya, la presión del fondo también lo hará, generando una señal eléctrica de salida proporcional al cambio de nivel de agua. Básicamente, mide el nivel de agua de forma indirecta. En los hidroniveles electrónicos, la parte que traduce el nivel de agua a señales eléctricas, resulta más delicada que en los mecánicos, además de que se necesita suministrar energía eléctrica para llevar a cabo el sensado. Esta desventaja se compensa con una mayor resolución y control del nivel de agua.

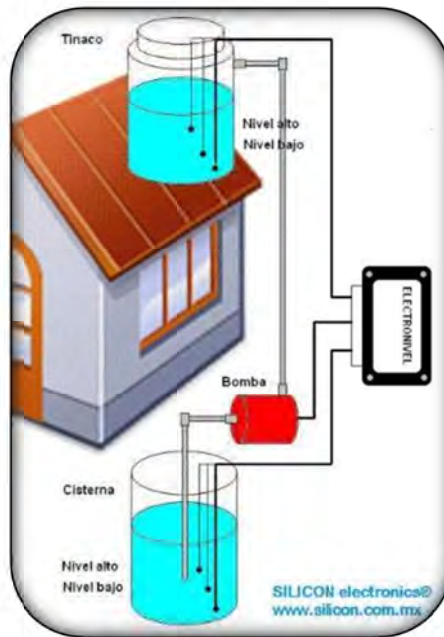


Ilustración 4: Hidronivel electrónico.

2.4.3 Hidroniveles de uso doméstico disponibles en el mercado

La gran mayoría de hidroniveles que se utilizan son mecánicos, porque son los que llevan más tiempo en el mercado y son muy fáciles de conseguir, se pueden comprar en cualquier tlapalería y sus precios van desde \$185 hasta los \$360. Los modelos más populares son los dos modelos de la izquierda de la Ilustración 5: Hidroniveles comerciales.

Los hidroniveles electrónicos no son tan comunes en los hogares como los mecánicos, son más difíciles de conseguir, pero no imposible, y todos usan la conductividad del agua para medir el nivel en el tinaco, la instalación es más sencilla que en los mecánicos, pero el precio es mucho más elevado, donde los modelos más económicos comienzan con \$450 pesos, el más popular entre ellos es el que se muestra a la derecha de la Ilustración 5: Hidroniveles comerciales.



Ilustración 5: Hidroniveles comerciales.

2.5 Características del dispositivo propuesto

Para comenzar a desarrollar el dispositivo, se deben conocer los requisitos que debe cumplir, estos incluyen las necesidades mínimas que se habían determinado en la sección 2.2.3 y que son los siguientes: Conocer el nivel de agua del tinaco, conocer el nivel de la cisterna, controlar el encendido-apagado de la bomba considerando que la bomba no trabaje en seco, y que la tensión eléctrica sea la suficiente para que la bomba funcione correctamente. Además de lo anterior, se agregarán otras características al dispositivo para hacerlo más útil, más versátil y más durable, incrementado el valor de uso para el usuario, y superando a los aparatos actuales disponibles en el mercado.

2.5.1 Incrementando la utilidad del dispositivo

Primeramente, se quiere conocer el nivel de ambos depósitos, no sólo el del tinaco; el usuario necesita conocer la cantidad de agua con la que cuenta en la cisterna, tal vez no con la misma resolución que en el tinaco, pero ciertamente es indispensable contar con esa información.

La resolución del nivel del tinaco debe ser lo más grande que se pueda, de tal forma, que el usuario pueda determinar la cantidad de agua que gasta, en sus distintas actividades que requieren agua potable. Se puede utilizar el mismo monitor de nivel para monitorear ambos depósitos al mismo tiempo. Una pantalla es una forma amigable de presentarle la información al usuario, le permite conocer la cantidad de agua que tiene almacenada simplemente mirando la pantalla del dispositivo colocado al interior del hogar.

Un usuario que no puede leer la información que la pantalla muestra, podrá conocer la cantidad de agua disponible, simplemente fijándose en el color de la pantalla, es decir, que la pantalla debe tener implementado un sistema de semáforo que le indique al usuario la cantidad de agua simplemente con un color, por ejemplo: si la pantalla es roja, significa que hay muy poca agua disponible.

El usuario tiene que saber si se va a quedar sin agua, por eso el dispositivo debe contar con una alarma acústica le avise cuando está por quedarse sin agua, esto le permite tomar acciones al respecto. No importa si se va la energía eléctrica en el domicilio, el dispositivo debe de ser capaz de brindar información aún en estos casos, por eso necesita un sistema de energía auxiliar que permita seguir monitoreando los depósitos, este sistema debe contemplar que la pantalla necesita luz propia para ser visible en la oscuridad.

El dispositivo tiene que mantener el nivel de agua del depósito dentro del rango que el usuario le indique (hidronivel programable). Algunos usuarios prefieren que el nivel de agua del tinaco cambie muy poco, entonces, necesitan un rango pequeño por ejemplo: mantener el tinaco siempre del 90% al 100% de su capacidad, generalmente son los que gastan menos agua. También hay usuarios que consumen más agua, por lo que mantener un rango pequeño implicaría que la bomba de agua se estaría encendiendo frecuentemente para mantener el nivel, a esos usuarios les conviene un rango más amplio, el cual hará trabajar la bomba de agua menos veces. Entonces, el usuario puede programar el rango como más le convenga.

En pocas palabras, es de gran prioridad que el usuario conozca en todo momento, la cantidad de agua con la cuenta.

2.5.2 Incrementando la durabilidad

El mecanismo mediante el cual se determina el nivel de agua en los depósitos, debe ser muy duradero, de fácil mantenimiento, fácil de reparar y resistente a la intemperie. Se debe tomar en cuenta que la mayoría de los depósitos están a la intemperie, desde ahí se deberá mandar la información hacia el interior del hogar, donde se encuentra el dispositivo, el cual la mostrará en pantalla, por lo tanto, para su construcción se considera lo siguiente:

- Se utilizarán materiales especiales, para que las partes expuestas a la intemperie puedan resistir la erosión producida por el sol. En caso de que algunos elementos del dispositivo se mojen, se utilizarán materiales resistentes a la oxidación producida por el agua.
- La interfaz con la que interactúa el usuario para programar los niveles, debe ser sensible al tacto, porque existen personas que no tienen la fuerza suficiente para apretar un botón mecánico, además, los botones mecánicos duran menos tiempo en operación debido a su naturaleza.
- La instalación debe ser lo más fácil y práctica posible, el dispositivo debe estar conformado de forma modular, cada módulo se podrá modificar sin tener que cambiar todo el dispositivo, esto lo hace más durable.
- La reparación de alguna parte del dispositivo debe hacerse fácilmente, por lo que se deben utilizar componentes de calidad, fáciles de encontrar en el mercado.

El sistema que monitoree los niveles de agua debe durar al menos 2 años en funcionamiento continuo.

2.5.3 Incrementando la versatilidad

Uno de los grandes retos es construir un dispositivo que se pueda mejorar sin necesidad de cambiar el hardware nuevamente, es decir, que con el mismo aparato se puedan realizar nuevas funciones, simplemente actualizándolo. Actualmente la forma más común de hacer éste tipo de actualizaciones es por medio del puerto USB de la computadora. Muchos dispositivos, se conectan a la computadora para modificar su comportamiento, esto es lo que se pretende lograr, diseñar un dispositivo que modifique su comportamiento simplemente actualizándolo vía USB. Además, el dispositivo que se pretende diseñar, debe medir y controlar el nivel del agua en todos los tinacos y cisternas que existen, considerando que tienen formas y tamaños muy distintos.

3. Desarrollo

Del capítulo anterior, se pueden resumir las características que se desarrollarán en el dispositivo propuesto. Se muestran en la siguiente ilustración:

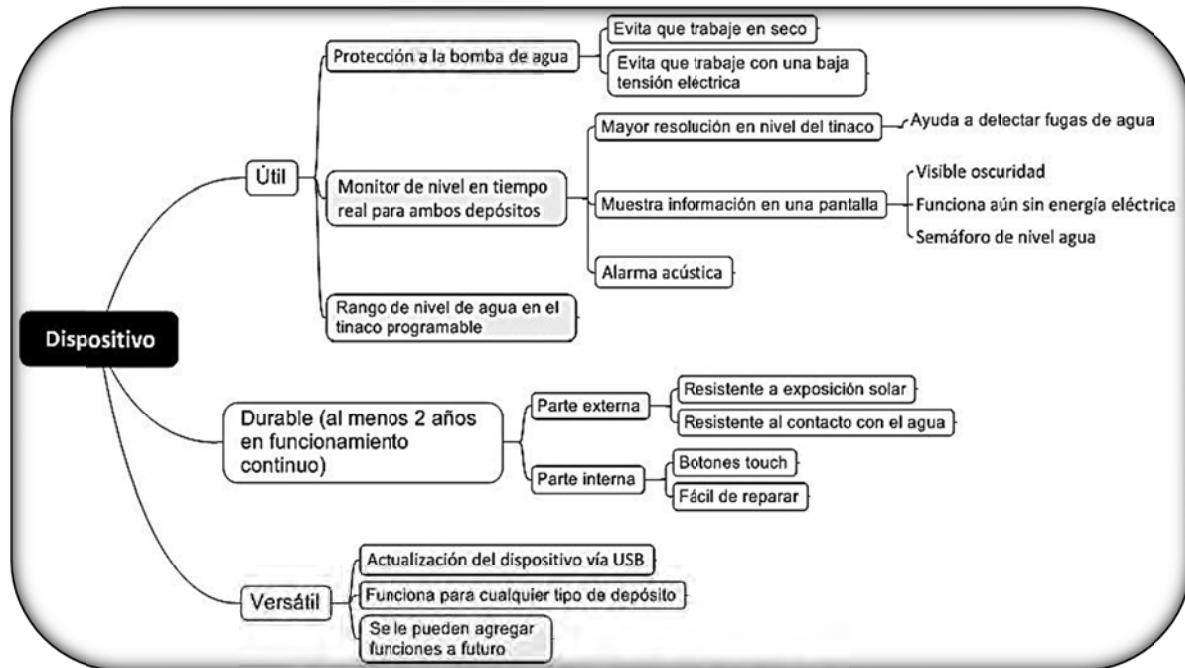


Ilustración 6: Características del dispositivo a diseñar.

Actualmente, la mejor forma de integrar las diferentes tareas y características que debe cumplir el dispositivo es con la utilización de un microcontrolador.

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. En su interior existen las tres unidades funcionales principales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida. Para que pueda controlar algún proceso es necesario crear y luego grabar en la memoria del microcontrolador algún programa, el cual puede ser escrito en lenguaje ensamblador u otro lenguaje para microcontroladores; sin embargo, para que el programa pueda ser grabado en la EEPROM del microcontrolador, debe ser codificado en sistema numérico hexadecimal que es finalmente el sistema que hace trabajar al microcontrolador cuando éste es alimentado con el voltaje adecuado y asociado a dispositivos analógicos y discretos para su funcionamiento.⁵

En pocas palabras, un microcontrolador es un dispositivo electrónico, que se comporta como una computadora, básicamente es una máquina que ejecuta un programa escrito por el usuario, el cual le da instrucciones acerca cómo interpretar las señales introducidas por sus entradas, de qué hacer con ellas y que tipo de señales generará en sus salidas. Existen diferentes lenguajes para escribir el programa, se puede utilizar un lenguaje de bajo nivel (lenguaje

⁵ Vienna University of Technology, Introduction To Microcontrollers (Gunther Gridling, Bettina Weiss), February 2007.

ensamblador) o un lenguaje de alto nivel como es el lenguaje C. En éste trabajo se utilizó el lenguaje C del compilador PCWHD versión PCH 4.088 de CCS® porque es un lenguaje fácil de manejar, además de que tiene algunas librerías para diferentes dispositivos que ahorran bastante tiempo de programación, como por ejemplo, incluye un librería para controlar la pantalla de cristal líquido que se utilizará para mostrar los niveles de agua en los depósitos y la interfaz con la que interactúa el usuario.

Se fabrican diferentes modelos de microcontroladores, aunque básicamente se dividen en gama baja, media y alta. Los recursos de un microcontrolador de gama alta son mayores a las otras gamas; tiene una mayor cantidad de memoria disponible para el programa, se puede trabajar a mayores velocidades, se tienen una mayor cantidad de puertos, tiene más canales en el módulo que convierte señales analógicas en digitales, etc. Por eso se seleccionó el microcontrolador PIC18F4550, un microcontrolador de gama alta, especialmente diseñado para trabajar con el puerto USB de la computadora y fácil de conseguir en el mercado. De ahora en adelante se le llamará simplemente PIC.

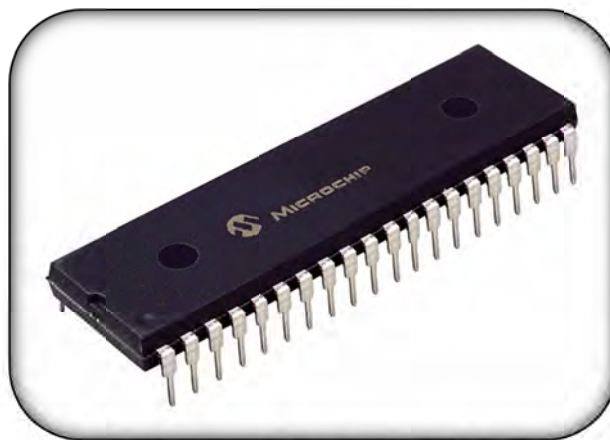


Ilustración 7: Microcontrolador PIC18f4550® de Microchip®.

3.1 Nivel de agua en el tinaco

La cantidad de agua en el tinaco, debe ser medida con una mayor resolución que en la cisterna, por eso se desarrolló un sistema híbrido: mecánico-electrónico, que básicamente consiste en un flotador que refleja una luz infrarroja hacia un fototransistor, cuando el flotador esté cerca del fototransistor reflejará una mayor cantidad de luz infrarroja y viceversa, mientras más alejado reflejará menos luz. Con la cantidad de luz reflejada, se calcula la distancia del flotador al fototransistor y esto se traduce en una lectura del nivel de agua en el depósito.

3.1.1 Parte electrónica del sistema

La parte electrónica del sistema consiste en un led infrarrojo y un fototransistor. Un led infrarrojo es un tipo de diodo emisor de luz, que utiliza un semiconductor hecho de arsénico y galio, mejor conocido como arseniuro de galio (GaAs), el cual emite una radiación infrarroja (longitud de onda de 940 nm). El tipo de led infrarrojo utilizado en el sistema, es el mismo que se utiliza para los controles remotos de diferentes aparatos como la TV, DVD, estéreo, etc. Se seleccionó éste tipo de led porque la forma de su lente (encapsulado epóxico) está diseñada para

que el haz de luz no se disperse tanto, pudiendo llegar más lejos y con mayor intensidad⁶; estas características lo convierten en un led altamente direccional, justo lo que se necesita para distancias mayores a un metro, existen tinacos que tienen más de un metro de profundidad.

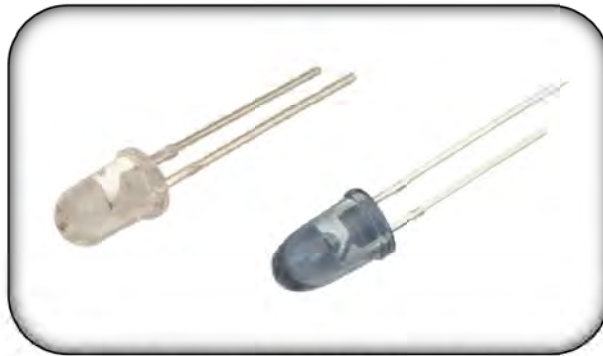


Ilustración 8: Led infrarrojo normal y de largo alcance (derecha).

Un fototransistor es un dispositivo electrónico fabricado en base a un semiconductor, como su nombre lo indica, el principio de operación es el mismo que el de un transistor, en este caso, amplificar la corriente de la base, pero a diferencia del transistor, la corriente de la base es producida por los fotones de la luz que inciden por el encapsulado. En este caso se usa un fototransistor⁷ cuyo encapsulado tiene un filtro que está especialmente diseñado para trabajar con luz infrarroja, por eso fue seleccionado.



Ilustración 9: Fototransistor con filtro infrarrojo.

Es importante señalar que la corriente del colector también depende de la temperatura ambiente a la que está trabajando el fototransistor, eso significa que mientras mayor sea la temperatura de operación del fototransistor, mayor será la corriente del colector. Dicho de otra forma, mientras mayor sea la temperatura ambiente a la que trabaja el fototransistor, mayor sensibilidad a la luz tendrá. Como el sistema de sensado puede estar expuesto al sol, las variaciones de temperatura debidas al calor del sol, provocarán variaciones en el nivel determinado de agua, más adelante se hablará de ello.

El fototransistor debe estar aislado de cualquier fuente de luz que no sea la del led infrarrojo, ya que la luz exterior causa variaciones en la medida del nivel. Si el sistema se instala a

⁶ Se utiliza un led de la marca Everlight de 5mm, 5 V, 50 mA, 100 mW, 940 nm y ángulo de 20°.

⁷ Se utiliza un fototransistor NPN Steren PT1302B/C2 de 5mm, 5V, 20mA, 75mW.

la intemperie, estará expuesto a los rayos del sol y estos emiten luz en el espectro infrarrojo que afecta el sensor.

Para poder medir la distancia del flotador al sensor, se colocan ambos elementos optoelectrónicos juntos, de tal forma que el haz de luz infrarroja emitida por el led, impacte en la superficie del flotador y se refleje hacia el fototransistor como muestra la siguiente figura:

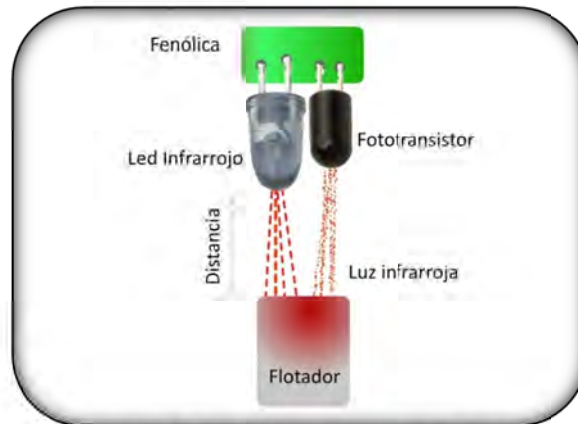


Ilustración 10: Posición del sensor y el flotador.

Como la gran mayoría de los elementos del dispositivo, el led infrarrojo y fototransistor estarán alimentados con 5 V, por lo que se tiene que adaptar el voltaje para cada uno de ellos. Para conectar el Led infrarrojo, sencillamente se le colocará una resistencia para reducir el voltaje en sus terminales. El fototransistor necesita un circuito auxiliar con dos transistores, un capacitor y dos resistencias; los transistores en cascada son para amplificar la señal del fototransistor, que en conjunto se hace más sensible a las variaciones de luz, el capacitor amortigua los cambios bruscos en la señal haciéndola más “suave” para ser enviada al PIC. Es importante mencionar que el sensor óptico consume una corriente de 30mA mientras está activo.

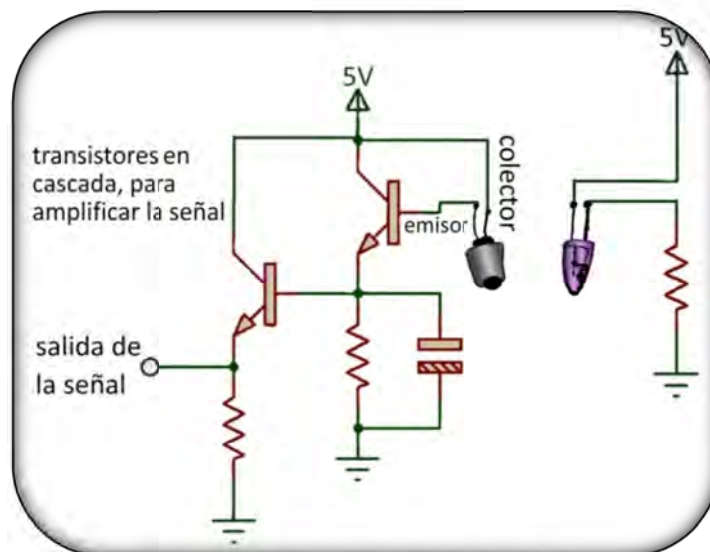


Ilustración 11: Circuito del sensor óptico.

Los valores de las resistencias y capacitores, junto con el modelo de los transistores serán revelados más adelante, con el fin de hacer más limpios, claros y simples los diagramas.

La señal que sale del circuito, es una señal analógica, por lo tanto debemos utilizar el ADC (convertidor analógico-digital) del PIC para transformarla en una señal digital, el ADC tiene una resolución de 10 bits, esto significa que se transformarán las variaciones de voltaje, en variaciones de números de 10 bits. En el sistema decimal, el PIC leerá valores del 0 al 1023, donde el "0" equivale a cero volts y "1023" equivale a cinco volts, los números que van del 0 al 1023 se les nombrara en este trabajo como **valores LSB**⁸.

3.1.2 Parte mecánica del sistema

La parte mecánica del sistema consiste en un flotador. Existen muchas formas de hacer un flotador, se puede utilizar un cuerpo hueco de diferentes materiales, también se puede utilizar un cuerpo sólido que tenga una densidad menor a la del agua, y por tanto, también va a flotar. El flotador va siguiendo el nivel de agua: si el nivel de agua aumenta, el flotador también aumenta su distancia respecto al fondo del depósito.

Que flote no es lo único que importa, es importante que pueda reflejar la luz infrarroja, por eso un material de color negro no sirve, porque absorbería la luz infrarroja en lugar de reflejarla hacia el fototransistor, entonces, no se podría calcular la distancia. La forma del flotador también es importante; una forma cónica en la parte donde incide el haz de luz, no lo reflejará igual que si es cóncava, convexa o plana. Además, considerando su movimiento en el espacio, el flotador tiene que moverse libremente conforme al nivel de agua (eje de la vertical o eje Z), pero su movimiento debe ser limitado en el plano XY.

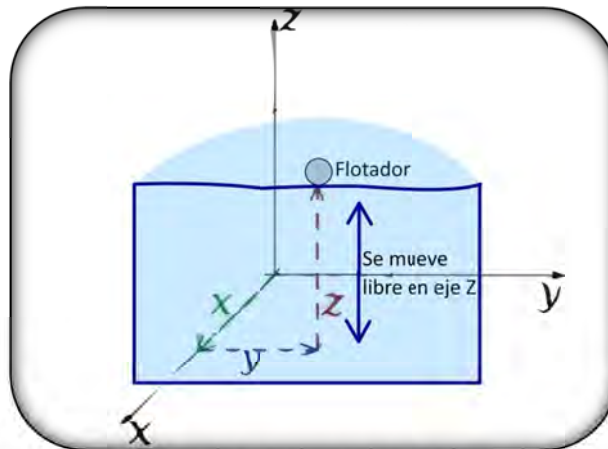


Ilustración 12: El flotador no se debe mover en el plano XY, únicamente en el eje Z.

3.1.3 Concepto final

Se necesitan integrar ambas partes del sistema tomando en cuenta los puntos importantes, en éste caso son tres:

- El fototransistor y el led infrarrojo deben estar aislados de luz exterior.

⁸ Por su nombre en inglés: Least Significant Bit: Byte Menos Significativo, refiriéndose a los bits específicos dentro de un número binario (en este caso 10bits) de acuerdo a su posición; a cada bit se le asigna un número de bit, creando un rango que de derecha a izquierda va desde 0 a 1023 (en este caso de 0 a 1111111111 en binario).

- El flotador debe de estar siempre alineado con el sensor.
- Contemplar que el sistema estará expuesto a la intemperie.

Tomando en consideración los puntos anteriores, se construyó una estructura hecha de elementos de tubería, fabricados en plástico (polipropileno) de tres capas, cuyas características garantizan que el interior del tubo quede aislado de la luz exterior, la luz se refleja mejor en el flotador debido a que el interior del tubo es blanco y las paredes interiores permiten que el flotador se deslice con mínima fricción utilizando el agua como lubricante.

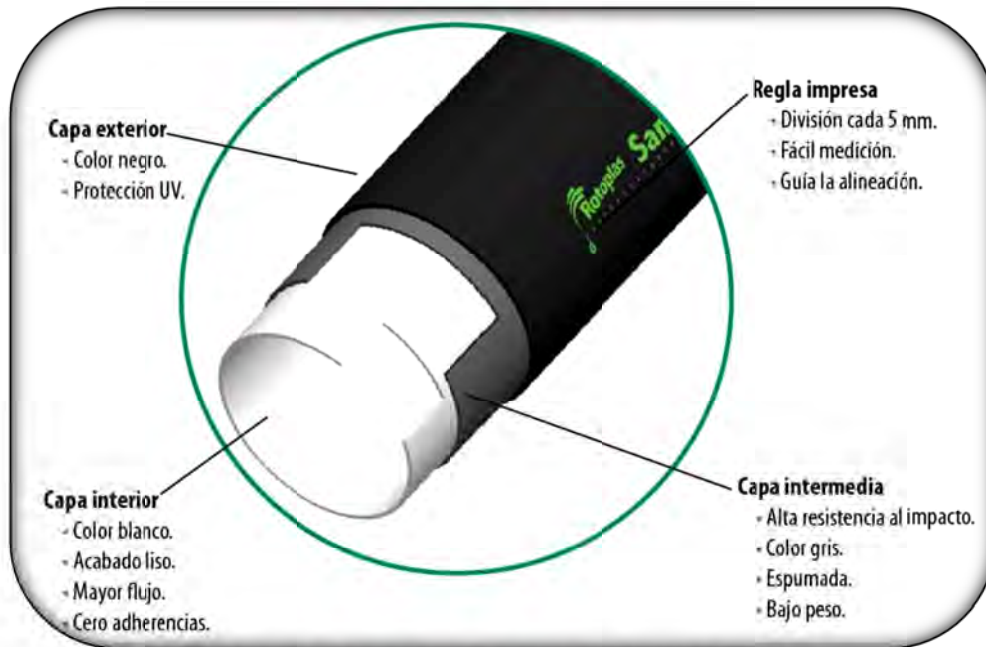


Ilustración 13: Capas de los elementos de tubería utilizados.

Los elementos de la estructura, son productos de la línea sanitaria Tuboplus® de la marca Rotoplas®, estos elementos se unen simplemente ensamblando las piezas; esto es posible gracias a un sistema de empaques basados en un anillo de hule sintético de doble labio, que garantiza el sellado perfecto entre dos piezas, realmente es una ventaja ya que no se tienen que utilizar algún tipo de pegamento o rosca que una las diferentes piezas. Con este tipo de ensamblado se puede volver a desarmar la estructura sin ninguna complicación, algo realmente útil para acceder al sensor en el interior del tubo.



Ilustración 14: Este tipo de unión permite un fácil ensamblado y desensamblado de la estructura.

Con cinco piezas de tubería se construyó la estructura que permite el movimiento del flotador en el eje Z únicamente, manteniéndolo alineado con el sensor e impidiendo que la luz exterior penetre al interior del tubo. Las cinco piezas son: dos codos de 90 grados, una T, una tapa y un tramo de tubo. En este caso la longitud del tubo está diseñada para la altura de un tinaco de 1100 litros, el más popular entre los habitantes.



Ilustración 15: Cinco piezas de tubería que forman la estructura del sensor óptico. 1-Tapa, 2-T, 3 y 5-Codo de 90°, 4-Tramo de tubo.

Es importante que el fototransistor tenga algún tipo de aislamiento alrededor, de tal forma, que la luz que lo excite sea únicamente la que llega de frente (por la punta del encapsulado) así evitamos que la luz emitida por led a su lado afecte la señal. En este caso se utilizó termofit⁹ para aislarlo, dejando descubierta únicamente la punta del encapsulado epóxico del fototransistor.

En la práctica, el sistema funciona mejor cuando el diámetro de la tubería es mayor a 4cm, por eso se utilizaron piezas de tubería con un diámetro de 5cm. Al inicio se construyó un prototipo que utilizaba dos led infrarrojos, pero el sistema funciona mejor si únicamente se utiliza un led para mandar el haz; con dos leds, la luz infrarroja se refleja de forma más “desordenada” en el interior del tubo provocando lecturas inestables.

La pieza número 3 permite que el aire salga, cuando se incrementa el nivel de agua que entra por la pieza 5, también impide que el agua de lluvia (si está instalado en exterior) moje la conexión del sensor óptico. La pieza número 1 es la tapa del tubo, la cual mantiene el sensor en su posición y con ayuda de un cilindro de madera se mantiene fijo, además, aísla térmicamente el fototransistor. En la siguiente ilustración se muestra un esquema con la configuración final del sistema:

⁹ El termofit es un cilindro, que al aplicarle calor reduce su diámetro, ajustándose perfectamente a la superficie del cuerpo que está en su interior, en éste caso el fototransistor. Se utiliza como aislante de luz y electricidad en circuitos eléctricos.

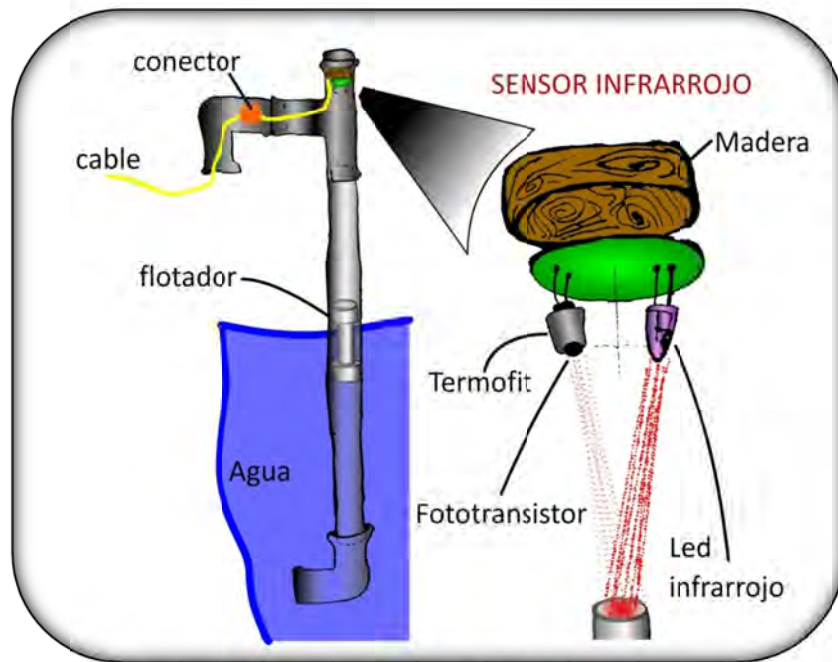


Ilustración 16: Configuración final del sensor óptico.

A continuación se muestran las fotografías de la estructura del sensor óptico, se puede observar que el flotador se construyó con tubería de PVC blanco de menor diámetro y dos tapas en sus extremos, conformando una estructura hueca que flota en el agua y que cabe perfectamente en el interior del tubo negro, los elementos electrónicos se conectan mediante un *Jack* RJ45 y su respectivo Plug (utilizados en computadoras), haciendo más práctica la conexión y desconexión del sensor.



Ilustración 17: Sensor óptico construido.

3.1.4 Medición del nivel de agua

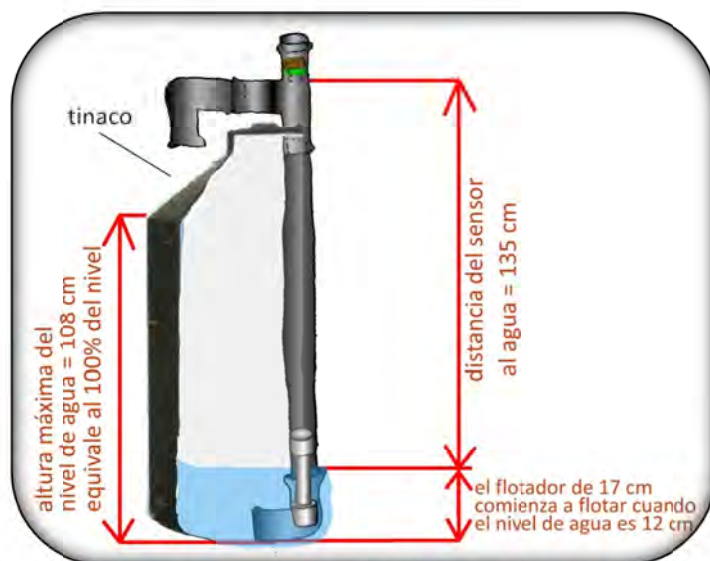
Para determinar la función que describe el comportamiento experimental del sensor, respecto a la variación de nivel de agua en el tinaco, se midió 20 veces el voltaje de la señal que proviene del sensor, para 20 diferentes niveles de agua, cada uno separado 5cm del anterior.

Primero se sumerge la estructura del sensor en el agua, hasta que la distancia entre el fototransistor y el agua sea de 135cm, ¿por qué 135cm?, porque la estructura del sensor óptico tiene que tocar el fondo del tinaco y sobresalir a la altura de la tapa, dejando fuera del tinaco las piezas 1, 2 y 3. Eso determina la distancia que hay, del fototransistor al fondo del tinaco (147cm), pero el agua que entra por la parte inferior de la estructura del sensor (pieza 5), hace flotar al flotador hasta que alcanza los 12cm medidos desde el fondo, es decir, la estructura del sensor óptico no puede medir el nivel de agua, si es inferior a 12cm. Aunque el nivel de agua disminuya el flotador se quedará apoyado en la pieza 5 y no detectará el cambio. Entonces $147-12=135\text{cm}$, que es la distancia máxima entre el fototransistor y el agua, considerando que la estructura fue montada en un tinaco de 1100 L.

Después se mide el voltaje de la señal y eso genera el primer punto (X,Y), donde la "X" es la distancia del fototransistor al agua, la "Y" es el voltaje de la señal correspondiente. Cabe mencionar que cuando se mide el voltaje, se está usando un valor promedio de voltaje, calculado por el PIC a partir de diferentes lecturas tomadas rápidamente; experimentalmente, el valor promedio no varía a partir de tomar 30 lecturas consecutivamente (en menos de un segundo), es por eso que se utilizaron 32 lecturas para efectuar los cálculos.

Para generar los otros 19 puntos, se sumerge la estructura cada 5 cm (con ayuda de la escala que ya viene graduada en el tubo), después, se toma la lectura correspondiente de voltaje.

Tabla 2: Voltaje en función de la distancia del sensor al agua



Distancia del sensor al agua [cm]	Lectura en [mV]
135	195.50
130	200.39
125	205.28
120	210.17
115	219.94
110	234.60
105	249.27
100	263.93
95	283.48
90	307.92
85	332.36
80	366.57
75	410.56
70	454.55
65	518.08
60	591.40
55	689.15
50	806.45
45	997.07
40	1192.57

Ilustración 18. Distancia máxima del sensor al agua = nivel de agua mínimo detectable.

Graficando los puntos de la tabla, se genera una curva que se comporta como una función potencial. Una función potencial es aquella que tiene la forma $Y=kX^a$, donde “X” es la distancia del fototransistor al agua en centímetros, “Y” es el voltaje de la señal para esa distancia en miliVolts, “K” es una constante que depende de la profundidad del depósito, y “a” es una constante que define el comportamiento del fototransistor.

El sensor óptico arroja los valores de voltaje “Y”, con los cuales se tiene que determinar la distancia “X”, la cual establece el nivel de agua en el tinaco, por lo tanto, se deben encontrar los valores de las constantes “K” y “a” con los cuales se conocerá a “X”.

Con la ayuda de Microsoft Excel se grafica la tabla 2, la cual genera la curva de la ilustración 19, donde los puntos de la curva anaranjada son las mediciones experimentales, también, se incluyó la curva de la ecuación de la línea de tendencia potencial (en blanco punteado), dicha ecuación sirve para determinar a “K” y a “a”. El valor de “a” no depende del tipo de tinaco, es simplemente el valor que aproxima la forma de la curva, al comportamiento experimental del sensor, es decir, el sensor siempre se comportará igual independientemente del depósito que sea sensado.

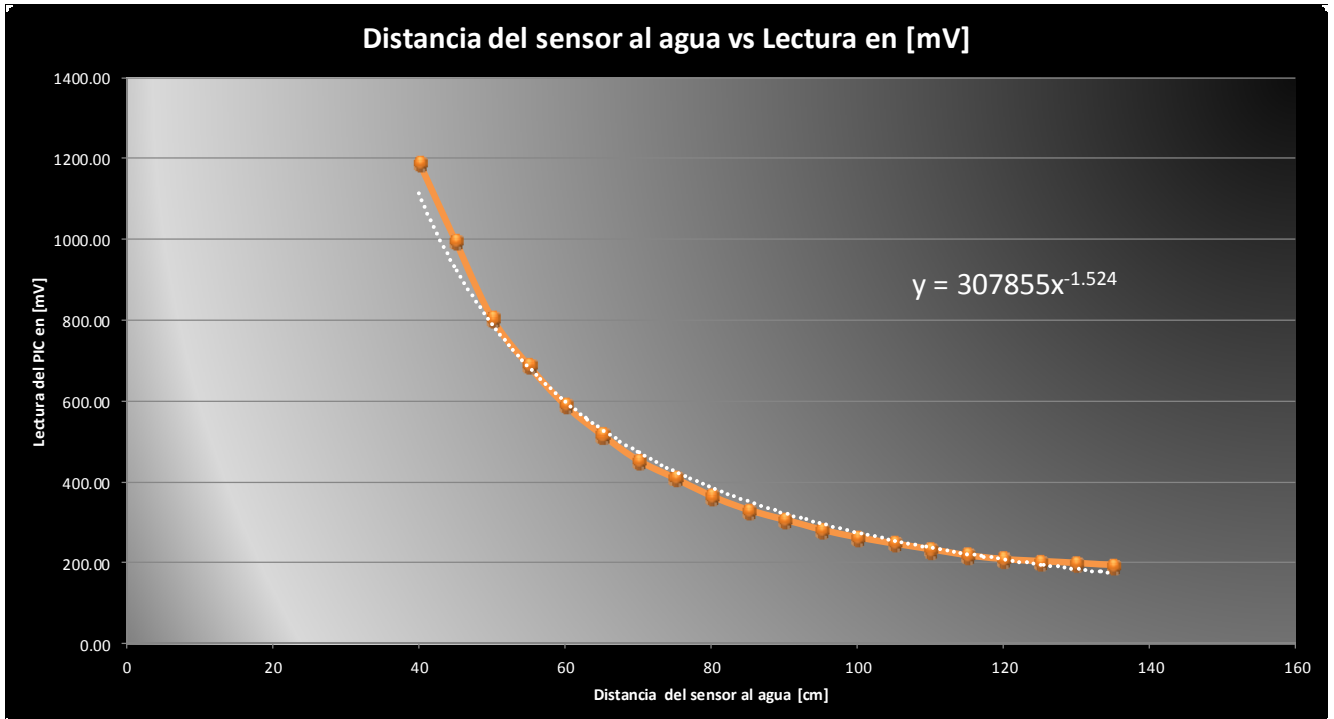


Ilustración 19: Grafica de la tabla 2, señal en mV en función de la distancia del sensor al agua.

Como se puede observar, el voltaje es una función que decrece conforme el nivel de agua va disminuyendo, es decir, cuando la distancia del sensor al agua aumenta. La constante “K” hará que la curva se desplace hacia la izquierda o hacia la derecha, dependiendo de la profundidad del depósito, por ejemplo: habrá depósitos menos hondos, por lo que la distancia del sensor al agua será menor, y por lo tanto, la gráfica se desplazará hacia la izquierda.

Para implementar el programa que calculará el nivel de agua, es conveniente que el PIC tenga la ecuación del comportamiento del sensor óptico, pero en valores digitales de la señal. La siguiente ecuación transforma el voltaje analógico de la señal del sensor óptico, a valores digitales LSB:

$$Y[LSB] = \frac{1023 * Y[mV]}{5000[mV]}$$

Ecuación 1: Para transformar de mV a valores LSB

Si se transforman todos los voltajes de la Tabla 2: Voltaje en función de la distancia del sensor al agua a valores LSB, se obtiene la siguiente tabla con su respectiva gráfica:

Tabla 3: Valores LSB para las distancias del sensor al agua

Distancia del sensor al agua [cm]	Lectura del ADC para 10 bits [0-1023]
135	40
130	41
125	42
120	43
115	45
110	48
105	51
100	54
95	58
90	63
85	68
80	75
75	84
70	93
65	106
60	121
55	141
50	165
45	204
40	244

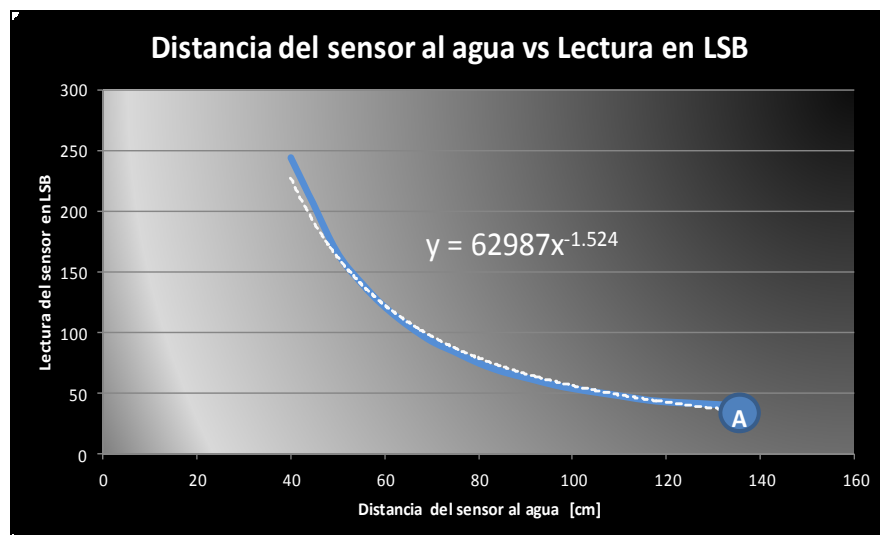


Ilustración 20: Grafica de Distancia del sensor al agua vs lectura del PIC en LSB.

Comparando las gráficas, el exponente “a” (comportamiento del sensor) no cambia, sólo cambia la constante del depósito “K”, obtenida a partir de datos experimentales. Lo interesante es, cuando a partir de un solo punto se determina “K”: Suponiendo que se quiere utilizar la misma estructura de sensado para un tinaco diferente, por ejemplo uno más pequeño, entonces, simplemente se tendría que recortar el tramo de tubo (pieza 4) de tal forma que la estructura toque el fondo y apenas sobre salgan del tinaco las piezas 1, 2 y 3, después, se mide la distancia del fototransistor al final de la estructura (pieza 5) y si el flotador es el mismo, y el comportamiento del fototransistor y del led infrarrojo también es el mismo (por lo tanto “a” es igual -1.524), lo que se tiene que hacer es sumergir 12cm la estructura del sensor, leer el valor LSB de la señal y calcular “K”, obteniendo la ecuación que modela el comportamiento teórico del sensor para cualquier distancia.

Para aclarar el párrafo anterior, se calculará la ecuación del sensor a partir del punto A de la ilustración 20, todo comienza despejando a “K” y a “X” de la ecuación de la línea de tendencia:

$$Y = KX^{-1.524} \rightarrow K = \frac{Y}{X^{-1.524}} \rightarrow X = \left(\frac{K}{Y}\right)^{\frac{1}{1.524}}$$

Ecuación 2: Variables despejadas de la ecuación de la línea de tendencia.

De la tabla 3, el valor LSB obtenido de forma experimental, para la distancia máxima (135cm) del fototransistor al agua, es de 40 LSB, sustituyendo ambos valores en la Ecuación 2: Variables despejadas de la ecuación de la línea de tendencia se obtiene lo siguiente:

$$K = \frac{40}{135^{-1.524}} = 70581$$

Ecuación 3: Valor de K.

Entonces, la ecuación del sensor queda:

$$Y = 70581X^{-1.524}$$

Ecuación 4: Ecuación determinada a partir del punto A.

Comparando la gráfica generada con datos experimentales y la gráfica generada a partir de la ecuación 4, se puede observar casi el mismo comportamiento, aunque el radio de curvatura es menor en la parte central de la curva, y se desplaza hacia la derecha debido al incremento de la constante "K", donde la máxima diferencia entre ambas es de aproximadamente 10cm en el nivel de agua.

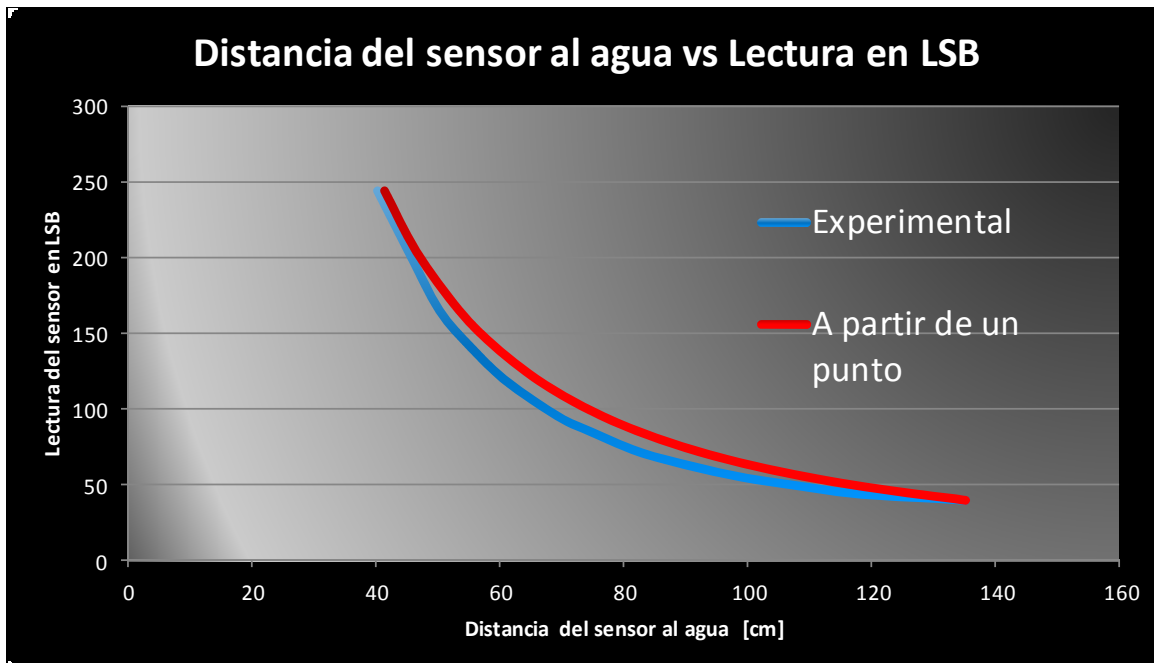


Ilustración 21: Curva teórica calculada a partir de un punto y curva experimental.

Al conocer la distancia del fototransistor al final de la estructura, y haciendo que la estructura toque el fondo del tinaco, se puede determinar la altura del nivel del agua en centímetros, simplemente restando la distancia determinada, a la distancia del sensor al fondo: En este caso 147cm – la distancia determinada "X" = altura del nivel del agua medida desde el fondo "h".

En la siguiente ilustración se muestra la relación entre las diferentes distancias:

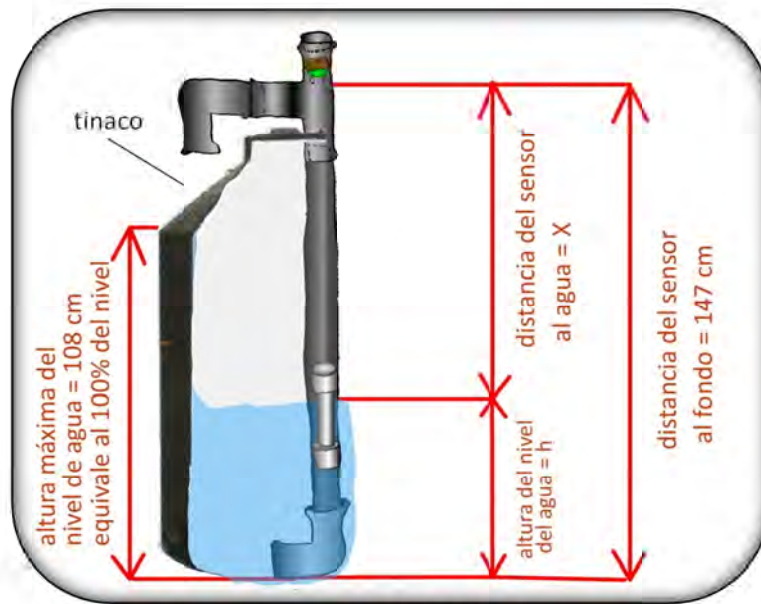


Ilustración 22: $h=147-X$.

Para conocer la distancia determinada "X", se sustituye el valor de "K" en la ecuación 2, donde "X" esta despejada:

$$X = \left(\frac{70581}{Y} \right)^{\frac{1}{1.524}}$$

Ecuación 5: Función que determina la distancia del sensor al agua, a partir de su valor LSB.

La altura máxima del nivel de agua también es un dato conocido, y representa el 100% de agua almacenada en el tinaco, entonces, si se divide "h" entre la altura máxima se obtiene el nivel del agua en porcentaje:

$$\text{nivel agua}[\%] = 100 \times \frac{h[\text{cm}]}{108[\text{cm}]}$$

Ecuación 6: Nivel de agua en el tinaco.

3.2 Nivel de agua en la cisterna

La estructura del sensor óptico no puede ser implementada en la cisterna por varias razones:

- Las cisternas tienen una profundidad mayor a la del tinaco, la distancia del fondo al techo de la cisterna, va de los 1.7m a los 2.2m, esto significa que el sensor óptico que se desarrolló, no funciona para estas distancias, debido a que una mayor longitud en el tubo provocará que la luz se refleje mucho menos en el flotador y más en las paredes, provocando un error en las lecturas. La función que determina la distancia, tiene un comportamiento potencial, entonces, los valores LSB estarán demasiado cerca uno del otro cuando el nivel de agua en la cisterna es bajo, y eso incrementará los errores en las mediciones; el sensor no funcionaría para niveles de agua muy bajos.

- La estructura del sensor óptico sobresale aproximadamente 20 cm del depósito en donde se instale, por lo tanto, si se instalara en la cisterna, sería un estorbo para el usuario porque muchas veces se utiliza el espacio sobre la cisterna.
- La cisterna tradicional de concreto tiene una tapa metálica que dificulta la instalación de la estructura del sensor óptico, se tendría que hacer un barreno de 5 cm de diámetro en el acero de la tapa para colocar el tubo, algo que el usuario preferiría no hacerlo.



Ilustración 23: Tapa metálica de la cisterna de concreto.

- Cuando el llenado de la cisterna se hace por medio de una pipa de agua, se tendría que desarmar la estructura del sensor para introducir la manguera con la que se hace el llenado.
- Si se utiliza el sensor óptico y la cisterna es sobrellenada, el agua podría mojar el conector del sensor y producir un cortocircuito que dañaría el dispositivo.
- Cuando no hay luz eléctrica, el dispositivo debe seguir funcionando con una batería, por lo tanto es importante que se consuma la menor cantidad de energía posible, para incrementar la duración de la batería. Considerando el funcionamiento de dos sensores ópticos, el dispositivo consumiría 60 mA únicamente del sensado, esto descargaría una pila (de buena calidad) de 9V hasta los 6V en sólo 8 horas de funcionamiento, según el siguiente gráfico¹⁰ obtenido para una pila Duracell® Ultra de 9v.

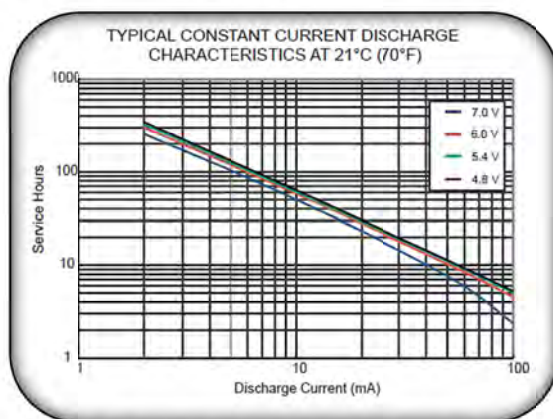


Ilustración 24: Duración en horas de una pila de 9V según su corriente de descarga.

¹⁰ www.duracell.com. Duracell Batteries, Alkaline-Manganese Dioxide Battery, MX1604 9V (6LR61).

- La cisterna no suministra directamente el agua al usuario, como en el caso del tinaco, entonces, no se necesita una gran resolución en la medida de agua de la cisterna.

3.2.1 Sensores resistivos

Para medir la cantidad de líquido en la cisterna, se utilizó la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, simplemente se introdujeron dos electrodos con una tensión eléctrica de 5V entre ambos, y esta diferencia de potencial genera una corriente en el agua. El agua pone una resistencia al paso de la corriente, que si es potable va desde los 160 K Ω hasta los 280 K Ω , esta resistencia es millones de veces menor a la resistencia del aire.

La primera vez que el electrodo toca el agua, la resistencia medida es de alrededor de 280 K Ω , después va disminuyendo con el tiempo hasta llegar alrededor de los 160 K Ω , debido a que se forman caminos de moléculas que facilitan la electrólisis del agua conforme pasa el tiempo. El ánodo comienza a sufrir una corrosión bastante acelerada, que termina destruyendo el electrodo, es por eso que se tiene que utilizar un metal resistente a la corrosión, en este caso se utilizó una placa de latón (aleación cobre-zinc utilizada en tuberías) en el ánodo para incrementar la durabilidad. Mientras mayor sea la corriente que circula a través de los electrodos, más rápida será la corrosión en el ánodo.

Se diseñó un circuito que manda una señal escalón al PIC, que va desde los 0V cuando el electrodo no toca el agua, hasta los 4 V cuando la toca. Al hacer pasar una corriente eléctrica por el agua, el agua se descompone en oxígeno gaseoso e hidrógeno gaseoso, una mezcla bastante explosiva. Mientras más corriente pase a través del agua mayor será la producción de estos gases; por lo tanto, hay que hacer pasar la menor cantidad de corriente eléctrica para hacer el sensado.

A diferencia del sensor óptico, a niveles muy bajos de agua tiene mayor exactitud, porque hay una menor distancia entre el ánodo y el cátodo cuando se utiliza un ánodo común.

Reportarle al usuario la cantidad de agua en sextos de cisterna, es una buena resolución para medir el nivel de agua en la cisterna, considerando que la capacidad de la cisterna ronda los 8 mil litros y que el tinaco más utilizado es de 1100 litros, entonces, con el agua de la cisterna se pueden rellenar 7 tinacos. Si se quiere trabajar con una resolución de sextos de tinaco, se necesitan siete electrodos para determinar los niveles de la cisterna, para éstos 7 niveles (electrodos) se utiliza un ánodo común, es decir, un electrodo positivo (ánodo) para los 7 electrodos que serán los cátodos. En resumen, lo menos que necesitamos es un cable de 8 hilos.

El cable con 8 hilos más fácil de conseguir en el mercado y cuyos conectores son fáciles de instalar y conectar, es el cable UTP utilizado en redes de computadoras, es un cable formado por 4 pares trenzados para reducir los efectos de ruido (ondas electromagnéticas) del exterior, utiliza conectores RJ45 y es fácil de conseguir en el mercado. Cada hilo está hecho de un solo alambre, y cada alambre pueda ser utilizado como un electrodo, sin necesidad de utilizar algún otro dispositivo (excepto la placa de latón montada en el ánodo), esto significa que el propio cable será utilizado como un sensor de nivel a diferentes alturas, simplemente se le quita un poco de aislante a la punta del cable, como se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 25: Sensores resistivos.

La siguiente figura muestra la forma en que se transformó el cable UTP en un sistema de electrodos a diferentes alturas.

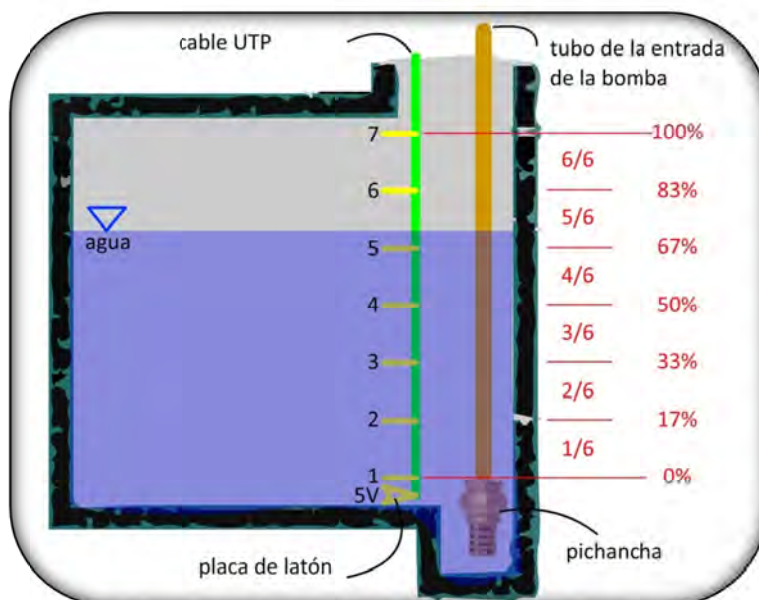


Ilustración 26: Posición de los electrodos en la cisterna.

Existen normas para conectar éste tipo de cable: Cada hilo dentro del cable viene con un color diferente para poder ser identificado, entonces, si se utiliza la norma tipo B, la conexión del cable de sensado queda como se muestra en la siguiente figura; donde el hilo número 1 es la placa

de latón (ánodo) correspondiente al color naranja-blanco, el hilo 8 es el que marca los 6/6 en el nivel de la cisterna y es de color café.

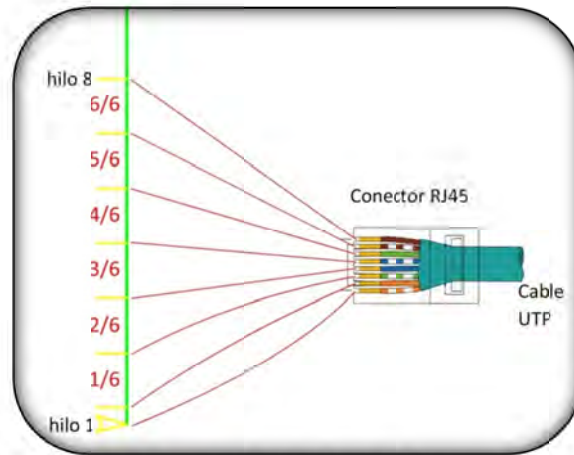


Ilustración 27: Asignación de nivel según la norma B para UTP.

Tabla 4: Nivel de agua en la cisterna en función de los sensores que tocan el agua.

número de hilo	función	Color del hilo	NIVEL DE AGUA EN LA CISTERNA	
			sin tocar agua	al tocar agua
1	ánodo	anaranjado-blanco	SIEMPRE TOCA EL AGUA	
2	sensor 1	anaranjado	VACÍO	del 0% al 17%
3	sensor 2	verde-blanco	del 0% al 17%	del 17% al 33%
4	sensor 3	azul	del 17% al 33	del 33% al 50%
5	sensor 4	azul-blanco	del 33% al 50%	del 50% al 67%
6	sensor 5	verde	del 50% al 67%	del 67% al 83%
7	sensor 6	café-blanco	del 67% al 83%	del 83% al 100%
8	sensor 7	café	del 83% al 100%	100%

3.2.2 Circuito de los sensores resistivos

Cuando el electrodo no toca el agua, se manda una señal de 0V hacia el PIC, pero al tocar el agua, la señal es de 4 Volts y la corriente que se genera es mucho menor a 1 mA, esto se logró simplemente utilizando una resistencia que redujera el flujo de la corriente hacia el cátodo (tierra). Cada uno de los cátodos manda una señal al PIC, por lo que el PIC recibe 7 señales diferentes correspondientes a los diferentes niveles.

La siguiente imagen muestra la configuración del circuito de los sensores resistivos; está dividida en tres partes: la primera ejemplifica la manera en que es enviada la señal hacia el agua y como viaja hacia el PIC, la segunda es el circuito equivalente de ese proceso, y la tercera es la forma en que se conectan los siete electrodos del sensado resistivo:

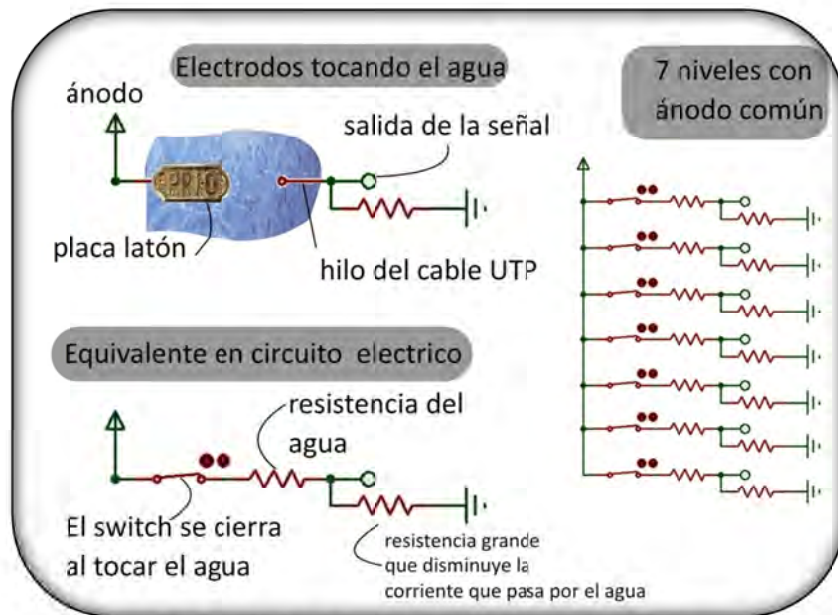


Ilustración 28: Circuito de los sensores resistivos.

3.3 Encendido automático de la bomba de agua

Las bombas de agua que se instalan en los hogares, utilizan una corriente de 20 A como máximo, entonces, se necesita un switch que soporte el paso de 30 A de corriente (por cuestiones de seguridad), y que se pueda abrir o cerrar según la señal que envíe el PIC. El dispositivo que mejor se ajusta a lo anterior, es un relevador, también conocido como relay o simplemente relé.

Se seleccionó un relevador automotriz por cuestiones de disponibilidad, ya que en cualquier refaccionaria se pueden conseguir, a un costo relativamente bajo \$43 M.N, soportan grandes corrientes eléctricas, y su señal de activación es de 12V (7V por arriba de la tensión con la que trabaja el PIC), entonces, con un pequeño regulador se puede obtener la tensión de alimentación de los demás circuitos.



Ilustración 29: Relevador Bosch modelo: 0 332 209 150, soporta una corriente de 30 A, y la señal de activación es de 12V.

Como se puede observar en la Ilustración 29: Relevador Bosch modelo: 0 332 209 150, soporta una corriente de 30 A, y la señal de activación es de 12V, el relevador está completamente sellado, eso le permite estar en funcionamiento a la intemperie. Para la instalación se utilizaron terminales de latón aisladas, que facilitan el cambio del relevador en caso de falla; casi nunca sucede, pero en ocasiones los relevadores se quedan pegados después de muchos años de uso, y

aunque el PIC no envíe señal alguna, el relevador se queda activado, cerrando el circuito y manteniendo la bomba de agua encendida, por lo tanto, se debe implementar un switch que permita al usuario desconectar la bomba en cualquier momento y también otro switch que permita el encendido manual de la bomba de agua.

Hay relevadores que internamente cuentan con un diodo y una resistencia, que protegen la bobina de los picos de voltaje que se generan, cuando se activa y desactiva el relevador, pero no es el caso: el relevador utilizado no cuenta con esta característica por lo que se debe utilizar un circuito que proteja el relevador de los picos de voltaje y descargas que pudieran dañar la bobina. La fotografía de la derecha en la Ilustración 29: Relevador Bosch modelo: 0 332 209 150, soporta una corriente de 30 A, y la señal de activación es de 12V, se conecta como en la ilustración 30:

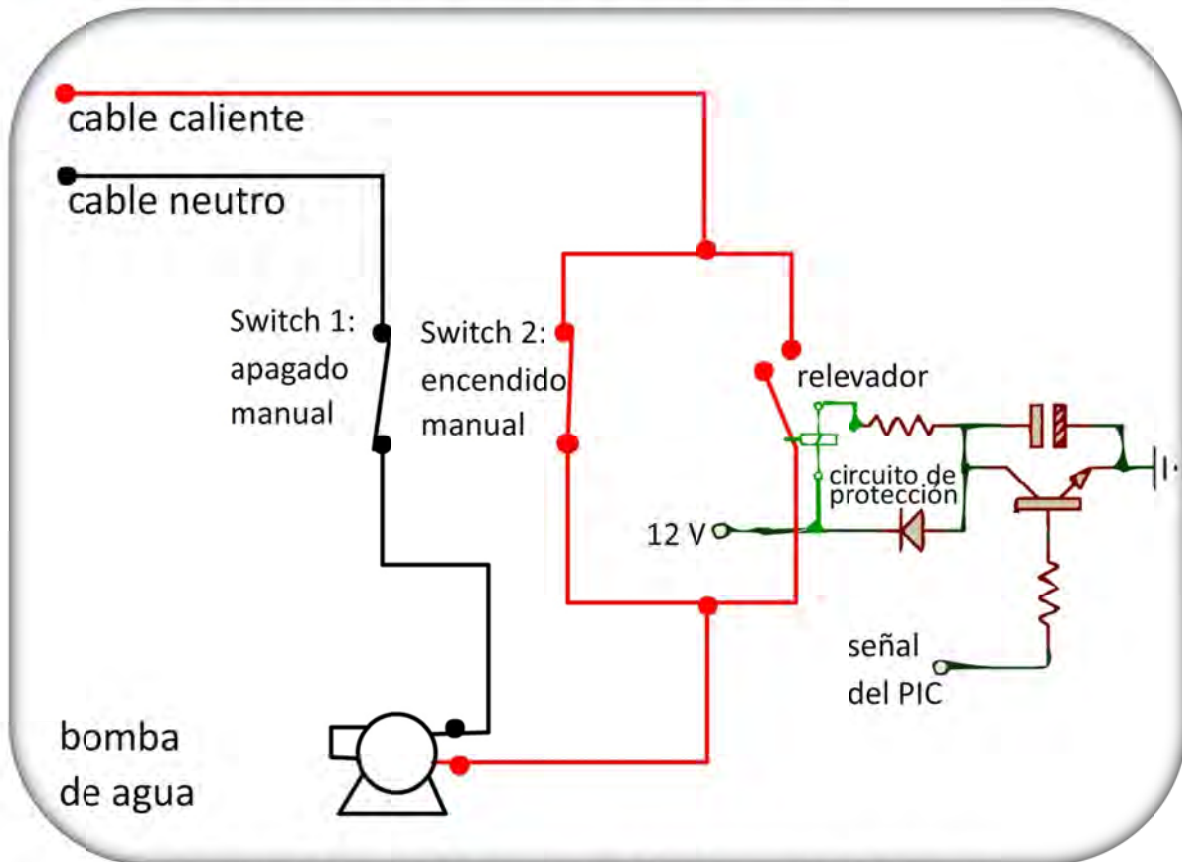


Ilustración 30: Conexión del relevador con la bomba y su circuito de protección.

3.4 Interfaz con el usuario

Debe haber una comunicación entre el dispositivo y el usuario, de tal forma, que el usuario le indique al dispositivo en que rango debe mantener el nivel de agua del tinaco, y el dispositivo le muestre al usuario la cantidad de agua potable que dispone.

Para realizar la comunicación, se utilizaron cuatro botones y una pantalla de cristal líquido (LCD) de dos líneas con 16 caracteres cada una. Con ayuda del PIC, se muestran mensajes en la pantalla, con los que el usuario puede interactuar mediante los 4 botones. Las funciones de los cuatro botones en el dispositivo, están programadas para: aumentar, disminuir, aceptar y salir.

Como la mayoría de la electrónica del dispositivo funciona con 5V, lo primero que se necesita es adecuar los 12V DC con los que se alimenta el dispositivo.

3.4.1 Circuito de alimentación

El circuito de alimentación está diseñado para recibir 12V DC, los cuales serán utilizados para alimentar el relevador, la alarma acústica (buzzer), y toda la electrónica que utiliza 5V. En caso de que se interrumpa el suministro de los 12V, se cuenta con una pila de respaldo de 9V que inmediatamente entra en acción y sigue suministrando energía de forma continua al dispositivo (*nobrake*). El PIC sabe que utiliza la energía de la pila, gracias a una señal que está continuamente leyendo, dicha señal se comporta como una función escalón: varía de los 5V cuando el dispositivo es alimentado con 12 V, a los 4V cuando el dispositivo utiliza la energía de la pila.

Si se utiliza la pila, el dispositivo apaga la luz de la pantalla para ahorrar energía y permite seguir con el sensado, reportando los niveles de agua en ambos depósitos al usuario.

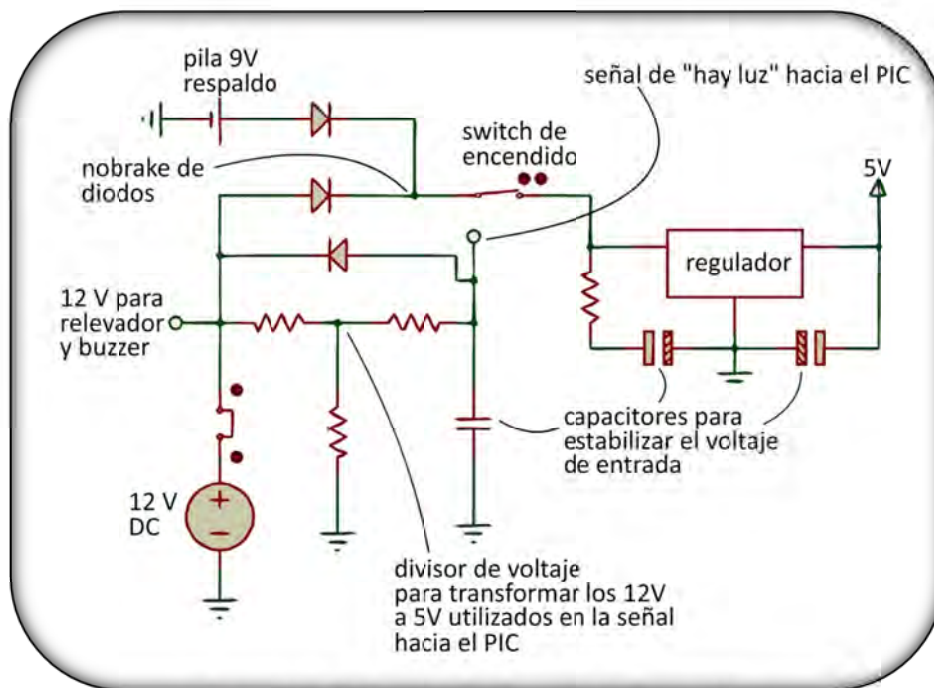


Ilustración 31: Circuito de alimentación y respaldo.

Aunque el PIC se quede sin energía, puede conservar información gracias a su memoria EEPROM interna, en la cual se almacenan los datos de la calibración y el rango de nivel de agua que el usuario había programado.

3.4.2 Pantalla

La pantalla utilizada, es una pantalla de cristal líquido que tiene dos líneas con 16 caracteres cada una (LCD 16x2), estos caracteres están formados por una matriz de 5x7 puntos y tienen una representación binaria de 8 bits, este número de 8 bits busca en la memoria de la pantalla el símbolo al que corresponde y después lo imprime en la pantalla, en la ubicación que le corresponde. Tiene un microcontrolador Hitachi 44780 que le permite comunicarse mediante 4 bits con el PIC, para recibir las instrucciones de lo que se tiene que imprimir.

La pantalla tiene una luz de fondo de color verde (depende del fabricante), pero al cambiar el led por uno blanco, la visibilidad de los caracteres mejora.



Ilustración 32: Pantalla LCD 16x2 con luz de fondo.

Como parte de las características que debe cumplir el dispositivo, se deben utilizar diferentes colores en la luz de fondo de pantalla, para indicar diferentes cantidades de agua disponible, a manera de semáforo:

Tabla 5: Colores de la pantalla y su significado

Blanco	Hay agua suficiente en ambos depósitos
Amarillo	Ya no hay agua en la cisterna
Rojo	El agua está a punto de terminarse

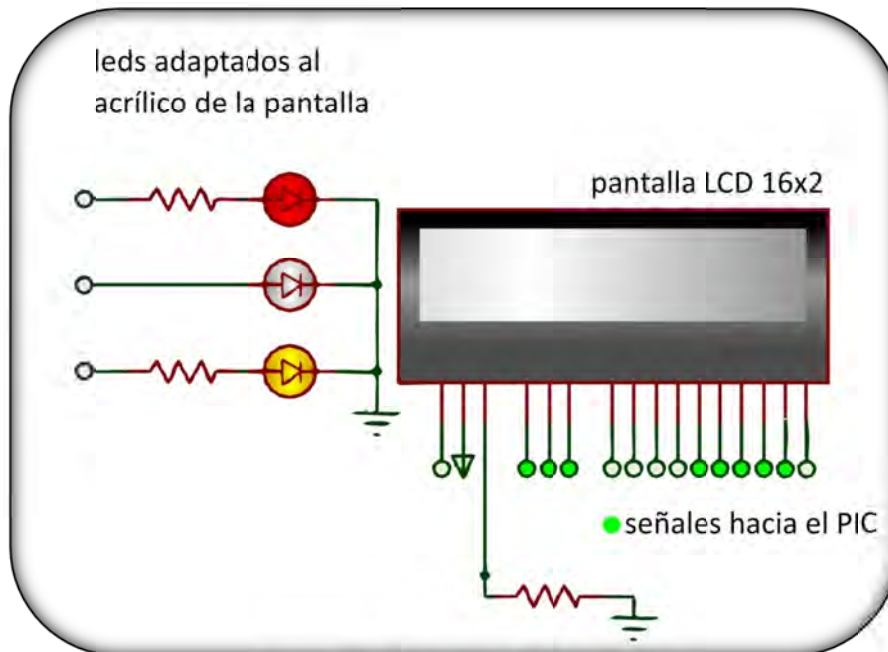


Ilustración 33: Circuito de la pantalla.

3.4.3 Botones Táctiles

Los botones normales tienen algunas desventajas, hubo dos de ellas que fueron el punto de partida para el desarrollo de los botones táctiles. La primera es, que algunas personas no tienen la suficiente fuerza para presionar un botón, o podrían tener algún tipo de enfermedad que dificulte

la tarea (como podría ser artritis). La segunda es que los botones mecánicos son menos durables, debido al desgaste de las piezas en movimiento, que ocasiona fallas como el falso contacto al presionar el botón, o también, algunos botones se llegan a quedar pegados. A los botones táctiles desarrollados, se les llama “botones” porque el contacto con el dedo, tiene que ser en un área restringida, en la cual se han colocado los conductores que hacen llegar los electrones hacia la base de un transistor; es esta zona sensible al tacto la que funciona como botón.

Los humanos al igual que otros seres vivos, tienen la capacidad de conducir corriente eléctrica a través de su cuerpo. En los dedos generalmente hay electrones en exceso que se descargan hacia el ambiente, además, la piel puede conducir corrientes eléctricas a través de su superficie. Aprovechando lo anterior, se desarrolló un dispositivo sensible al tacto, porque al hacer pasar una pequeña corriente a través de la superficie del dedo, se genera una señal que determina que el botón fue tocado, gracias a un transistor que amplifica la tensión negativa aplicada en su base.

Para mejorar la calidad de la señal, se utilizaron dos conductores, ambos son tocados al mismo tiempo por el dedo; uno va conectado a tierra y otro va conectado a la base del transistor. En el momento del contacto con el dedo, los electrones viajan desde tierra hasta la base del transistor, utilizando la piel como camino.

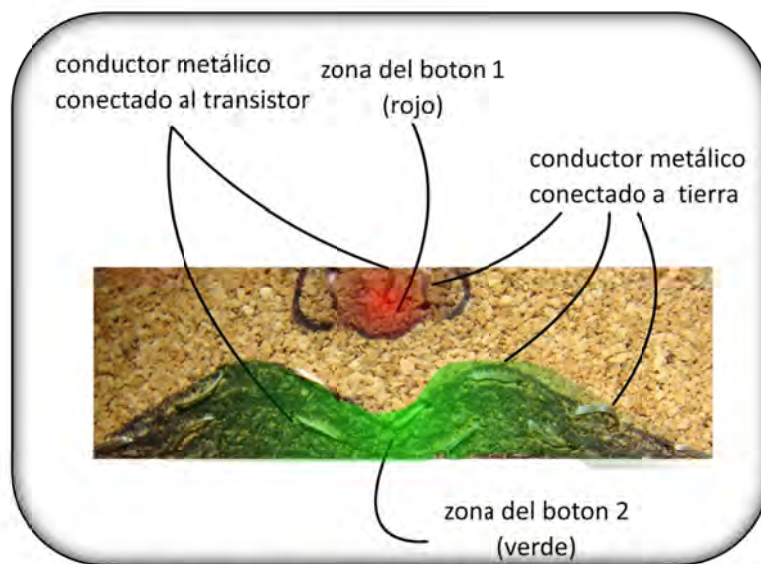


Ilustración 34: Botones touch. Los conductores están colocados muy cerca uno del otro; cuando el dedo toca la zona del botón, hace contacto con ambos conductores al mismo tiempo, mandando una señal clara.

Para esta tarea se utilizó un dispositivo independiente del PIC, el cual, hace un promedio de cien lecturas de la señal del transistor y determina si el contacto con el dedo es real. También, permite calibrar la sensibilidad de los botones al tacto, mediante un potenciómetro. Otra gran ventaja, es que el dispositivo puede medir el tiempo que dura el contacto con el botón, realizando así, diferentes funciones (dependiendo de la duración de cada contacto) por ejemplo: si el botón de “Aceptar” es tocado por 4 segundos, el dispositivo reinicia el dispositivo, y cuando el botón “Cancelar” es tocado durante 4 segundos, entonces el dispositivo se prepara para ser conectado a la computadora mediante el puerto USB.

3.4.4 Alarma acústica (Buzzer o “zumbador”)

La alarma acústica se activa cuando el nivel de agua en el tinaco es muy bajo y está a punto de terminarse, el PIC determina si el nivel de agua es inferior al mínimo nivel de agua que el sensor óptico en el tinaco puede medir, en este caso, se enciende la alarma acústica. Obviamente si el nivel de agua en el tinaco es inferior al mínimo programado, se debe a que no hay agua en la cisterna para rellenar el tinaco.

La alarma se apaga por dos razones: cuando el dispositivo funciona con pila y cuando el usuario decide a apagarla con el simple toque de un botón; para algunos usuarios puede resultar molesto el zumbido, la idea es hacer consiente al usuario de que está a punto de terminarse el agua potable, una vez enterado, no se necesita seguir escuchando el ruido.

El buzzer consiste en un dispositivo que une dos láminas metálicas, alrededor de una de ellas se coloca una bobina que hace variar un campo magnético, este campo magnético dobla la lámina de metal y esto produce un sonido; se utiliza un circuito que repite lo anterior varias veces, y dependiendo de las repeticiones por segundo del golpe entre las dos láminas, se genera un sonido de cierta frecuencia. Para el dispositivo desarrollado se utilizó un buzzer de 12V.



Ilustración 35: Buzzer de 12V DC utilizado.

El circuito de conexión eléctrica del buzzer es muy sencillo, debido a que el buzzer tiene su propio circuito que lo hace funcionar, solo necesita 12V de alimentación.

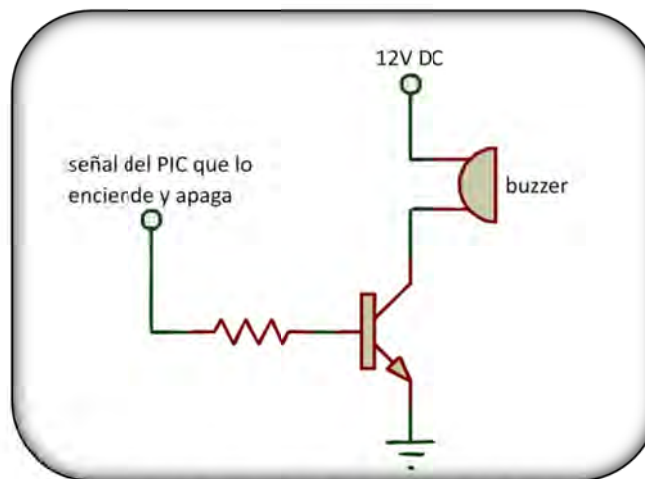


Ilustración 36: Circuito de conexión del buzzer.

3.4.5 USB

Aprovechando que el PIC tiene el hardware necesario para transmitir información mediante el puerto USB de la computadora, se implementa un circuito que permite reprogramar el PIC las veces que sea necesario: El PIC tiene una memoria interna, en la cual se almacenan los programas que ejecuta. Lo primero que se necesita es grabar en la memoria interna del PIC un programa conocido como *bootloader* que realiza diferentes funciones:

- Le indica al PIC que almacene el programa hecho por el usuario en otro lugar de la memoria diferente al lugar donde está grabado el *bootloader*, para no sobrescribirlo y que permanezca en funcionamiento constante.
- Detecta cuando un botón específico es presionado (en este caso tocado) durante el arranque del PIC. Si no es presionado, entonces el PIC busca el programa hecho por el usuario y lo ejecuta.
- En caso de que el botón sea presionado al inicio, entonces, el PIC ejecutará ciertas instrucciones que le permitirán comunicarse con la computadora, y para la comunicación el PIC necesita un circuito auxiliar y un cable que lo conecte con el puerto de la computadora.

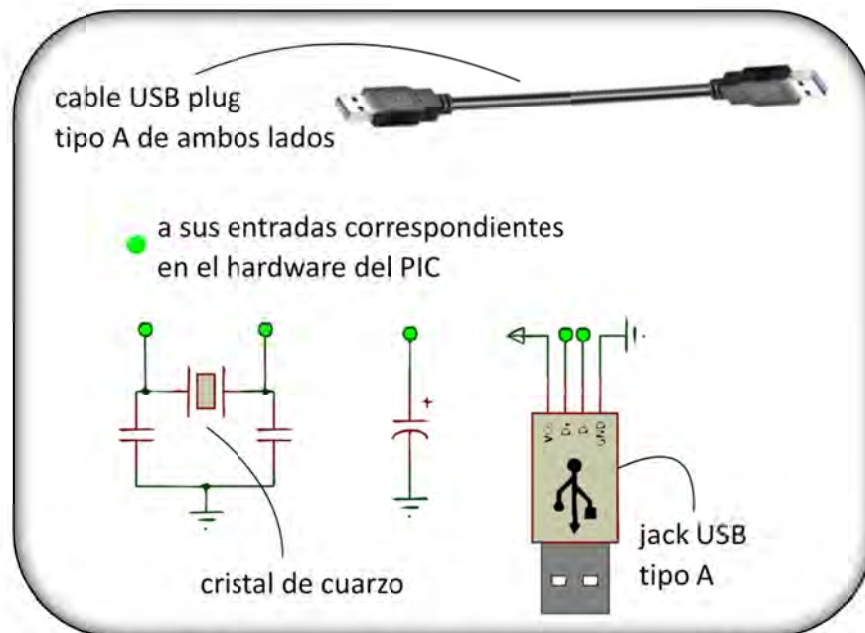


Ilustración 37: Circuito auxiliar para conectar dispositivo con la computadora y el cable utilizado para la conexión USB.

- Ya que se conecta con la computadora, se puede decir que la computadora lo escucha pero no le entiende, por eso la computadora necesita tener instalados unos *drivers* que le dan instrucciones de cómo comunicarse con el PIC.
- Aparte de los drivers, la computadora también necesita un *software* que le permita al usuario seleccionar el programa que quiere grabar en el PIC.

Para grabar el bootloader en el PIC se requiere de un dispositivo conocido como programador de microcontroladores, que puede programar distintos tipos de microcontroladores incluido el PIC18f4550. El quemador cuenta con una base para introducir el PIC que se quiere

programar, y viene con un disco que incluye unos *drivers* para ser detectado por la computadora. Mediante un *software*, se selecciona el programa que se grabará en el PIC. El *bootloader* sólo se graba una vez, por lo tanto, el programador sólo se utiliza una vez.

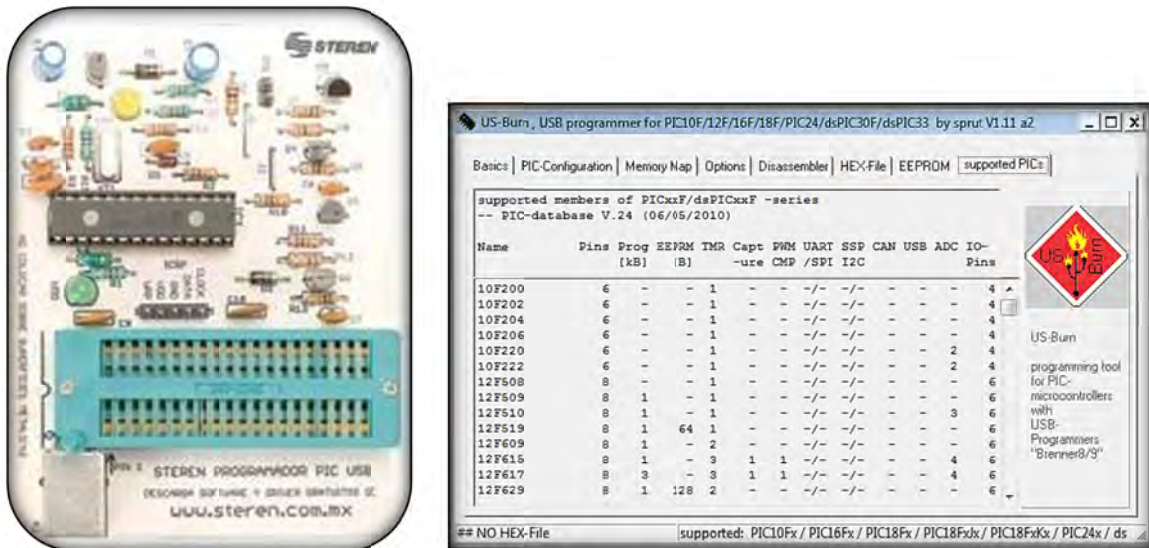


Ilustración 38: Programador de microcontroladores Steren PIC-600 y su respectivo software.

El *bootloader* que se graba en el PIC es el programa: Microchip USB Bootloader Versión 1.2. Escrito por Microchip Technology, Inc. En lenguaje PIC 18, utilizando el compilador C18 3.11. Este programa se distribuye libremente por Microchip Technology, Inc. Y se desarrolló para su tarjeta de entrenamiento conocida como PICDEM FS USB, dicha tarjeta contiene botones, luces, sensores y puertos que pueden ser utilizados para practicar las diferentes funciones que realiza el PIC. De todo lo que tiene la tarjeta de entrenamiento, simplemente se aísla el circuito que la conecta con la computadora, y se le hacen algunas modificaciones al *bootloader* original para adecuarlo al dispositivo desarrollado, las principales fueron: cambiar la frecuencia del cristal de cuarzo, cambiar la configuración del PLL para la nueva frecuencia de trabajo, cambiar el botón que activa la comunicación con la computadora, y también cambiar el pin que enciende el led indicador de conexión con el puesto USB, para utilizar la luz de fondo blanca de la pantalla.

Finalmente, se puede utilizar el software proporcionado por Microchip Technology, Inc. De forma libre y gratuita, para que usuario re programe su dispositivo las veces que sea necesario, siempre y cuando el PIC ya tenga grabado el *bootloader*. La siguiente imagen muestra la ventana de la aplicación con la que se puede reprogramar el dispositivo, las veces que sea necesario:



Ilustración 39: Software PICDEM(TM) FS USB Demo Tool – versión 1.00, utilizado para reprogramar el PIC.

En resumen, el PIC tiene una memoria donde almacena los programas que ejecuta, dicha memoria se puede dividir en dos: una parte solo se graba una vez, donde va el *bootloader* que hace que el PIC pueda ser programado desde el puerto USB de la computadora con el *software* antes mencionado, y la otra parte contiene el programa de la aplicación del usuario.

3.5 Hardware del dispositivo

Para diseñar el circuito eléctrico, se utilizó un software (PROTEUS versión 7.5 SP3) que brinda la posibilidad de simular circuitos eléctricos, también, permite evaluar y medir el comportamiento del circuito directamente desde la computadora. Dentro de todos los elementos electrónicos que contiene la biblioteca del simulador, se encuentra el microcontrolador PIC18F4550, al que se le pueden grabar de forma virtual los programas hechos por el usuario; de esta manera no se necesita un dispositivo externo (programador de microcontroladores PIC 600) para comprobar cómo funcionan las instrucciones ejecutadas por el PIC.

Existen algunos problemas con el simulador, en muchas ocasiones, el circuito virtual se comporta distinto al circuito real, es por eso que ciertas funciones del microcontrolador no se pueden simular, solo se pueden probar en la realidad. Tal fue el caso de la conexión USB y los sensores resistivos, principalmente. En el caso de la conexión USB, el problema es que la velocidad real con la que trabaja el PIC es demasiado alta para el simulador. Por esa razón el software de simulación no fue utilizado para calcular todos los valores, simplemente fue una herramienta que aceleró el proceso de diseño del circuito.

Algunos otros valores en los elementos electrónicos fueron medidos de forma tradicional con el multímetro digital, estas mediciones experimentales son por ejemplo, la resistencia promedio del agua considerada en los sensores resistivos, las resistencias del circuito touch. Otros valores son los que recomienda el fabricante para el buen funcionamiento del elemento electrónico, y finalmente se tienen los valores que fueron calculados para obtener diferentes respuestas en el circuito. Se puede decir que para diseñar el dispositivo final, se utilizó una mezcla de experimentación, simulación, y cálculos.

La configuración del circuito final, incluyendo todos sus sistemas (sensado, interfaz con el usuario, comunicación USB y alimentación) queda de la siguiente manera:

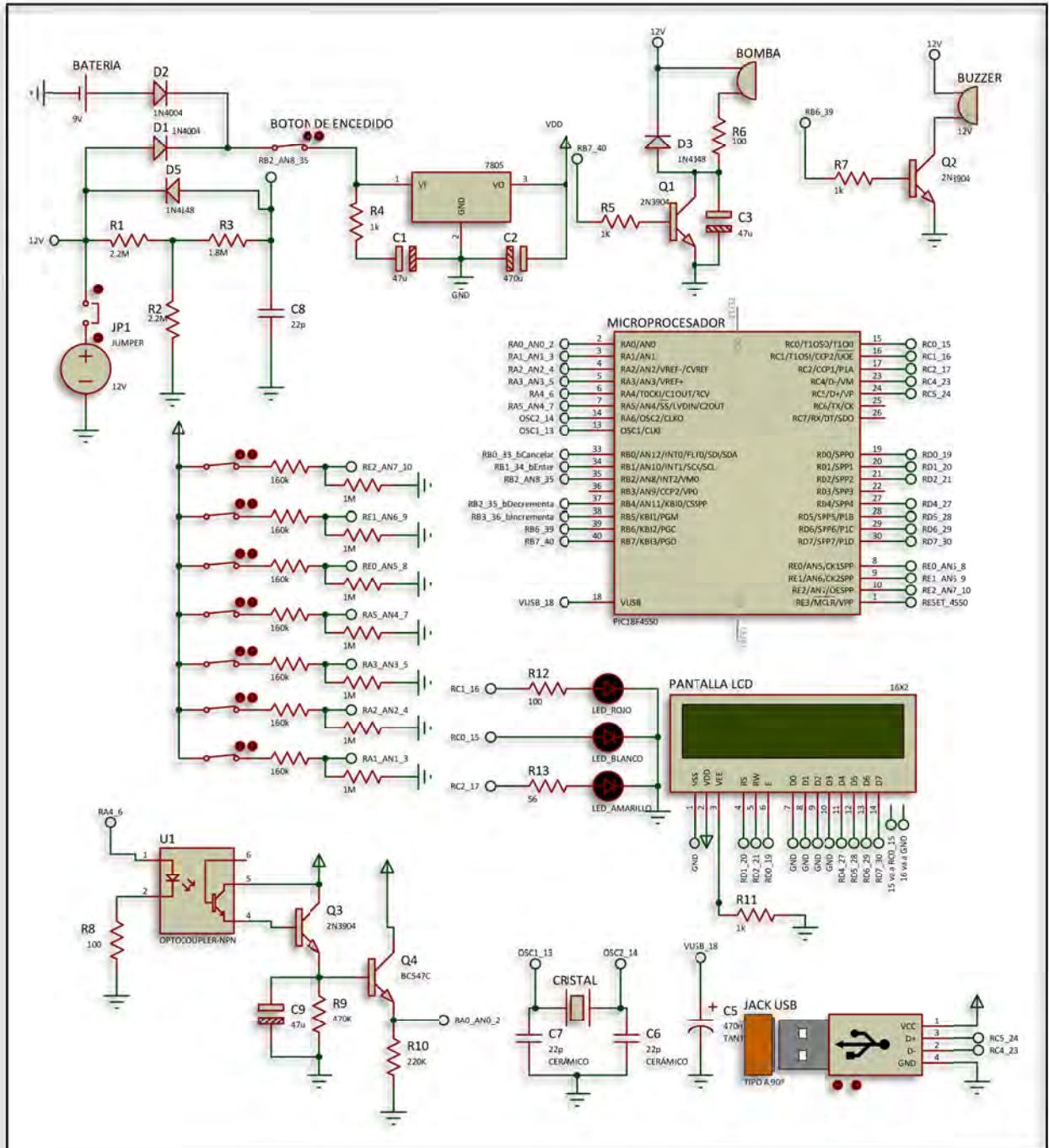


Ilustración 40: Configuración final del circuito eléctrico.

Por el hecho de ser el primer prototipo, el circuito del dispositivo se alambra en una *protoboard*, de esta forma se pueden implementar cambios fácilmente, por las siguientes razones:

- El usuario puede modificar el cableado del dispositivo sin necesidad de soldar las conexiones, simplemente cambiándolas de lugar.

- En caso de falla, el remplazo de los componentes se puede hacer con la mano en corto tiempo.
- La protoboard se puede reutilizar muchísimas veces, entonces, si el usuario quiere personalizar su dispositivo, por ejemplo, agregando otro sensor óptico para otro depósito o tal vez controlar dos cisternas, las modificaciones se pueden hacer fácilmente modificando la protoboard y reprogramando el PIC.

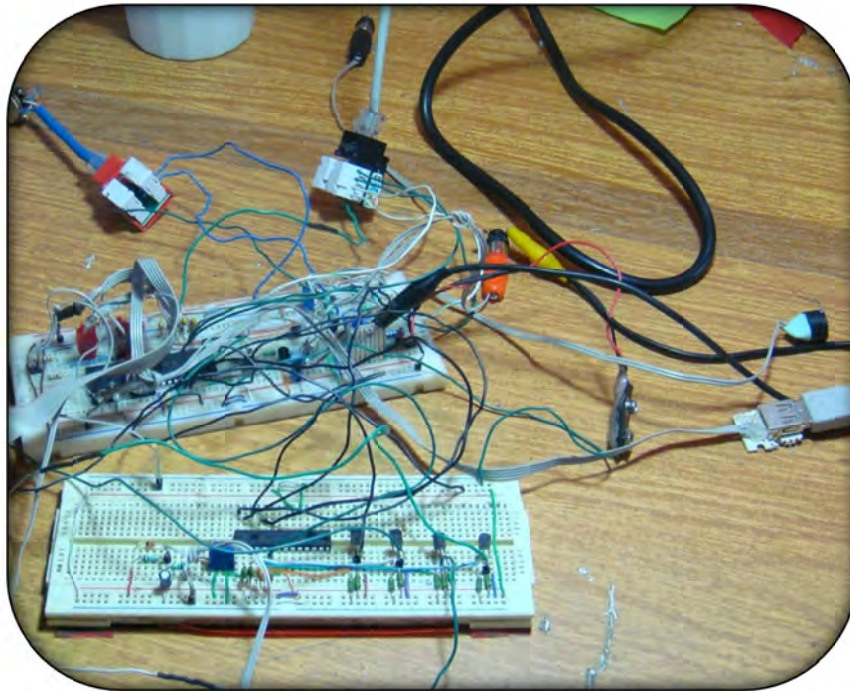


Ilustración 41: Circuito eléctrico del dispositivo, implementado en *protoboard*.

Finalmente, el circuito completo cabe en dos *protoboards*, en la primera se encuentran los diferentes sistemas del PIC, y en la otra se alambra el circuito auxiliar de los botones táctiles. Se utiliza un transformador de corriente, que transforma 120V AC a 12V DC, este dispositivo no se diseñó, simplemente se utilizó uno de los tantos disponibles del mercado. Los conectores utilizados para los sensores, son conectores RJ45 estándar y se pueden colocar fácilmente con unas pinzas especiales. El *jack* USB tipo A que se utiliza, es el mismo que tienen las computadoras para conectar dispositivos; las conexiones que alimentan el dispositivo y la señal del relevador, son hechas mediante conectores RCA.

Una vez que se tienen los circuitos eléctricos ya implementados, se necesita protegerlos con una carcasa, para la cual se consideran algunas características de los dispositivos amigables con el ambiente, por ejemplo: renovable, natural, reciclable, biodegradable, obtenida a partir de métodos no invasivos al medio ambiente, y que permita colocar los conductores para las zonas activas de los botones táctiles.

Después de considerar diferentes materiales, finalmente se utilizó corcho y papel kraft, a los cuales se les puede dar forma simplemente mojándolos. El corcho es un material totalmente natural que asila la corriente eléctrica, la temperatura y es fácil de moldear.

Considerado el volumen de ambas protoboards y el tamaño de la batería de 9V, se procede a diseñar la carcasa, la cual consiste en una hoja de corcho de 5mm de grosor, doblada de cierta forma y unida mediante papel kraft. En la misma hoja de corcho se colocaron los conductores necesarios para el sistema de los botones táctiles. Estos conductores consisten en un tramo de cable de aluminio formado por varios hilos delgados (que brindan flexibilidad), para colocarlos simplemente se zurcen sobre el corcho.

Se utilizó silicón para pegar las tapas laterales del dispositivo, así como para aislar interiormente los conductores del sistema táctil. Finalmente, se dibujaron las zonas activas de los botones táctiles dándole una personalidad única al dispositivo, haciéndolo más amigable a la vista del usuario. Esta forma no es definitiva, depende del gusto del usuario y de la facilidad del corcho para adoptar las formas deseadas; se puede decir que la forma de la carcasa que se muestra en la siguiente figura, fue sólo un prototipo.

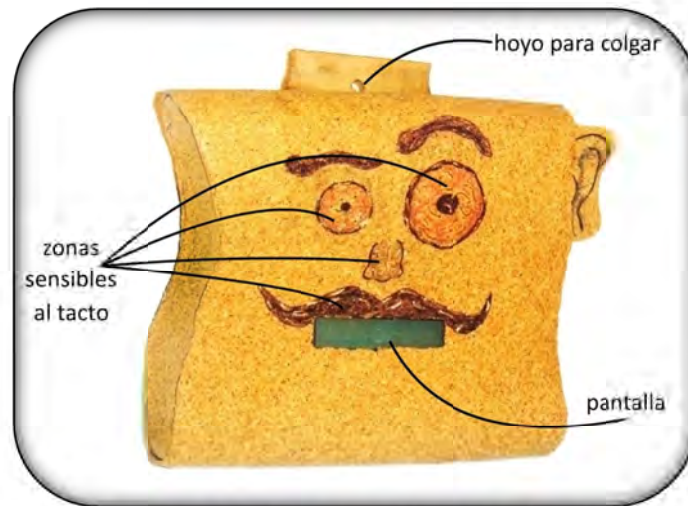


Ilustración 42: Configuración final de la carcasa.

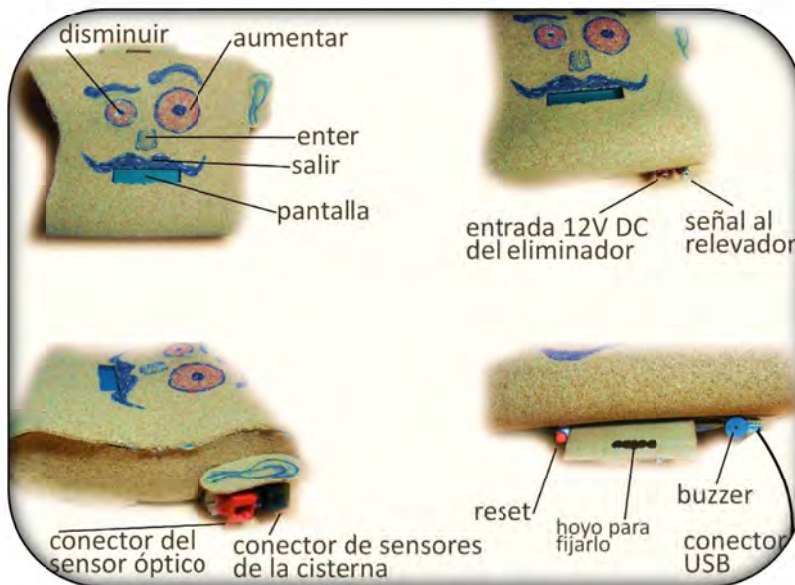


Ilustración 43: Partes del dispositivo.

En esta fase de desarrollo, se puede decir que el cuerpo del dispositivo (hardware) está listo, sólo hace falta darle vida mediante el software: el programa con instrucciones para el PIC acerca de cómo utilizar los circuitos electrónicos implementados.

3.6 Software del dispositivo

El software del dispositivo es una aplicación que se ejecuta en el PIC, es totalmente independiente del *bootloader* y está guardado en la memoria. Contiene las instrucciones de cómo se van a utilizar las entradas y salidas PIC, de tal forma que pueda interactuar con el usuario y recibir indicaciones acerca de lo que tiene que hacer y cómo lo va a hacer, también implica darle información al PIC para interpretar correctamente las señales de los sensores.

Esta aplicación es un programa que fue escrito en un lenguaje muy parecido al lenguaje C++, se trata del compilador PCWHD versión PCH 4.088 de CCS®, este software genera un archivo con extensión .hex. Al momento de compilar el programa, dicho archivo se graba en el PIC mediante el *bootloader*, y contiene lo mismo que el programa hecho por el usuario, pero en un lenguaje que el PIC pueda entender. A continuación se habla de las etapas ejecutadas por el programa, cuya estructura conforma la aplicación que da vida al dispositivo.

3.6.1 Configurar el PIC

Lo primero que se tiene que hacer al momento de generar la aplicación, es configurar el PIC para poder utilizarlo, se le tienen que dar instrucciones de cómo van a ser utilizados sus sistemas auxiliares, dependiendo de los circuitos utilizados. Los parámetros más importantes son los siguientes:

- Se deben configurar los pines del PIC que serán utilizados como entradas y los que serán utilizados como salidas. Las entradas son los pines por los que se envía una señal al PIC proveniente de los sensores y los botones. Las salidas son los pines por los que el PIC alimenta una corriente eléctrica no mayor a 20mA con una tensión de 5V, cuando la salida se apaga, el voltaje en el pin de salida es de 0V.
- La configuración del convertidor analógico digital del PIC, debe contemplar la frecuencia con la que trabaja el PIC, para que se respete el tiempo mínimo que tarda en hacerse la conversión de voltaje analógico, a un valor LSB. También se indica cuántos canales ADC serán utilizados para convertir señales.
- Se inician los *drivers* de la pantalla LCD y las librerías para utilizar funciones matemáticas avanzadas, como es el caso de las potencias fraccionales negativas.
- Se inicializan todas las variables globales con sus valores correspondientes.
- Se definen las constantes globales y sus estados iniciales.
- Se leen los 4 datos que se almacenan en la memoria de forma permanente y de los cuales depende el buen funcionamiento del dispositivo, los cuatro valores son:
 1. El valor LSB del sensor óptico cuando el nivel de agua se encuentra en el mínimo que la estructura puede sensar, es decir, cuando el flotador está a punto de flotar, equivalente a sumergir la estructura 12cm y tomar el valor

de la señal. Se utiliza para calcular la constante “K” de la Ecuación 3: Valor de K.

2. El porcentaje de nivel de agua mínimo en el tinaco antes de que se encienda la bomba de agua.
 3. El porcentaje de nivel de agua máximo en el tinaco antes de apagar la bomba.
 4. La altura máxima del nivel de agua en centímetros, considera como el 100% del tinaco.
- Se determina la velocidad con la que trabajará el microcontrolador, en este caso, se utilizó un cristal exterior de 8 MHz, esa frecuencia pasa por un *Prescaler* que la divide entre dos, obteniendo los 4 MHz necesarios para activar el módulo *PLL* que trabaja a 96 MHz, y que dividiendo esos 96Mhz entre dos, permite generar una frecuencia de 48MHz, necesaria para la comunicación con el puerto USB, además, el *PLL* pasa después por un *Postscaler* que divide los 96Mhz del *PLL* entre seis para obtener una frecuencia de 16Mhz, esta es la velocidad con la que el PIC ejecuta el programa del usuario, y es importante conocerla para tener un control de tiempo real.

3.6.2 Interpretar las señales de las entradas

A las entradas del PIC van conectados los sensores y los botones, que están transmitiendo señales en tiempo real, por lo tanto, se necesita leer e interpretar las señales que provienen de los diferentes tipos de entradas, como lo son el sensor óptico, los sensores resistivos y los botones táctiles.

Este sensado continuo se hace de tal forma, que el PIC no tiene que perder tiempo y recursos en un ciclo de sensado, en lugar de esto, se utiliza una interrupción del *TIMERO* que cada determinado tiempo brinca desde cualquier lugar en el programa que se esté ejecutando y comienza a interpretar las señales de las entradas. Las señales de entrada se interpretan de diferente manera dependiendo su origen:

- La señal del sensor óptico: en esta señal sí importa el valor LSB exacto, debido a que este valor se introduce directamente en la ecuación que calcula el nivel de agua en el tinaco, basado en la distancia del flotador al fototransistor.
- La señal de los sensores resistivos: simplemente se compara con un valor, si es mayor significa que el electrodo del canal correspondiente está tocando el agua, si es menor significa que el electrodo no está tocando el agua.
- La señal del sensor “hay luz”: igualmente se compara con un valor, si es mayor significa que sí hay luz eléctrica, si es menor significa que se está utilizando la energía de la batería.
- La señal de los botones: es una señal digital que manda sólo 5V ó 0V, cada botón tiene su propia entrada, y el circuito auxiliar del sistema táctil se encarga de que nunca se presione más de un botón al mismo tiempo.
- La señal de los pines conectados al puerto USB: es interpretada automáticamente por el *bootloader* cuando se solicita la conexión tocando por cuatro segundos el botón “aceptar”.

- La señal de la pantalla LCD: es interpretada automáticamente por los drivers contenidos en el programa principal.

3.6.3 Ciclo de funciones en el programa principal

El programa que ejecuta el PIC, es un ciclo constante de 4 funciones, las va ejecutando en orden una y otra vez. El PIC sale de las funciones únicamente cuando el programa es interrumpido por el *Timer0* cada milisegundo, obteniendo los valores de las entradas. Las funciones del ciclo del programa principal son las siguientes:

- Función para determinar los niveles de agua en los depósitos: esta función se encarga de asignar un nivel de agua a la lectura del valor LSB de los sensores, primero determina la cantidad de agua en el tinaco de la siguiente forma:
 - Se utiliza el valor LSB en la Ecuación 5: Función que determina la distancia del sensor al agua, a partir de su valor LSB.
 - Se compara la distancia del sensor al agua, con la distancia considerada como el 100% del tinaco y con eso determina el porcentaje de la cantidad de agua en el tinaco.
 - Determina la cantidad de agua en la cisterna, a partir de la información que indica cuántos electrodos están tocando el agua, esta información representa el nivel de agua en sextos de cisterna.
 - Detecta si el dispositivo está conectado a la luz eléctrica o está utilizando la batería de 9V.
- Función para mostrar los niveles de agua al usuario: esta función se encarga de imprimir el porcentaje en la pantalla, del nivel de agua que se determinó en ambos depósitos, de tal forma que sea claro para el usuario interpretar la información.
- Función que determina las acciones que debe tomar el PIC: estas acciones dependen del origen de la energía que utiliza el PIC. Si se utiliza la energía eléctrica, entonces, se encarga de iluminar la pantalla según el semáforo de colores, también, enciende o apaga la bomba dependiendo de lo que el usuario haya programado, igualmente, enciende la alarma acústica de ser necesario. Si se utiliza la energía de la batería, entonces se apagan todas las salidas para ahorrar energía y únicamente calcula los niveles de agua.
- Función que interactúa con el usuario: esta función se compone de tres funciones independientes:
 - Al tocar el botón “aceptar” se ejecuta la primer función, que le muestra un menú al usuario con dos opciones:
 - Programar rango del nivel en el tinaco: simplemente le permite al usuario determinar el valor mínimo y máximo del nivel de agua en el tinaco.
 - Calibrar el dispositivo: A partir del nivel de agua más bajo que la estructura del sensor puede detectar, se fija el punto A de la ilustración, para recalcular la ecuación que determina el nivel de agua en el depósito.
 - Al tocar el botón “aumentar”, una función se encarga de mostrar en la pantalla, el rango del nivel de agua en el tinaco programado por el usuario.

- Al tocar le botón “disminuir”, el programa se encarga de ejecutar una función que realiza dos diferentes acciones, dependiendo de la cantidad de agua con la que se cuenta:
 - Se enciende la bomba de agua, si el nivel de agua en el tinaco, está entre el mínimo y el máximo programados por el usuario, y se apaga cuando llega al máximo o cuando el usuario vuelve a tocar el botón “disminuir”. Esta función es muy útil cuando la cisterna se está rellenando, porque traslada el agua al tinaco para que quepa más agua en la cisterna.
 - En caso de que se haya activado la alarma acústica, la función apaga la alarma acústica.

4. Resultados

Básicamente el dispositivo tiene dos partes, la interna y la externa. La siguiente figura muestra los elementos de ambas partes:

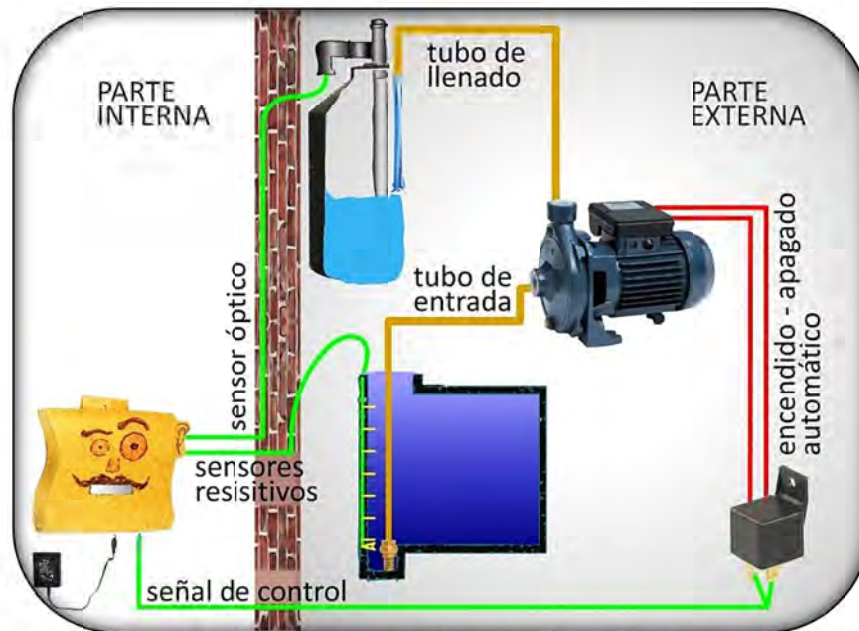


Ilustración 44: Partes externa e interna del dispositivo ya instalado.

4.1 Instalación

Lo primero que se hace antes de comenzar, es conocer los depósitos donde se va a instalar el dispositivo, es importante determinar varias medidas que sirven para calcular la cantidad de agua, también, se debe evaluar si la estructura del sensor óptico se puede colocar perforando la tapa del tinaco (habrá tinacos que no son de plástico). Se determina si es necesario perforar la cisterna para instalar los sensores resisitivos.

Una vez que se conoce dicha información, se selecciona el lugar para colocar la parte interna del dispositivo. Se colocan los sensores, ya considerando las profundidades de los depósitos, después, desde los depósitos hasta el dispositivo se desenrolla el cable con el que se conecta la parte externa con la interna. Finalmente, se ponen los conectores utilizando la herramienta necesaria.

4.1.1 Medidas del tinaco

Las medidas en el tinaco, son básicamente tres, la primera es la altura máxima que alcanzará el nivel de agua para considerarse un 100%, la segunda es la altura del nivel de agua más bajo que la estructura del sensor puede detectar (en este caso 12cm), y la tercera es la distancia del fototransistor al fondo del tinaco, cuando la estructura está tocando el fondo del tinaco.

En base a esas tres medidas se determina el nivel de agua del tinaco, las medidas se pueden obtener fácilmente con un flexómetro, y permiten que la estructura se pueda modificar para una gran variedad de tinacos, simplemente cortando el tubo a la altura correspondiente: que la estructura sobresalga lo menos posible y que al mismo tiempo toque el fondo del tinaco. De preferencia la altura del tinaco no debe superar los 1.8m para que el sensor funcione correctamente, tampoco debe ser menor a 60cm. Estas medidas serán introducidas en el programa para hacer los cálculos del nivel de agua en el tinaco.

Si el tinaco es de plástico, se puede perforar la tapa para introducir la estructura del sensor óptico por la parte superior, utilizando una herramienta que se monta en el taladro y que hace un barreno de 5cm de diámetro, exactamente el mismo diámetro del tramo de tubería, de tal forma que pueda ajustarse perfectamente en la estructura.



Ilustración 45: Herramienta para perforar la tapa del tinaco.

4.1.2 Medidas de la cisterna

Para la cisterna se utiliza solamente una distancia: la altura del fondo al nivel máximo de agua que puede almacenar. Esta distancia se divide entre seis para determinar la separación de los electrodos, recordando que el cable UTP tiene 8 hilos y se usará uno como ánodo común, restan 7. El primer electrodo va colocado al ras del suelo porque es el que detectará cuando ya no hay agua en la cisterna. Se puede decir que el ánodo común y el primer electrodo quedan casi juntos, el último electrodo debe ir debajo del techo de la cisterna.

Muchas cisternas tienen un orificio que permite que el agua salga de la cisterna cuando es sobrellenada, por esta salida es por donde se introducirá el cable UTP que conformará los sensores, se tiene que verificar si hay forma de introducirlo sin tener que perforar la tapa.

4.1.3 Procedimiento de instalación

La instalación del dispositivo fue fácil de hacer con la herramienta necesaria, en este caso, simplemente se utilizó una broca para perforar la pared de tabique, unas pinzas para colocar los conectores al cable UTP, y unas pinzas de punta para armar los circuitos resistivos. Lo primero que se hizo fue determinar la ubicación interior del dispositivo, un lugar en la pared donde se pudiera colgar, debe ser un lugar seco, y de preferencia, que no den directamente los rayos del sol;

podrían degradar la carcasa más rápido. Debe haber un enchufe cerca del dispositivo para conectar el eliminador.

Se colocó la estructura del sensor óptico en el tinaco, el cual no tenía tapa (la tapa ayuda a sostener y mantener la estructura del sensor alineada verticalmente con el tinaco) pero en este caso, se utilizó la misma estructura para engancharse a la parte superior del tinaco, gracias a la forma de “U” invertida que tiene la estructura del sensor óptico en la parte superior. Estando ya fija, se procedió a ponerle el conector RJ45 al cable. Una vez puesto el conector en el cable, solo se conectó en el *Jack* que ya estaba montado en la estructura del sensor óptico. Se le hizo un nudo al cable alrededor del tubo, para evitar que se desconecte en caso ser jalado. Después se fue desenrollando el cable hasta llegar al agujero que lo conducirá hasta el dispositivo montado en la pared, una vez atravesada la pared y con el cable tocando el dispositivo, se colocó el conector en ese extremo del cable para poder conectarlo al dispositivo.

Como el cable UTP son los mismos sensores resistivos, primero se pasó el cable UTP a través de la salida de sobrelenado de la cisterna, y después se “tejieron” los hilos del cable de cobre, una vez conocida la medida de la separación de los electrodos (obtenida a partir de dividir entre seis profundidad de la cisterna) se comienza quitándole el forro exterior al cable UTP, a modo de dejar al descubierto los 4 pares de hilos que los conforman, se debe quitar aproximadamente la misma distancia que la profundidad de la cisterna.

Comenzando con el ánodo, se determina su color correspondiente (según la configuración mencionada en la sección Sensores resistivos) y se procede a quitarle un poco de plástico aislante para poder soldarlo a la placa de latón, dos centímetros después irá el primer electrodo, entonces se tiene que descubrir la punta del hilo de cobre de color Naranja. Después de la medida de separación entre los electrodos, se descubrirá el siguiente y así sucesivamente hasta completar los siete electrodos.

Se tuvo que agregar un objeto pesado (se utilizó un tabique) para tensar el cable UTP ya con los sensores implementados, para que las fracciones del nivel de la cisterna cuadraran perfectamente. Al igual que sensor óptico, una vez que el cable estaba cerca del dispositivo, también se le puso con conector plug RJ45 para su conexión.

Siguiendo el diagrama de la Ilustración 30: Conexión del relevador con la bomba y su circuito de protección, se conectó el relevador a la bomba, procurando que quedara lo más cerca posible para disminuir la cantidad de cable de alto grosor utilizado en la bomba. La señal es mandada al relevador mediante un cable de bocina, porque es ligero y circula muy poca corriente eléctrica para activarlo. Este cable también viene del exterior y pasa por el agujero en la pared (son tres cables los que pasan por el agujero de la pared).

La instalación del dispositivo tardó aproximadamente 45 minutos, y una vez instalado, el dispositivo quedó inmediatamente funcionando. Ya colocado luce de la siguiente manera:

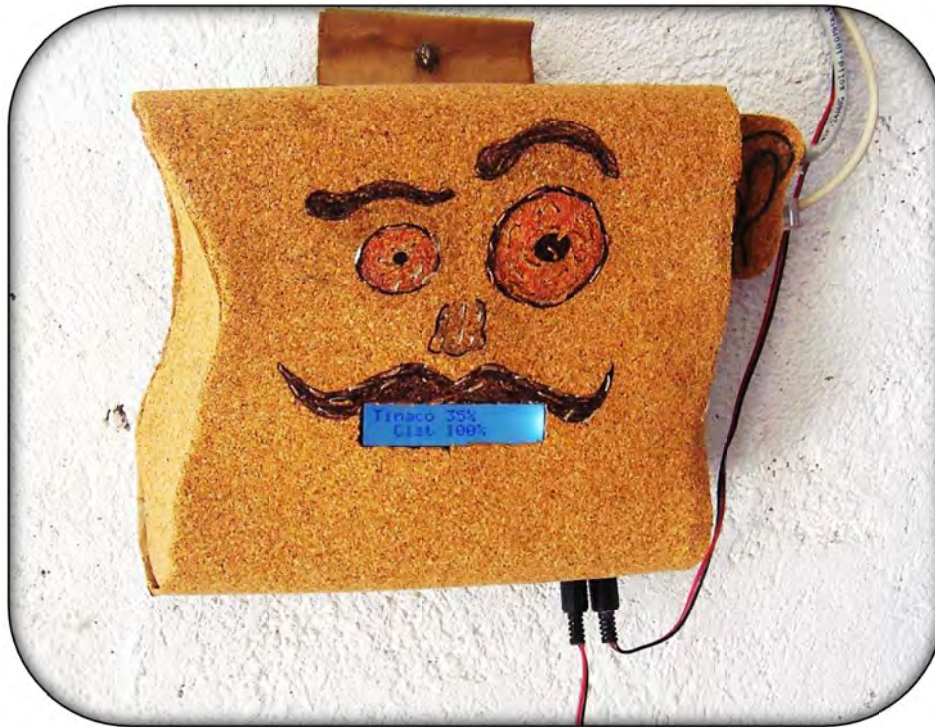


Ilustración 46: Dispositivo instalado en el interior del domicilio.

4.2 Desempeño de las partes internas

La parte interna del dispositivo está conformada por el dispositivo colocado en el interior del domicilio y el transformador de corriente que lo alimenta, el cual proporciona un voltaje que ronda los 17V DC y que fue reciclado de un aparato, lo único que se modificó fue el conector que va conectado al dispositivo, se le puso un *plug* RCA.

Considerando que el regulador soporta un voltaje máximo de 24V, entonces, los 17V no son ningún problema para alimentar al dispositivo, el problema es que el relevador y el buzzer utilizan 12V, por lo que se tiene que colocar una resistencia en el circuito que disminuya la corriente en la bobina que activa el relevador, considerando que el transformador aporte 17V y no 12V como debería. El dispositivo instalado se puede analizar rápidamente en dos partes: el hardware y el software.

4.2.1 Hardware

El *hardware* funciona correctamente, hace todas las funciones para las que fue diseñado, el único problema que tiene, es que los dos conductores con los que hace contacto el dedo, están colocados de forma muy separada uno del otro; por lo que en ocasiones el dedo únicamente hace contacto con uno de ellos, y por eso, no se detecta el contacto con el dedo. Fue un error en la manufactura de la carcasa, porque al tejer los conductores sobre el corcho, no se podían poner tan cerca debido a que el corcho se rompía, una mejor idea sería utilizar una pieza metálica con ambos conductores implementados y simplemente insertarla en el corcho.

En caso de que la carcasa sea golpeada ligeramente, el corcho simplemente se dobla y después regresa a su forma original. El soporte construido con papel kraft (para colgar el dispositivo) es algo frágil, pero soporta muy bien el propio peso del dispositivo.

El encendido-apagado de la bomba funciona correctamente gracias al circuito auxiliar que protege el relevador de los picos de voltaje, además, funcionó a la perfección el sistema de respaldo (*nobreak*) que permite seguir alimentando el PIC con la energía de la pila.

Los mensajes que se muestran en pantalla al usuario, están escritos de una forma clara y concisa, el semáforo de colores que ilumina el fondo de la pantalla realmente coincide con la cantidad de agua que dispone el usuario. Al hacer un sensado basado en las interrupciones del TIMERO del PIC, se puede hacer un sensado en tiempo real, que evita que el PIC se quede pasmado como cuando trabaja con un ciclo infinito.

Existen algunos detalles que podrían modificarse para mejorar el desempeño del dispositivo, son los siguientes:

- En lugar de utilizar un regulador modelo 7805, se puede utilizar un regulador de mayor calidad como el LM2940, el cual necesita de un menor voltaje para funcionar correctamente, además, en caso de que la corriente que pasa por el regulador sea cercana a un ampere, no hay una caída de tensión significativa como sucede con el 7805, la cual afecta la lectura del sensor óptico cuando se enciende la bomba de agua: al momento de conectar el relevador, la tensión en el regulador disminuye, y por lo tanto, el led infrarrojo disminuye su intensidad por lo que el fototransistor interpreta esa disminución en la intensidad como un cambio en el nivel del agua. Sin cambiar el regulador, se atenúa este cambio en el voltaje, con la ayuda de un capacitor electrolítico de mayor capacidad. Si la pila de 9V está descargada por debajo de los 7 Volts, el regulador 7805 no funciona correctamente mientras que el LM2940 sigue funcionando.
- Cuando se va la luz, el dispositivo sigue trabajando con la energía de la batería, y como el sensado está programado para hacerse continuamente, entonces, el sensor óptico y los circuitos auxiliares descargan la batería rápidamente. Considerando que hay ocasiones en que el suministro de energía eléctrica es interrumpido durante muchas horas, significa que se agotaría la energía de la batería rápidamente, esto podría evitarse si se utiliza un sensado intermitente cuando el dispositivo trabaja con la batería, o mejor aún, hacer el sensado solo cuando el usuario lo requiera, mientras, el dispositivo apagará el sensor óptico para ahorrar energía. La otra forma de solucionar el problema es utilizando una batería recargable.
- En caso de que se haya descargado la batería y el dispositivo funcione sólo con energía eléctrica, al terminar un apagón, el dispositivo encenderá rápidamente la bomba porque detectará un nivel de agua bastante bajo, conforme pasen unos segundos, se podrá observar en la pantalla, como el nivel de agua en el tinaco comienza a incrementarse conforme pasa el tiempo hasta estabilizarse. Esto sucede porque el sensado se hace más rápido de lo que le toma al circuito del sensor óptico reaccionar.
- El sistema de los botones táctiles consume una menor cantidad de energía que el sensor óptico, pero cuando el dispositivo trabaja con la pila un poco descargada, se puede

observar como los botones no responden correctamente al contacto con el dedo, debido a que la cantidad de electrones que circulan a través del dedo es mucho menor.

4.2.2 Software

Ambos programas presentes en el PIC, el *bootloader* y la aplicación del dispositivo funcionaron perfectamente. El dispositivo realmente se puede reprogramar y todas las funciones programadas funcionan correctamente, se hicieron varias pruebas para determinar si el PIC se quedaba pasmado al momento de que el usuario interactuara con el dispositivo y afortunadamente no ocurrió ningún problema. El dispositivo ha estado en funcionamiento durante seis meses seguidos y todo marcha bien, el único problema se presentó cuando ocurrió una fuerte descarga en la luz eléctrica durante una tormenta eléctrica, el dispositivo no sufrió ningún daño, pero se tuvo que reiniciar para limpiar los caracteres erróneos que aparecieron en ese momento en la pantalla.

La aplicación que se ejecuta en el dispositivo, utiliza el 47% de la memoria ROM del PIC, que es lugar donde se guardan los datos del programa, y sólo utiliza el 5% de la memoria RAM, la cual se utiliza para manejar las variables que continuamente están modificando su valor. Prácticamente se está utilizando menos de la mitad de la capacidad total del PIC. Se podría diseñar un programa más completo que realizara más funciones y así aprovechar al máximo la capacidad del PIC.

4.3 Desempeño de la parte externa

La estructura del sensor óptico debe estar lo más vertical posible para que las mediciones sean las correctas, pero al enganchar la estructura del sensor a la parte superior del tinaco (debido a que no tenía tapa) se produjo cierta inclinación que afecta las lecturas por tres razones:

- La estructura del sensor no toca el fondo del tinaco, entonces, la altura mínima del agua detectada cambia algunos centímetros (6cm aproximadamente).
- El haz de luz infrarroja se refleja un poco más en las paredes del tubo interior.
- Al inclinar la estructura, la parte superior por donde sale el cable también queda inclinada, y esto provoca que algo de luz exterior penetre hacia el interior.

Independientemente de la inclinación de la estructura del sensor óptico, cumple con las características deseadas, puede estar a la intemperie sin ningún problema, no importa si llueve o hace mucho sol, las partes electrónicas y sus conexiones están a salvo, el diseño de la estructura realmente lo resiste. La estructura de tubo resiste mejor que el cable, debido a que el forro de PVC que tiene el cable se degrada más fácilmente con los rayos del sol, se hace menos flexible, pierde el color, se va poniendo un poco quebradizo y adelgaza un poco, de cualquier forma resiste por lo menos 4 años en el exterior. Las conexiones no presentaron ningún tipo de falso contacto, quedan bastante sólidas con los conectores utilizados.

Los sensores resistivos son muy sensibles al contacto con el agua, funcionan a la perfección, gracias a que no existe una conexión intermedia entre ellos y el dispositivo (como en el caso del sensor óptico) se evita el riesgo de que la interconexión se moje causando un comportamiento errático.

Al estar sumergidos todo el tiempo en el agua, el cobre comienza a oxidarse, reduciendo un poco la conductividad eléctrica, esa reducción resulta insignificante comparada con la que se produce cuando se le forma una capa protectora a los cátodos por el efecto de la electrólisis, esta capa protectora es una mezcla de algunos elementos que están mezclados en el agua como minerales, cloro, metales y algunas otras sustancias que recubren los electrodos formando una especie de capsula gelatinosa alrededor del cobre. Después de dos meses, el recubrimiento en los electrodos ya se podía apreciar a simple vista, y realmente no afectó el sensado en la cisterna. De cualquier forma es fácil de remover con la mano.

La placa de latón (por ser el ánodo) presentaba una mayor corrosión que los demás electrodos, principalmente en la zona donde se soldó al cable de cobre, esto significa que la soldadura, la cual es una mezcla de estaño-plomo, resiste mucho menos la corrosión que el latón, es decir, que el punto débil del ánodo es la unión del cable con la placa.

Es importante el tamaño de la placa de latón, mientras mayor sea, mejor será el comportamiento de los sensores, y el deterioro del ánodo será más lento. Tal vez resulta un poco laborioso transformar el cable UTP en 7 electrodos separados unos de otros una distancia fija, pero una vez aprendida la "técnica" quedan bastante bien. En cuanto al relevador, mientras permanezca en posición vertical, se puede mojar sin ningún problema ya que viene sellado y en esa posición el agua se escurre fácilmente por las patas sin ocasionar un corto circuito, además, la conexión con la bomba de agua se hizo utilizando unos capuchones, los cuales funcionan mejor que la cinta de aislar o el termofit debido a que conexión y desconexión es más práctica, también, permiten que el agua escurra fácilmente en caso de que se mojen (siempre y cuando estén en posición vertical). La bomba de agua ya viene lista para ser instalada a la intemperie: tiene una buena capa de pintura anticorrosiva, las salidas de los cables tienen empaques de goma al igual que la tapa del motor; de cualquier forma, la bomba no es parte del dispositivo y depende del modelo que el usuario ya tenga instalada en el domicilio.

4.4 Desempeño de las dos funciones principales

Una vez que el dispositivo se encuentra instalado y funcionando, se debe evaluar la ejecución de las dos funciones principales para las que fue diseñado, estas funciones son: monitor de nivel e hidronivel programable. Aunque la instalación y la construcción de los diferentes sistemas no fueron exactamente como se plantean teóricamente (por ejemplo la pequeña inclinación de la estructura), de cualquier forma cumplen con el diseño propuesto, es decir, aunque la estructura del sensor óptico estuviera un poco inclinada, y aunque se tuviera que utilizar un tabique para tensar los sensores de la cisterna, ambos seguían funcionando correctamente.

4.4.1 Monitor de nivel

El monitor de nivel básicamente se encarga de determinar la cantidad de agua en ambos depósitos: en el caso de la cisterna, era de gran importancia saber con precisión cuando el agua se había agotado, para evitar que la bomba de agua trabaje en seco, entonces, es importante colocar el primer electrodo justamente a la altura donde la pichancha se une con el tubo de cobre. Para

realizar correctamente la instalación se utilizó el hueco en el fondo que la mayoría de las cisternas de concreto tiene, para sumergir el tabique que tensara el cable y de esta forma controlar fácilmente la posición de los electrodos simplemente haciendo un nudo en el cable después de ser introducido, esto evita que el cable se mueva porque el nudo impide el desplazamiento del cable provocado por el peso del tabique. En pocas palabras, fue fácil colocar los electrodos en la posición correcta.

Como se mencionó anteriormente, los electrodos funcionan perfectamente; aunque mandan una señal bastante ruidosa al convertidor analógico-digital (ADC), el PIC simplemente compara en tiempo real el valor leído con un valor en su memoria determinado en el programa y fácilmente detecta si el electrodo está tocando el agua o no. Es importante mencionar que el último electrodo es el más alejado del ánodo, entonces, la pequeña corriente eléctrica que se genera es más débil que en los demás electrodos, por lo tanto, el valor determinado en el programa para detectar el contacto del electrodo con el agua, se obtiene a partir del valor LSB que detecta el PIC para el último electrodo, en el momento de introducir todo el cable con los sensores rápidamente; tiene que ser rápidamente porque la resistencia del agua al paso de la corriente va disminuyendo con el tiempo y por lo tanto el valor LSB va aumentando. A ese valor LSB obtenido se le resta el 30% como factor de seguridad, porque el agua potable no es igual en todas partes; seguramente habrá lugares donde el agua potable tenga una mayor cantidad de sustancias disueltas en el agua que faciliten la conductividad eléctrica, haciendo que el valor LSB determinado sea menor; y si no se considera lo anterior el dispositivo podría equivocarse al determinar que el electrodo no está tocando el agua, cuando realmente sí la está tocando, por lo tanto ese valor fue la clave para que el sensado de la cisterna se realizara correctamente.

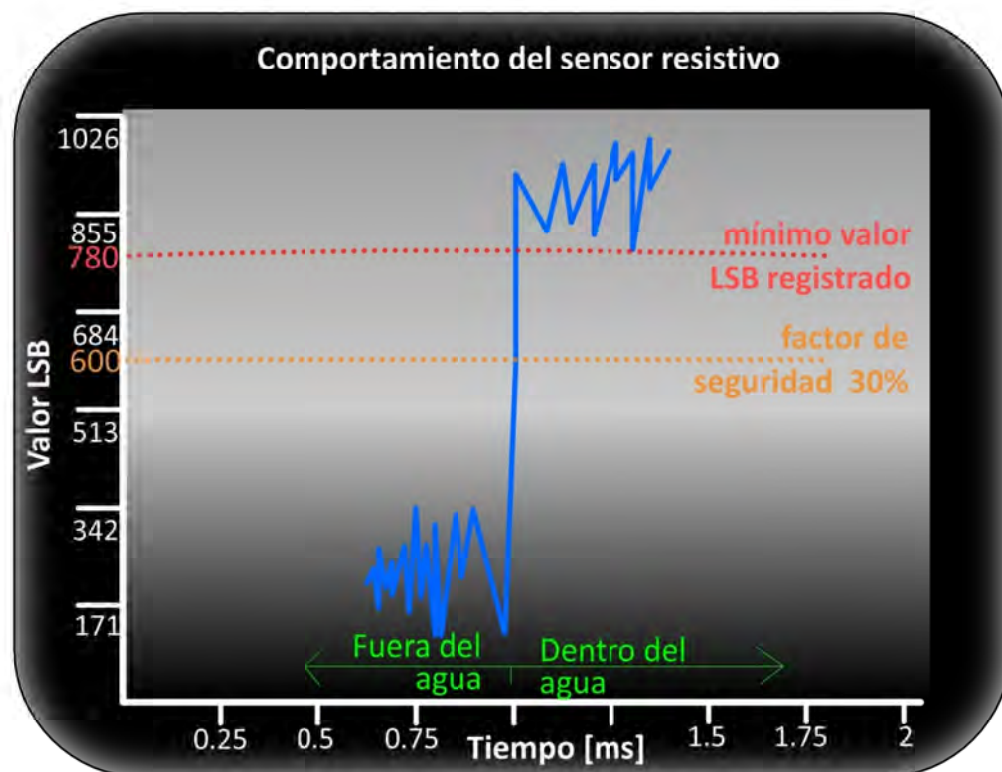


Ilustración 47: Comportamiento del sensor resistivo.

La determinación del nivel de agua en el tinaco tiene algunos errores que a futuro pueden ser corregidos; el principal problema no es que la estructura no se haya instalado a la perfección, sino que la sensibilidad del fototransistor cambia según la temperatura, por ejemplo: el usuario puede leer una cantidad de agua en la mañana y conforme avance el día, el sol calienta la estructura del sensor óptico (es de color negro), por lo que la cantidad de agua que el dispositivo reporta al usuario en la pantalla se irá incrementando sin que realmente haya un cambio en el nivel de agua en el tinaco, pero ¿qué tan grande es ésta variación?

Al momento de calibrar el sensor óptico, se genera una ecuación que determina el comportamiento teórico del sensor, la cual considera como fija la temperatura a la que se calibró, entonces, mientras mayor sea el cambio en la temperatura del sensor, mayor será la diferencia entre el nivel reportado y el nivel real, la máxima diferencia entre ambos valores fue del 9% y se determinó fácilmente midiendo con un flexómetro la altura del agua en el tinaco y comparándola con el nivel que el dispositivo reportaba al usuario; si se sabe que la altura máxima del nivel de agua considerada como el 100% es de 108cm, entonces, significa que la altura real del nivel de agua puede tener como máximo 9.72cm de diferencia respecto al nivel reportado al usuario (valor teórico). Ese 9% de diferencia como máximo, ocurre bajo las condiciones atmosféricas del D.F. habrá lugares donde la temperatura cambie drásticamente de la mañana al medio día, y por lo tanto, la diferencia entre el valor real y el determinado será mayor.

Mientras más agua tenga el tinaco, mayor será la diferencia entre el nivel real de agua y el nivel de agua reportado al usuario, esto se debe al comportamiento potencial del sensor; cuyas valores LSB están más separados cuando la distancia del sensor al agua es menor, es decir, cuando el tinaco tiene más agua. En la siguiente ilustración se puede observar que la máxima diferencia entre el valor real de agua y el valor reportado al usuario, ocurre precisamente cuando el nivel de agua está al máximo, y esta diferencia entre niveles se va reduciendo conforme el nivel de agua disminuye. Se puede decir que el nivel reportado al usuario, estará siempre dentro del área acotada por la mínima temperatura y la máxima temperatura, en este caso, la diferencia entre la temperatura mínima y la temperatura máxima en el sensor fue de unos 8°C en promedio.

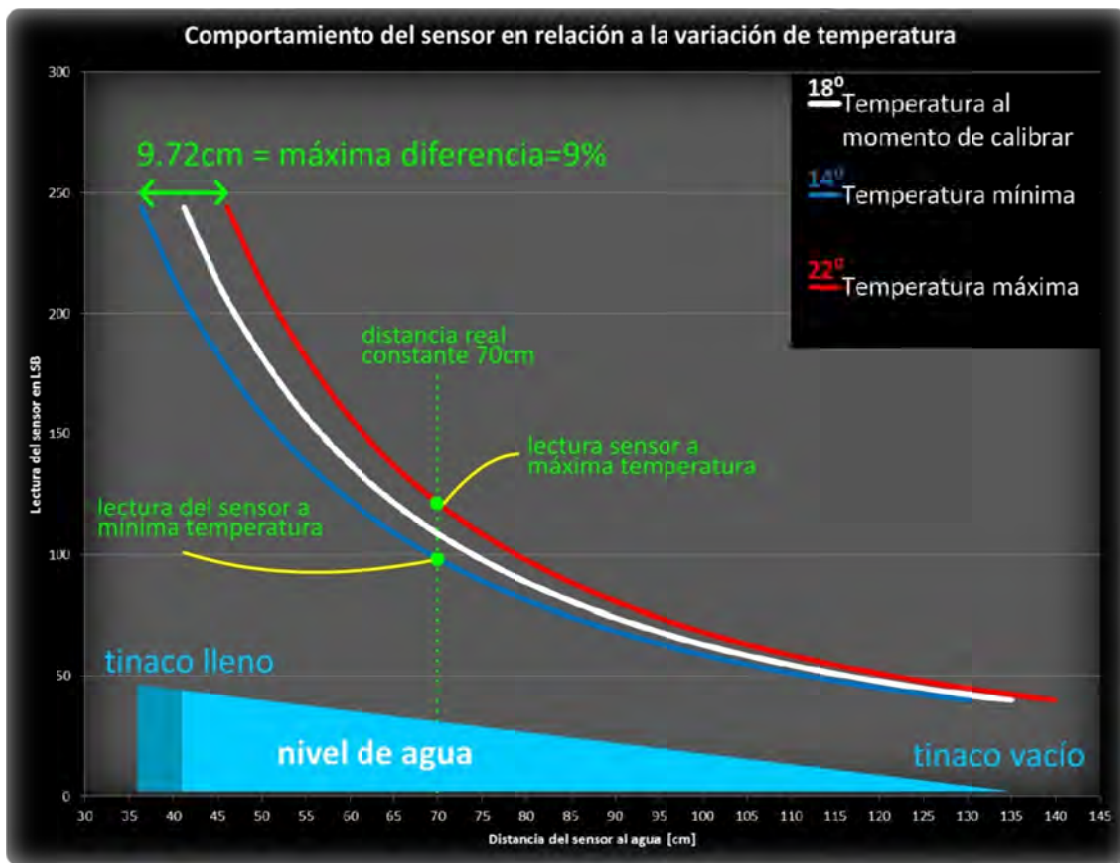


Ilustración 48: Comportamiento del sensor, sometido a cambios de temperatura.

Si se quisiera reportar el valor exacto del nivel de agua, se tendrían que considerar los dos factores que afectan la lectura, que serían el nivel de agua calculado y la diferencia entre la temperatura actual y la temperatura de calibración. Con estos dos datos se puede corregir la ecuación que calcula el nivel de agua en el tinaco, relacionando la distancia del sensor al agua con un nuevo valor LSB, que dependerá de la nueva constante K determinada.

4.4.2 Hidronivel programable

El hidronivel programable funciona correctamente, el usuario puede programar el dispositivo para mantener el nivel de agua en el tinaco donde desee, simplemente se introduce el valor del nivel mínimo y el máximo, esto permite una gran cantidad de rangos diferentes, pero todos cumplen las siguientes reglas:

1. El nivel de agua mínimo en el tinaco no puede ser menor al 10% del tinaco.
2. El nivel de agua máximo no puede ser mayor al 100%.
3. La diferencia más pequeña entre el nivel mínimo y el máximo será del 10%.

La siguiente ilustración muestra cómo se puede programar el rango del nivel de agua en el tinaco, el rango puede ir desde el 10% hasta el 90%, además, se puede desplazar hacia la parte inferior o a la parte superior del tinaco.



Ilustración 49: Posibles programaciones del rango.

Un rango del 10% se puede implementar gracias a que el máximo error es inferior, o sea, del 9%. Esto significa que si el nivel de agua permanece constante, aunque la temperatura descienda 8°C y el dispositivo lo interprete como una disminución en el nivel de agua, esto no será suficiente para encender la bomba de agua. Si la temperatura desciende aún más, entonces, la bomba se encenderá y el nivel de agua real se encontrará 10% por arriba del nivel reportado al usuario; en caso de que el nivel real del tinaco sea del 100%, el nivel real aumentará hasta el 110%.

5. Conclusiones

El dispositivo realiza correctamente todas las funciones para las que fue diseñado, incluyendo las dos principales: monitor de nivel e hidronivel programable, las cuales ayudan al usuario a cuidar el agua, simplemente, porque al estar monitoreando el agua y controlar el traslado de manera automática, se mejora la administración de agua potable en el hogar. El dispositivo lleva operando 6 meses de forma continua sin errores en sus funciones.

El monitor de nivel, está conformado por dos tipos de sensores, uno óptico para el tinaco y uno resistivo para la cisterna. Ayuda a detectar fugas y medir el consumo de agua, gracias a que brinda información en tiempo real del nivel de agua en ambos depósitos (aunque no haya energía eléctrica), también, es visible en la oscuridad y la pantalla se ilumina en diferentes colores según un semáforo de colores relacionados con la cantidad de agua que dispone el usuario. También, tiene una alarma acústica que alerta al usuario cuando la cantidad de agua está en un estado crítico, es decir, a punto de terminarse. Estas funciones fueron pensadas para personas que tienen problemas con la visión y no alcanzan a leer las letras en la pantalla.

El sensor óptico en el tinaco, se basa en un flotador contenido en un tubo de PVC con filtro UV, que se mueve libremente conforme el nivel de agua y refleja un haz de luz infrarroja hacia un fototransistor, con la señal del fototransistor se calcula la distancia y después la altura en el nivel de agua.

Los sensores en la cisterna, consisten en siete electrodos que hacen pasar una corriente menor a 1mA por el agua cuando están en contacto con ella, de tal forma que cuando el nivel de agua desciende, dejará de hacer contacto con el respectivo electrodo, entonces, el dispositivo interpretará el nivel de agua correspondiente en sextos de cisterna. Los sensores resistivos son muy sensibles al contacto con el agua, gracias a una placa de latón colocada en el electrodo que funciona como ánodo común, la cual incrementa la durabilidad y la sensibilidad al agua. Se utiliza un cable UTP para conformar los electrodos, algo bastante práctico a pesar de que tienen que ser manufacturados manualmente para las medidas de la cisterna en cuestión.

El dispositivo realiza la función de hidronivel programable correctamente, existe un buen funcionamiento en el circuito del relevador encargado del encendido-apagado de la bomba de agua, y el dispositivo brinda protección a la bomba porque impide que trabaje en seco o con una mala tensión de alimentación.

El dispositivo tiene dos partes principales: la exterior y la interior. La parte exterior es resistente a la intemperie, la parte interior es fácil de instalar y utilizar por el usuario, porque la interfaz del dispositivo realmente sencilla de utilizar, ya que se controla con 4 botones táctiles y una pantalla de cristal líquido. La aplicación del dispositivo se puede actualizar por USB, por lo que se pueden agregar más funciones a futuro sin cambiar el hardware, actualmente, funciona al 60% de su capacidad, esto significa que se puede convertir en algo más robusto: es escalable.

El prototipo final está construido con materiales reciclados, que se pueden desarmar fácilmente, y por tanto es fácil de reparar o desarmar. La carcasa del dispositivo fue construida con

corcho y papel kraft, porque son materiales biodegradables, reciclables y obtenidos mediante métodos no invasivos a la naturaleza. Es ecológicamente correcto.

5.1 Resultados encontrados

El dispositivo construido, funciona para cualquier tinaco de agua con una profundidad mayor a 60 centímetros y menor a 1.8 metros; en el caso de la cisterna, la profundidad puede llegar hasta los 3 metros.

En el caso del tinaco, la diferencia entre el nivel real de agua y el nivel reportado al usuario, depende de las condiciones atmosféricas, si la temperatura en el sensor aumenta algunos grados sobre la temperatura a la que se calibró el dispositivo, se interpretará como un aumento en el nivel de agua, pero que no es real. Como el usuario no tiene conocimiento del origen del error, lo interpreta como si el dispositivo creará agua en el tinaco a partir de la estructura del sensor óptico, obviamente, no es así.

La máxima diferencia entre el nivel de agua real y nivel reportado al usuario es de 9.72cm, para una variación en la temperatura $\Delta T=8^{\circ}\text{C}$ en promedio. Mientras menor sea el cambio en la temperatura ambiente, respecto a la temperatura a la que se calibró el dispositivo, menor será el error, y mientras menor sea el nivel de agua de agua en el tinaco, igualmente se disminuirá el error producido por el cambio en la temperatura del sensor debido a su comportamiento potencial. La resolución con la se reporta el nivel de agua en el tinaco es del 1%. El nivel de agua en el tinaco que se puede programar por el usuario, va del 10% al 100%, con una diferencia entre el valor mínimo y máximo del 10%.

Cuando el dispositivo utiliza el *nobreak*, sigue funcionando el monitor de nivel; esto agota la batería de 9V en un periodo de 8 horas, entonces, si la energía eléctrica se va por más tiempo, el dispositivo habrá descargado por completo la batería. No importa, porque los parámetros que fueron programados por el usuario, como calibración y rango, se guardan en la memoria interna del PIC y no se borran aunque el PIC se quede sin energía.

La carcasa de corcho con papel kraft, resultó ser un poco frágil; el problema del corcho es que se puede romper si no se manipula con cuidado. Con las precauciones necesarias se pudo construir la carcasa e instalarla sin problema, como los botones son táctiles, realmente no se le aplica una gran fuerza a la estructura del dispositivo, de tal forma, que pueda deformarle el rostro.

Para que el dispositivo tenga un mejor desempeño frente a los cambios de temperatura, se recomienda calibrarlo a la mínima temperatura ambiente a la que pueda estar expuesto el sensor óptico. Para un tinaco de 110L cuya altura será de 108 cm (considerando un sobre llenado de 15cm para evitar que el agua se desparrame) desde el fondo al 100% del nivel de agua, el valor LSB de calibración será de 30, cuando la temperatura es de aproximadamente 14°C .

5.2 Inconvenientes del dispositivo

Al colocar un sensor de temperatura junto al fototransistor, se podría corregir automáticamente el error que ocurre cuando la temperatura del fototransistor varía respecto a la

temperatura a la que fue calibrado. Simplemente recalculando la ecuación que determina el nivel de agua para la nueva temperatura.

Las resistencias del sistema táctil se propusieron de forma experimental, comparando los valores óhmicos a la resistencia eléctrica del cuerpo humano. Se podría profundizar más en el tema y calcularlas de forma teórica para tener un mejor desempeño en los botones táctiles y poder prescindir del potenciómetro que calibra el sistema táctil. Independientemente de eso, el sistema táctil funciona correctamente.

Cuando el dispositivo enciende la bomba de agua, el relevador se activa y esto causa una pequeña caída de voltaje en el regulador, además, cuando el dispositivo trabaja utilizando la pila y la descarga hasta los 7 Volts el regulador deja de funcionar correctamente, al cambiar el regulador por otro de mejor desempeño se solucionaría éste problema, se podría considerar un mejor candidato como el LM2940.

Los sensores resistivos para quedar correctamente posicionados, necesitan ser tensados mediante un objeto pesado al final del ánodo común (en éste caso se utilizó un tabique), esto se puede evitar utilizando una estructura rígida que llegue hasta el fondo de la cisterna, la cual permita fijar los electrodos en las posiciones deseadas mediante tornillos de latón, que se desplacen sobre el eje de la estructura.

Cuando se utiliza el *nobrake*, el monitor de nivel podría funcionar intermitentemente o sólo cuando el usuario lo indique, con el fin de ahorrar energía o se podría utilizar una batería recargable.

5.3 Aportaciones

La estructura del sensor óptico, es una transducción de: nivel de agua -> movimiento -> cantidad de luz reflejada -> señal eléctrica -> valor digital LSB -> porcentaje de cantidad de agua en el tinaco. Es una combinación de tecnologías, que están basadas en el aislamiento y reflexión de la luz infrarroja para determinar el nivel de agua en el tinaco. Al estar basado en luz, no existen fallas mecánicas.

Su construcción no hubiera sido posible, si actualmente no se contara con la tecnología de leds, fototransistores y filtros ultravioleta aplicados a tuberías, tecnologías, que permiten a la estructura de sensado operar a la intemperie durante un largo periodo de tiempo.

Este dispositivo realmente resulta ser una herramienta que evita el desperdicio de agua potable, porque hace consiente al usuario, de la cantidad de agua que consume y que tiene almacenada en sus depósitos; pudiendo de esta forma, administrar mejor las actividades que requieren un consumo específico de agua, basándose en la información que el monitor le reporta al usuario.

El usuario puede programar el dispositivo para controlar el traslado de agua automáticamente, y de manera personalizada, esa es una gran herramienta que evita el desperdicio de agua que normalmente ocurre cuando no se apaga la bomba de agua a tiempo y el

tinaco se desparrama. El mayor beneficio ocurre, cuando el usuario puede detectar una fuga de agua a partir del constante monitoreo del nivel de agua en el tinaco. Con estas dos simples funciones el usuario puede ahorrar muchos litros de agua. Mientras más usuarios instalen el dispositivo en su hogar, mayor será la cantidad de litros de agua potable que ahorre la localidad.

Se puede decir que se mejora el control y la administración del agua, dentro del sector destinado al uso y abastecimiento público. Pero el mismo dispositivo, podría ser introducido al sector agrícola, el cual tiene un consumo del 77% del total de agua destinada para uso consuntivo¹¹.

¹¹ Información de la CONAGUA obtenida en 2010, disponible en su sitio web <http://www.conagua.gob.mx> sección aguas nacionales -> usos de agua

6. Bibliografía

- CIRCUITOS ELÉCTRICOS. Dorf-Svoboda. Editorial AlfaOmega, sexta edición.
- CÓMO ELABORAR Y ASESORAR UNA INVESTIGACIÓN DE TESIS. Carlos Muñoz Razo, Editorial Prentice Hall, primera edición México 1998.
- COMPILADOR C CCS Y SIMULADOR PROTEUS PARA MICROCONTROLADORES PIC. Eduardo García Breijo. Editorial Alfaomega, México 2008.
- ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO. Raymond A. Serway, John W. Jewett. Editorial Thompson 2005.
- INNOVACIÓN DE PRODUCTO. Cuadernos de gestión de tecnología. Vicente Borja Ramírez, Alejandro C. Ramírez Reivich. Premio Nacional de Tecnología, México 2006.
- LÍNEA SANITARIA. Manual Técnico. Tuboplus Rotoplas, primera edición.
- MICROCONTROLADORES: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES CON PIC. Fernando E. Valdés Pérez, Ramón Pallás Areny, Editorial Alfaomega, México 2007.
- PIC18F2455/2550/4455/4550 DATASHEET. Microchip Technology Inc. 2007.
- <http://www.conagua.gob.mx/atlas/#>