

**SISTEMA DE MEDICIÓN
DE NIVEL DE COMBUSTIBLE
EN AUTOS “MINI BAJA”**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Ricardo Duarte Jáquez
Rector

David Ramírez Perea
Secretario General

Manuel Loera de la Rosa
Secretario Académico

Francisco López Hernández
Director del Instituto de Ingeniería y Tecnología

Luis Enrique Gutiérrez Casas
Coordinador General de Investigación y Posgrado

Ramón Chavira
*Director General de Difusión Cultural
y Divulgación Científica*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

SISTEMA DE MEDICIÓN
DE NIVEL DE COMBUSTIBLE
EN AUTOS “MINI BAJA”

OMAR DE LUCIO FLORES

JESÚS MARTÍN SILVA ACEVES

CÉSAR LEONARDO GONZÁLEZ PINZÓN

CARLOS PONCE CORRAL

JESÚS RODARTE DÁVILA

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

LISBEILY DOMÍNGUEZ RUVALCABA

COORDINADORA DE LA COLECCIÓN

Colección Reportes Técnicos de Investigación ISBN: 978-607-7953-80-7
Serie IIT, Vol. 20. ISBN: 978-607-520-165-8

D.R. © 2015 Omar de Lucio Flores, Jesús Martín Silva Aceves, César Leonardo González Pinzón,
Carlos Ponce Corral, Jesús Rodarte Dávila

La edición, diseño y producción editorial de este documento estuvo a cargo de la Dirección General de
Difusión Cultural y Divulgación Científica, a través de la Subdirección de Publicaciones

Cuidado de la edición y diagramación: Subdirección de Publicaciones

Primera edición, 2015
© 2014 Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Av. Plutarco Elías Calles 1210
Fovissste Chamizal, C.P. 32310
Ciudad Juárez, Chihuahua, México
Tel. +52 (656) 688 2260

<http://www2.uacj.mx/publicaciones>

ÍNDICE

Resumen	7
Abstract	7
Palabras clave	8
Usuarios potenciales	8
Reconocimientos	8
I. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes del problema	11
1.2 Objetivo general	11
1.3 Objetivos particulares	11
1.4 Planteamiento del problema	12
1.5 Solución propuesta	12
1.6 Alcance y delimitaciones	12
1.7 Justificación	12
1.8 Metodología	13
II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Indicador del nivel de combustible	13
2.2 Medición de nivel	14
2.3 Selección de método de medición de nivel	21
III. METODOLOGÍA	26
IV. PRUEBAS Y RESULTADOS	
4.1 Cálculos de presión y resolución existentes en el sistema	27
4.2 Pruebas de resolución del sensor MPX5050 instalado en el vehículo “mini baja”	29
4.3 Datos obtenidos durante las pruebas	29
V. CONCLUSIONES	31
Referencias	32

RESUMEN

En este trabajo se presenta la propuesta-proyecto de un sistema de “medición” visual de combustible para vehículos de la rama “baja” por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE, por sus siglas en inglés). Se realizó el proceso con la ayuda de la plataforma de electrónica abierta Arduino. Su funcionamiento fue logrado en conjunto con un sensor de presión diferencial producido por la compañía Freescale. La elaboración de este sistema tiene como objetivo que el piloto verifique de manera visual el nivel de combustible en todo momento y con ello optimizar el tiempo durante las competencias “Mini Baja SAE”, a las cuales asiste el vehículo de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) desde el año 2007. La competencia “Mini Baja SAE” es organizada anualmente por la sociedad de ingenieros automotrices. Dicha competencia ha logrado desarrollarse a tal grado que en la actualidad se considera un pilar en el fortalecimiento del conocimiento en el diseño automotriz.

ABSTRACT

This project presents the development of a visual “measurement” system of fuel for vehicles SAE Mini-Baja (the off-road branch of these competitions), implementing an ADC converter with a microcontroller in an Arduino board, which works in conjunction with a differential pressure sensor produced by Freescale company. The aim for the development of this system was that the pilot could visually check the level of fuel at all times, and similarly to achieve time optimization for mini competitions in which is presented the vehicle of the Autonomous University of Ciudad Juarez (UACJ) since 2007. Recalling that the mini competition Baja SAE is organized annually by the Society of Automotive Engineers (SAE), its purpose is to contribute to the design, construction and testing all terrain vehicles in different circumstances with a motor of 10 HP. This competition has been consolidated to such an extent that today is considered a fundamental pillar in the knowledge and development of automotive design.

USUARIOS POTENCIALES

Alumnos y docentes de la carrera de Sistemas Automotrices, así como alumnos y docentes de la carrera de Sistemas Digitales y Comunicaciones.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos profundamente la valiosa participación del alumno Omar de Lucio Flores y nuestra más profunda felicitación por el desarrollo de su trabajo, ya que fue esencial en el desarrollo de este proyecto, así como también el reconocimiento al personal docente del Departamento de Ingeniería Industrial, particularmente a la coordinación del Programa de Sistemas Automotrices.

I. INTRODUCCIÓN

Baja SAE es una competencia interuniversitaria llevada a cabo por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (Society of Automotive Engineers, SAE). Su finalidad es diseñar, construir y probar ante diferentes circunstancias vehículos todo terreno con un motor de 10 HP, proporcionado por la compañía Briggs & Stratton, siendo su objetivo principal desarrollar un vehículo seguro, de fácil transportación, que requiera poco mantenimiento y sobre todo que posea una excelente conducción ante cualquier tipo de terreno. Todo esto con la finalidad de promover los avances tecnológicos de la industria automotriz para beneficio de la sociedad.

Algunas de las características principales con las que cuentan los vehículos que participan dentro de esas competencias son:

Tipo de vehículo: monoplaza, tubular, todo terreno, motor trasero.

Peso: 187 kg (sin piloto).

Distancia entre ejes: 150 cm.

Motor: Briggs & Stratton OHV, monocilíndrico, 305 cm, 4 tiempos. Limitado a 3600 rpm, por reglamento.

A lo largo de la participación que ha tenido la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez en este evento, los vehículos que ha llevado en su representación aún carecen de algunos sistemas de instrumentación, entre los cuales destaca el sistema de medición de combustible, siendo éste el sistema a desarrollar mediante la presente investigación.

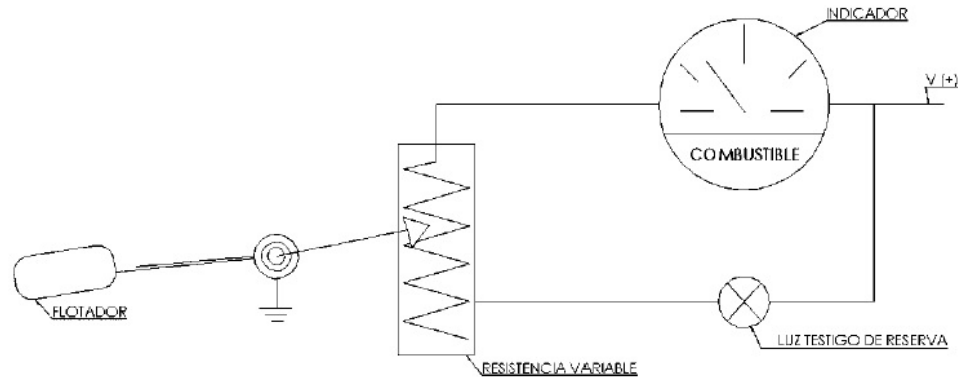
Que el conductor de un vehículo no pueda tener una lectura del nivel del combustible en tiempo real representa un problema crítico, ya que no conoce el momento en que el motor parará por falta de hidrocarburos, y es aún más complicado cuando este vehículo se encuentra dentro de una competencia ante otros de su misma categoría, debido a que tendría que estar parando periódicamente para revisar la cantidad de combustible en el depósito.

La mayoría de los sistemas de medición de combustible de vehículos están compuestos de dos elementos principales (como se muestra en la figura 1):

- a) Un sensor de nivel compuesto por una resistencia variable

- 10 b) Un elemento indicador en el tablero, ya sea digital o análogo, encargado de medir la magnitud de salida proporcionada por el sensor de nivel

Figura 1. Diagrama eléctrico del nivel de combustible de un vehículo convencional



Considerando los lineamientos que tiene SAE hacia Mini Baja determinamos que no es viable el utilizar un sistema de resistencia variable dentro del depósito de combustible, ya que en el reglamento “Baja SAE”, artículo 12 (“Sistema de gasolina”), impide tener algún objeto dentro del tanque de combustible y del motor. También está prohibido perforar el tanque. Las modificaciones permitidas al sistema de gasolina son:

- i. Implementar un sistema de depósitos intercambiables
- ii. Realizar conexiones con manguera de un diámetro máximo de $\frac{1}{2}$ pulgada
- iii. Utilizar un filtro de gasolina de la marca Briggs & Stratton

Teniendo en consideración el reglamento de Baja SAE se determinó que la manera de implementar un dispositivo de medición para vehículos de esta clasificación era el desarrollo de un sistema de sensores y electrónica digital, en sincronía con un microcontrolador para el procesamiento de datos. Dicho sistema debe ser capaz de soportar las pruebas a que es sometido el vehículo Mini Baja, las cuales pueden ir desde cambios bruscos de temperatura hasta perturbaciones por vibración o golpes fuertes.

Esta investigación se divide en dos etapas. En la primera se hace mención del trabajo de investigación realizado y la propuesta para realizar el mecanismo de medición. En la segunda, se describen las distintas pruebas realizadas así como los resultados obtenidos.

1.1 Antecedentes del problema

11

Desde el año 2008, los estudiantes de la Universidad Autónoma De Ciudad Juárez participan en las competencias Mini Baja. Sus vehículos nunca han contado con un sistema de medición de nivel de combustible.

Durante el evento se realizan las siguientes pruebas:

Pendientes pronunciadas

Pruebas de maniobrabilidad

Paso de rocas

Prueba de suspensión y tracción

Prueba de frenado

Resistencia

No contar con un sistema de medición de combustible es un problema en las competencias, ya que el vehículo tiene que realizar paradas en el punto de revisión para poder verificar su nivel de combustible, lo cual en ocasiones se convierte en pausas innecesarias; por lo tanto, se considera un mal uso del tiempo dentro de la competencia.

1.2 Objetivo general

Diseño del sistema de medición de nivel de combustible para vehículos Baja SAE.

1.3. Objetivos particulares

Consultar los lineamientos de SAE hacia los dispositivos de medición de combustible

Revisar el estado del arte de dispositivos de medición para el nivel de combustible en tanques de gasolina

Comprender el funcionamiento de un sensor dentro de un sistema de medición y ver las características de los diferentes sensores que pudiéramos utilizar para el desarrollo del sistema

Seleccionar sensores y realizar pruebas para elegir el que más se adapte a nuestras especificaciones

Realizar la programación en un microcontrolador para representación de datos

- 12 Presentar un prototipo de medidor de nivel de combustible para el vehículo Mini Baja

Probar el funcionamiento del dispositivo mediante pruebas en diferentes entornos, realizando un análisis de los datos obtenidos

1.4. Planteamiento del problema

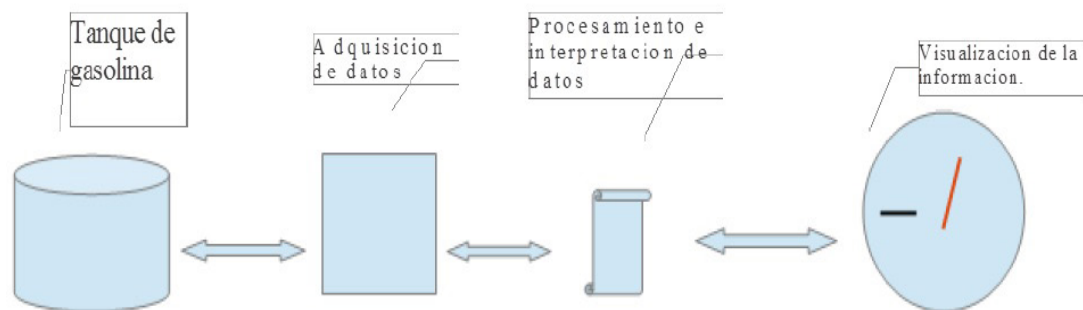
No existe un mecanismo de lectura para conocer el nivel en el depósito de combustible del vehículo Mini Baja de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

1.5. Solución propuesta

Desarrollo de un mecanismo de medición de nivel de combustible que integre la electrónica y sensores, para aplicarlo en un vehículo Mini Baja.

El funcionamiento del sistema de medición debe trabajar con base en la siguiente analogía (véase figura 2).

Figura 2. Analogía de funcionamiento del sistema propuesto



1.6. Alcance y delimitaciones

Desarrollar una propuesta de implementación para que el vehículo de Mini Baja de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez cuente con un sistema de medición de nivel de combustible. Dicho sistema facilitará al conductor conocer en todo momento el nivel de combustible con el que cuenta; esto mejorará su eficiencia con respecto al tiempo en algunas competencias, y por lo tanto, se posicionará con mejor puntuación en las tablas de clasificación.

1.7. Justificación

Esta investigación se centra en presentar una propuesta para elaborar un mecanismo capaz de indicar el nivel de combustible en el depósito del vehículo Mini Baja.

*Sistema de medición de nivel de combustible
en autos "mini baja"*

Esto, con la finalidad de poder observar el nivel de combustible cuando se encuentre en uso el vehículo. Se obtendrá como beneficio la eficiencia en el tiempo durante las competencias de SAE, el cual se verá reflejado directamente en la puntuación que reciba el equipo de Mini Baja de la UACJ.

13

1.8. Metodología

Leer los reglamentos utilizados en competencias de SAE

Realizar una investigación acerca de todos los componentes que utilizaremos en el desarrollo del medidor de nivel de combustible, tales como sensores, microcontroladores, pantallas, materiales utilizados en el entorno de combustibles

Diseñar un dispositivo capaz de obtener la medición del nivel de combustible de un vehículo Mini Baja

Fabricar el dispositivo con base en las dimensiones y materiales propuestos en nuestro diseño

Realizar pruebas de vibración al dispositivo

Validar si nuestro dispositivo es viable, basándonos en el análisis de datos obtenidos durante las pruebas

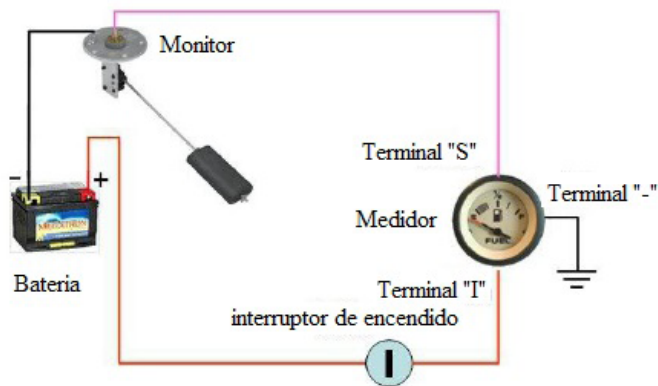
MARCO TEÓRICO

2.1 Indicador del nivel de combustible

Un indicador de este tipo le facilita al conductor de un vehículo, en todo momento, saber el nivel de combustible con el que cuenta su unidad de almacenamiento; esto con la finalidad de saber si el consumo de carburante es el esperado y sobre todo para realizar un cálculo aproximado del tiempo restante de operación del motor.

El sistema mencionado debe tener las ventajas de ser sencillo y eficaz, que se pueda adecuar al Mini Baja y que tenga un bajo costo de producción.

Para determinar el nivel de combustible que se encuentra en el depósito es necesario que exista un sensor, el cual será encargado de enviar una señal análoga del nivel de líquido que será representada en el indicador del sistema de medición, tal como se representa en la figura 3.



Medición de combustible/alambrado del monitoreo

El sistema de medición de nivel a desarrollar debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Debe ser externo al tanque de combustible y motor

Sólo puede utilizar mangueras para gasolina de $\frac{1}{2}$ " de diámetro como máximo

El indicador debe ser digital

2.2 Medición de nivel

El nivel es una de las variables utilizadas específicamente en el control de sustancias líquidas por lo general. En la jerarquía para la selección de un medidor de nivel se tiene preferencia por los medidores estáticos en comparación con los que poseen partes móviles. Anteriormente, la mayoría de los métodos utilizados eran llevados a cabo con principios mecánicos, y en raras ocasiones, neumáticos. En la actualidad, los métodos de medición más comunes [1] se pueden clasificar en:

Medición directa

Utilizando la presión hidrostática

Métodos electromecánicos

Nivel por capacidad

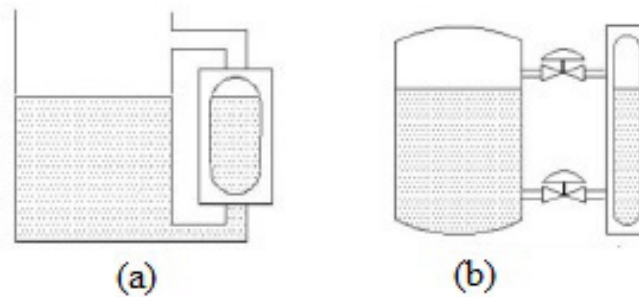
Detección de nivel por ultrasonido

*Sistema de medición de nivel de combustible
en autos "mini baja"*

Método de nivel de mirilla

Se puede obtener una indicación visual del nivel en líquidos razonablemente limpios, si parte del tanque o contenedor está fabricado con algún material transparente (ver figura 4).

Figura 4. Método de medida directa. (a) Recipiente abierto. (b) Recipiente cerrado. Fuente: libro *Instrumentación Industrial*.

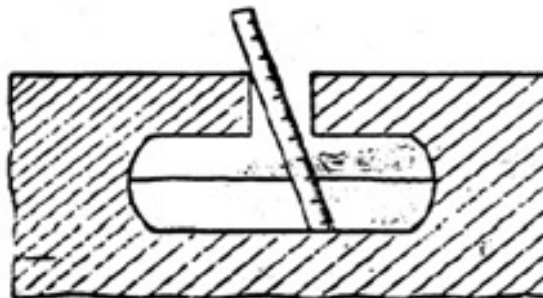


Si la mirilla de nivel se monta en una tubería de derivación con llaves de paso en cada extremo (figura 4b) se logra aislarla del contenedor, lo cual permite su retiro para proporcionararle su respectivo mantenimiento [2].

Método de barra calibrada

Éste es uno de los métodos manuales más comunes, y es muy simple, igualmente aplicable a líquidos y a sólidos granulados (véase figura 5). La aplicación más familiar de una barra calibrada es la varilla empleada para comprobar el nivel del aceite de un motor de automóvil [2].

Figura 5. Método de barra calibrada. Fuente: libro *Instrumentación industrial*



16 Interruptor de flotador

Este sistema es el más conocido y simple en cuanto a la medición de niveles de líquidos, consiste en un cuerpo flotante (flotador) montado sobre un brazo móvil acoplado a una articulación la cual puede ser a su vez utilizada para montar una resistencia variable, tal y como se muestra en la figura 6. Existen versiones que consisten en un flotador redondo con un pequeño imán que sube a lo largo de un tubo, Tal como se muestra en la figura 7 [2].

Figura 6. Sensor de nivel implementando flotador

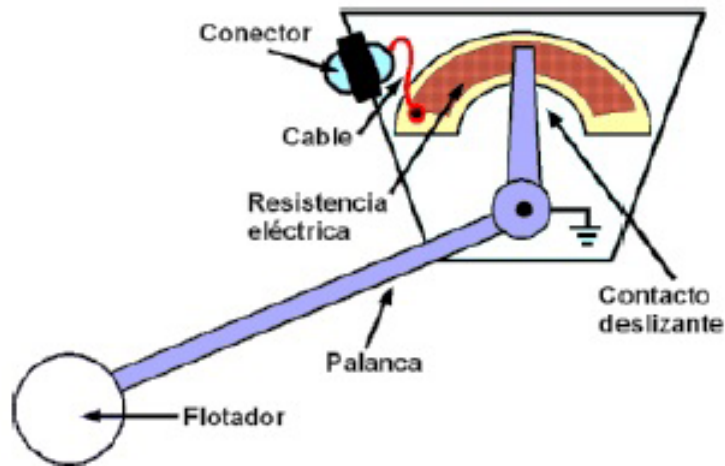


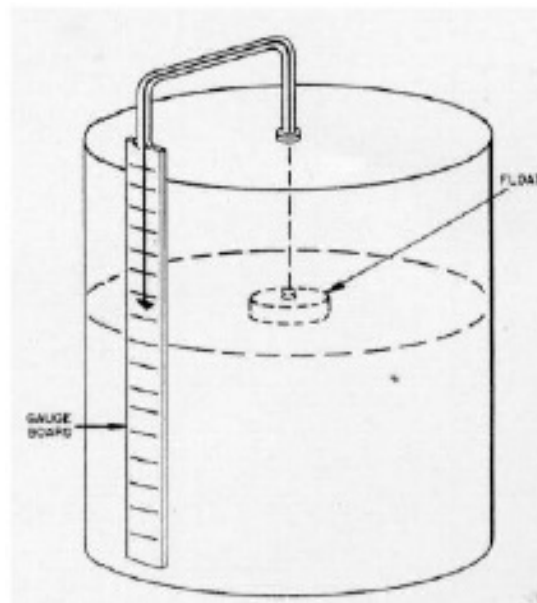
Figura 7. Sensor de nivel de flotador magnético de la compañía Gasgoo. Fuente: *Manual de instrumentación aplicada*



*Sistema de medición de nivel de combustible
en autos "mini baja"*

Al igual que el caso anterior consiste en un flotador, pero en este caso se utiliza para la medición continua de nivel. La forma más simple de un sistema de este tipo consiste en un flotador, un cable fino, dos agarres y un peso suspendido en la parte exterior del tanque abierto. En la parte exterior se coloca una escala graduada y la posición del peso a lo largo de la escala indica el nivel del contenido del tanque tal como se muestra en la figura 8 [2].

Figura 8. Sistema de medición mediante flotador/cuerda



2.2.2. Métodos utilizando la presión hidrostática

Medidores manométricos y de presión diferencial

Este método se basa en la medición de la presión hidrostática correspondiente a una columna de líquido de una altura determinada. [3] La presión se calcula mediante la expresión:

$$(1)$$

Donde:

= presión

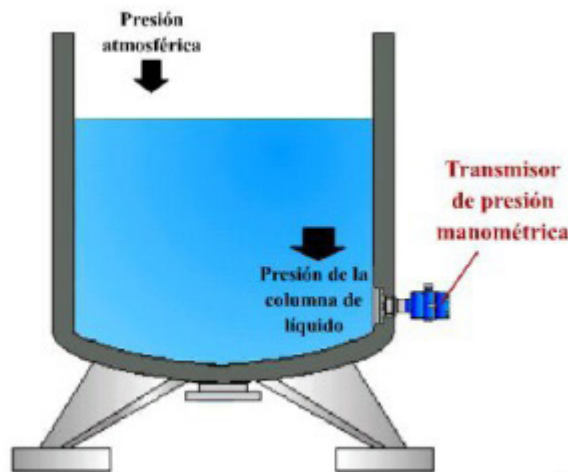
= altura de la columna de líquido

= aceleración de la gravedad

= densidad relativa

La fórmula muestra que la variable en un sistema es h , excepto cuando la densidad del líquido se modifique. Mediante esa relación se determina que la presión es proporcional a la altura del líquido, como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Método de medición de nivel mediante presión hidrostática. Fuente: *Manual de instrumentación aplicada*



Los sensores se montan en la parte más baja del depósito. Si el sensor no se puede montar directamente en el lateral del tanque al nivel adecuado, se puede montar en el extremo de una barra o cable y bajarlo desde la parte superior del tanque hasta la profundidad oportuna.

Cuando la presión de la superficie del líquido es mayor que la presión atmosférica (en depósitos cerrados y presurizados), se puede emplear un sensor de presión diferencial, el cual mide por un puerto la presión total ejercida al fondo del estanque, y por un segundo puerto la presión en la superficie. La presión de la superficie se resta de la presión total, quedando la presión correspondiente a la columna de líquido [4].

2.2.3. Métodos electromecánicos

Método por desplazamiento

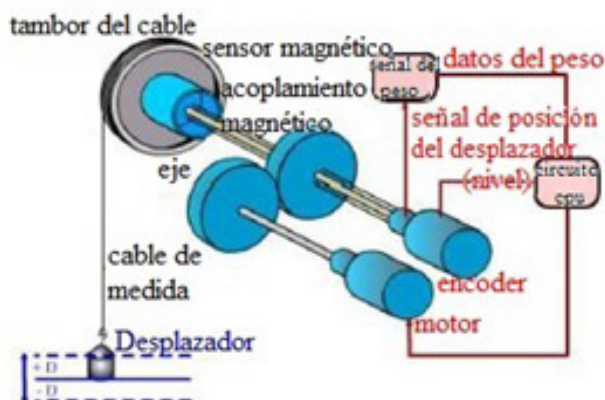
El método por desplazamiento de un cuerpo se basa en la diferencia entre el peso del cuerpo y la fuerza de flotación hacia arriba que el medio ejerce sobre el cuerpo en desplazamiento (ley de Arquímedes). La fuerza de flotación hacia arriba depende

*Sistema de medición de nivel de combustible
en autos "mini baja"*

del volumen del cuerpo en desplazamiento, la densidad relativa y el nivel del medio. Debe cumplirse la condición de que para que el cuerpo se desplace, debe ser más pesado que el medio (densidad específica mayor que el medio). La fuerza diferencial se transmite frecuentemente a un transductor de medición por un sistema de barra de torsión de manera que el equipo se mantenga sellado. El transductor empleado en el método por desplazamiento de un cuerpo es un transductor de desplazamiento eléctrico o transductor de fuerza.

Un ejemplo de este tipo de instrumentos son los servodispositivos de nivel. Este instrumento mide el peso aparente del “desplazador”. Si el peso aparente del desplazador es muy alto, el desplazador está muy arriba en el producto, y cuando el nivel baja, la fuerza ascendente que ejerce el producto sobre el desplazador es menos intensa. Si el desplazador pesa poco, se hunde mucho en el producto, y cuando el nivel sube, el producto ejerce sobre el desplazador una fuerza ascendente más intensa. El servomotor se basa en las diferencias de nivel y en la fuerza de flotación y se controla de modo que siempre haya una situación de equilibrio. La figura 10 muestra un servodispositivo de nivel donde el hilo de medición se desenrolla o se enrolla en un tambor hecho con una gran precisión que va acoplado a un codificador (*encoder*) mediante el cual se puede medir la posición del tambor que corresponde con el nivel del producto [4].

Figura 10. Sistema de medición de nivel electromecánico. Fuente: *Manual de instrumentación aplicada*



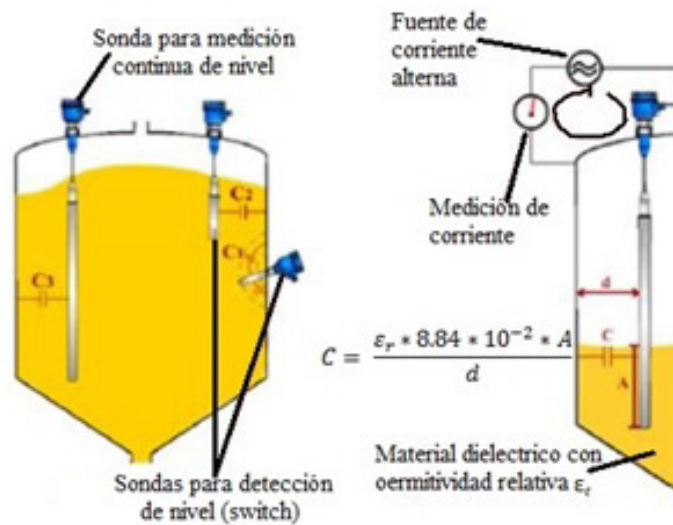
2.2.4. Método de nivel por capacidad

En este tipo de dispositivos, una sonda metálica y la pared misma del tanque o silo actúan como dos placas de un condensador. La capacidad de este condensador depende del medio que haya entre la sonda y la pared. Si solo hay aire, es decir, si el tanque o silo está vacío, la capacidad del conductor es baja. Cuando parte de la sonda esté cubierta por el producto, la capacidad se incrementará. El cambio de capacidad

20 se convierte mediante un amplificador en una acción de relé o en una señal de salida analógica. Por ello, este método es igualmente adecuado como indicador de nivel (disposición vertical de la sonda) y como interruptor de nivel (sonda en disposición horizontal). [5]

Para realizar la medición de nivel por variación de capacidad, el condensador se conecta a un circuito de corriente alterna de alta frecuencia, de modo que el cambio en la capacidad C , que es el cambio de nivel, se puede convertir en señal eléctrica. La figura 11 muestra un condensador conectado a una fuente de corriente alterna, conocido como oscilador de alta frecuencia. La corriente que pasa por el circuito es directamente proporcional al valor C de la capacidad.

Figura 11. Método de medición de nivel por capacidad. Fuente: *Manual de instrumentación aplicada*



Un oscilador colocado en el cabezal de la sonda convierte los cambios de capacidad en variaciones de voltaje o frecuencia. En fluidos no conductores, se emplea una sonda (electrodo) normal, mientras que en fluidos conductores, con una conductividad mínima de 100 micro-Siemens. El electrodo está aislado usualmente con teflón.

2.2.5. Detección de nivel por ultrasonidos

El método de reflexión del sonido se basa en medir el tiempo de retorno de un pulso de sonido emitido por un sensor. El pulso ultrasónico emitido se refleja en la superficie del producto y el mismo sensor vuelve a detectarlo.

El tiempo de retorno de la señal es una medida indirecta de la altura de la sección

*Sistema de medición de nivel de combustible
en autos "mini baja"*

vacía del tanque. Si a esta distancia se le resta la altura total del tanque, se obtiene el nivel del producto. El tiempo de retorno se convierte en una señal de salida analógica (ver figura 12). [6]

Figura 12. Ejemplo de sensor ultrasónico utilizado en un silo. Fuente: *Manual de instrumentación aplicada*



2.3. Selección de método de medición de nivel

En la tabla 1 se muestran los puntos relevantes de cada método de medición y si cumple con las especificaciones requeridas por el reglamento Baja SAE.

Tabla 1. Comparación entre los distintos métodos de medición de nivel en líquidos

Método	Ventajas	Desventajas	Costo	Aplicable a Mini Baja
Nivel de mirilla	Implementación sencilla	No entrega una salida digital	Económico	No
Barra calibrada	Implementación sencilla	No entrega una salida digital	Económico	No
Flotador	Implementación sencilla	Requiere mantenimiento periódico	Moderado	Sí
Flotador-cuerda	Es preciso	Requiere cierta cantidad de equipo mecánico	Moderado	No
Presión hidrostática	Implementación sencilla y de fácil ajuste	Depende de la densidad de fluidos	Moderado	Sí
Por desplazamiento	Alta precisión	Requiere equipo mecánico	Moderado	No
Nivel por capacidad	No tiene partes móviles	Limitado a propiedades eléctricas del fluido	Económico	Sí
Ultrasonido	No hay contacto con el líquido	Su funcionamiento es dependiente de cambios de temperatura	Costoso	No

Con base en la tabla 1 se determina que los métodos viables para la obtención del nivel de combustible son el de presión hidrostática y el de nivel por capacidad. La implementación de cualquiera de estos dos métodos es sencilla; ambos cumplen con los lineamientos del reglamento Baja SAE y son resistentes a vibraciones e impactos.

En el sistema de medición de combustible que intentamos desarrollar, el conductor debe ser capaz de visualizar el nivel de combustible mediante una pantalla LCD; la decisión de que sea una lectura digital es con la finalidad de proporcionar una mayor exactitud al sistema. Los componentes principales del sistema son:

Sensor de presión o capacidad para líquidos

Microcontrolador

Pantalla de cristal líquido (LCD)

Sensor de presión de la serie MPX5050

Este sensor es fabricado por la compañía “Semiconductors freescale”. Su estructura interna es una piezorresistencia de silicio sensible a la presión. Proporciona una variación de voltaje muy precisa y directamente proporcional a la presión que se le esté aplicando. El sensor consta de un diafragma de silicio y una delicada filmina con una red de resistencias integradas en un chip. En la figura 13 se muestra una vista de dicho sensor.

Figura 13. Imagen del sensor MPX5050 proporcionada por el fabricante



Las características principales de este sensor son:

Un error máximo de 2.5%

Su estructura principal es de resina epóxica de alta resistencia

Este sensor cuenta con dos puertos, uno de ellos es conectado donde se requiere tomar lectura de la presión en el depósito; su segundo puerto es de vacío y se conecta si el sistema donde se instala cuenta con vacíos. En caso de no poseer vacíos, se deja ya sea abierto o cerrado; el sensor funciona con 5v y nos brinda una salida análoga variable, que va desde los 0 hasta los 5v, dependiendo de la presión que le sea aplicada por su puerto de presión.

Se seleccionó este sensor por su alta fiabilidad, por ser capaz de entregar una señal análoga acondicionada, compensar cambios de temperatura y estar calibrado por su fabricante. La compañía Freescale Semiconductors es una división de Motorola y actualmente es líder en soluciones de procesos embebidos. Parte de su actividad es innovar en el campo de conectividad entre sensores y microcontroladores o microprocesadores. Su enfoque principal es el ramo de la industria automotriz.

Filtro pasa bajos

La principal función de un filtro de este tipo es proporcionar una configuración tal que permita la transmisión de una señal eléctrica en una frecuencia determinada y con esto se evita la aparición de frecuencias o perturbaciones externas al sistema.

Los filtros eléctricos pasa bajos se caracterizan porque tienen una banda pasante que se extiende hasta una cierta frecuencia denominada frecuencia de corte. También pueden definirse como aquellos filtros que no atenúan o atenúan poco las señales de frecuencias comprendidas entre y mientras que producen una gran atenuación de las señales de frecuencia exteriores a aquellas [9].

Microcontrolador

Se incorpora un microcontrolador en el sistema para convertir la señal análoga que nos proporciona el sensor de presión a una señal análoga y posteriormente poderla representar en una pantalla LCD.

Un microcontrolador (en ocasiones abreviado como mC o MCU) es un ordenador que emplea una gran variedad de circuitos integrados. Además, un microcontrolador integra algunos de los siguientes componentes periféricos:

Memoria

Contadores

Modulación de ancho de pulso (PWM)

Convertor de señal análoga a digital (ADC)

24 Conversor de señal digital a analógica (DAC)

Interfaz de entrada y salida

Control de acceso directo a la memoria (DMA)

Desde su introducción en el sector industrial, los microcontroladores se han utilizado en casi todas las aplicaciones donde se requiere una gran cantidad de inteligencia. Se podría decir que una de las aplicaciones más importantes de los microcontroladores ha sido el control del automóvil, ya que en promedio un vehículo utiliza más de 100 MCU. Productos de este tipo usualmente son denominados “sistemas embebidos”. [7]

Las compañías más fuertes en desarrollo de microcontroladores son:

- a. Microchip Technology Inc. es una empresa fabricante de microcontroladores, memorias y semiconductores analógicos, situada en Chandler, Arizona, EE. UU. Y su producto más popular son los microcontroladores PIC de 8 bits.
- b. Atmel Corporation: la línea de productos de esta compañía incluye microcontroladores, dispositivos de radiofrecuencia, memorias EEPROM y Flash, ASICs, WiMAX, y cuenta con la capacidad de ofrecer soluciones del tipo SoC (system on chip por sus siglas en inglés).

Para el sistema de medición de combustible se optó por utilizar un microcontrolador de la compañía Atmel, para poder trabajar con la plataforma denominada “Arduino”.

Tarjeta Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en software y hardware flexibles. Posee un microcontrolador de la compañía Atmel y fue diseñada para diseñadores, aficionados y cualquiera que esté interesado en crear entornos u objetos interactivos.

Al ser hardware libre, tanto su diseño como su distribución son libres. Es decir, puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia. Las placas pueden ser hechas a mano o compradas montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, de esta manera hay libertad de adaptarlos a las especificaciones del proyecto. [10]

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing).

*Sistema de medición de nivel de combustible
en autos “mini baja”*

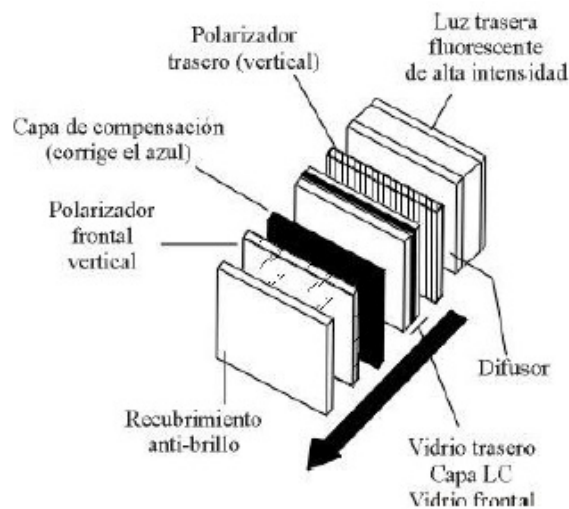
Se decidió utilizar la plataforma Arduino ya que es económica, cumple con las especificaciones requeridas, es de código abierto, su lenguaje de programación es muy versátil y además cuenta con módulos para enlazarse fácilmente con Simulink, Matlab y Labview en cuestión de simulación.

Pantalla de cristal líquido (LCD)

Es un sistema eléctrico de representación de datos formado por dos capas de cristales polarizados y, entre ellas, un material (cristal líquido) que tiene la capacidad de compartir propiedades líquidas y sólidas para orientar la luz a su paso y así formar la imagen. El funcionamiento de una pantalla LCD se basa en el principio de polarización de la luz mediante filtros: un filtro polarizado es un cristal sin ninguna peculiaridad a simple vista, pero posee unas vetas longitudinales imperceptibles para el ser humano.

Si se colocan juntos dos filtros polarizados, la visión seguirá siendo traslúcida. Sin embargo, si la giramos hasta poner en perpendicular las vetas de ambos cristales, el resultado será opaco. Así, girando continuamente uno de estos filtros se puede dejar pasar o no la luz, logrando oscurecer los colores hasta el negro detrás de los filtros, tal como se muestra en la figura 15. [11]

Figura 14. Pantalla LCD. Fuente: Publicación electrónica “Pantallas de cristal líquido”



Una pantalla de cristal líquido de 16 x 2 caracteres sería idónea para realizar la función de indicador de combustible, ya que sólo se necesita expresar el nombre del sistema. En este caso se utilizaría la primera fila de 16 caracteres para representar la palabra “combustible” y posteriormente la segunda línea de 16 caracteres para repre-

26 sar el nivel de porcentaje de combustible, el cual variará de 0% a100%.

Este componente realiza la función de indicador en el sistema de medición de nivel, ya que por este medio se visualiza el porcentaje de combustible restante en el depósito del vehículo.

III. METODOLOGÍA

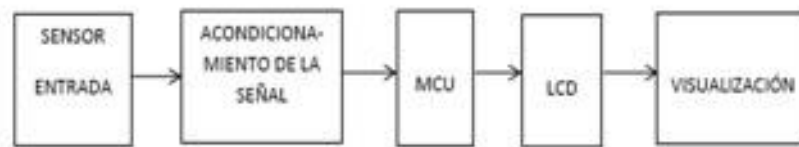
Por cuestiones de espacio se determinó que de los tres sensores que cumplían con las especificaciones SAE, el que mejor se adaptaría al sistema sería un sensor de presión, ya que es compacto y muy práctico en cuanto a su instalación. Los componentes principales del sistema son:

Sensor de medición de nivel

Microcontrolador

Pantalla de cristal líquido (LCD)

Es fundamental la manera y tipo de comunicación que existirá entre estos tres componentes. De llegar a existir alguna falla en los componentes del sistema, éste se verá inmediatamente reflejado en el indicador (pantalla LCD), ya sea por una muestra o captura errónea o una falla dentro del sistema. El funcionamiento del sistema es de lazo abierto. Su función (figura 8) es adquirir una lectura del nivel de combustible en el depósito mediante el sensor de medición de nivel; posteriormente, la señal análoga proporcionada por este sensor pasa por una etapa de acondicionamiento de señal y es leída por el microcontrolador, el cual es encargado de convertir dicha señal análoga a una señal digital para luego representarla en la pantalla de cristal líquido. Este conjunto de tareas se encuentran relacionadas entre sí gracias al microcontrolador, para lo cual se requiere un código de programación que hará a los componentes del sistema trabajar entre sí, siempre que el vehículo se encuentre en funcionamiento.



Existen 4 formas de comunicación constantes, las cuales son:

- Sensor → (señal-análoga) → Acondicionamiento de señal
- Acondicionamiento de señal → (filtrado/análoga) → MCU.
- MCU → (digital) → LCD.
- LCD → (visual/óptica) → conductor.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Cálculos de presión y resolución existentes en el sistema

Utilizar un sensor de presión implica realizar cálculos de la presión que existirá en el sistema, con el propósito de conocer más acerca del funcionamiento del mecanismo a proponer. El sensor que se designó para el desarrollo de las pruebas fue un MPX5050, [7] y sólo posee rangos de entrada de presión que van de 0 a 50 kPa. Se consideró importante realizar el cálculo de presión hidrostática que existirá en el fondo del depósito de combustible. La máxima presión aplicada al sensor ocurre cuando se encuentra lleno el depósito de combustible. Utilizando la ecuación (1) se determina la presión hidrostática en un punto fijo del depósito. Dichos resultados se observan en la tabla 2.

Tabla 2 Datos del sensor MPX5050

Constante	Específica
$h=0.15m$	$h=$ altura del depósito
$\rho=680 \text{ Kg/m}^3$	$\rho=$ densidad de la gasolina
$g=9.81 \text{ m/s}^2$	$g=$ gravedad

28 Aplicando los valores de la tabla 2 a la ecuación (1) se obtiene la siguiente expresión:

$$P = (0.15 \text{ m}) \left(680 \text{ Kg}/\text{m}^3 \right) \left(9.81 \text{ m}/\text{s}^2 \right) \quad (2)$$

El resultado de la presión hidrostática en el fondo del depósito equivale a:

$$P = 1,000.62 \text{ pascales}$$

Con ello se demuestra que la presión ejercida por el líquido en el fondo del tanque no supera los rangos de operación del sensor. Se presentan en la tabla 3 los valores de operación reales con los que estará trabajando el sistema de medición de nivel.

Tabla 3. Valores de operación del sensor MPX5050

Sensor MPX5050	Depósito vacío	Depósito lleno
Presión aplicada	0 kPa	1.00062 kPa
Voltaje de salida	0.2 vdc	0.8637 vdc
Litros de combustible	0	3.78

La resolución de la entrada analógica de Arduino [8] es de 10 bits, por lo tanto, en la ecuación (3) se plantea el método para obtener la resolución proporcional al voltaje de salida del sensor. Obtener la resolución es fundamental para el desarrollo del código de programación.

$$\text{Resolución} = \frac{(\text{Vol. Sal})(\text{Res. Máx.})}{\text{Voltaje Sal. Máx.}} \quad (3)$$

En la expresión (3), al sustituir los valores ya preestablecidos por el fabricante se obtiene lo siguiente:

$$\text{Resolución} = \frac{(\text{Vol. Sal})(R1023)}{4.7 \text{ Vdc.}} \quad (4)$$

La única variable en la ecuación (4) es el voltaje de salida. Se calculan los valores de resolución máxima y mínima con los que funcionará el sistema (ecuaciones 5 y 6):

$$\text{Resolución Máx.} = \frac{(0.86 \text{ V})(1023)}{4.7 \text{ Vdc}} \quad (5)$$

$$\text{Resolución min.} = \frac{(0.2 \text{ V})(1023)}{4.7 \text{ Vdc}} \quad (6)$$

Sistema de medición de nivel de combustible en autos "mini baja"

La resolución máxima leída por el microcontrolador sería de 188 bits y la mínima 44 bits. Una vez obtenido el rango de resolución que se manejará en el MCU se realizan algunas líneas del código de programación; dicho código designará el modo y tiempo de lectura del sensor.

4.2 Pruebas de resolución del sensor MPX5050 instalado en el vehículo Mini Baja

Para realizar estas pruebas se conectó la tablilla de Arduino al sensor previamente instalado a un costado del carburador, y a su vez se realizó una comunicación serial entre Arduino y un computador portátil (figura 16) mientras se llenaba y descargaba el depósito del Mini Baja. La comunicación serial se realizó con el fin de convertir la señal analógica de salida del sensor a señal digital, y así leer su resolución mediante el computador.

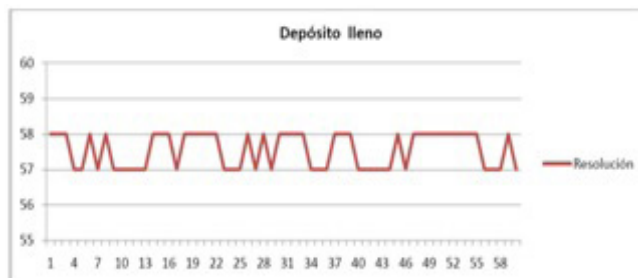
Figura 16. Comunicación entre PC y sensor



4.3 Datos obtenidos durante las pruebas

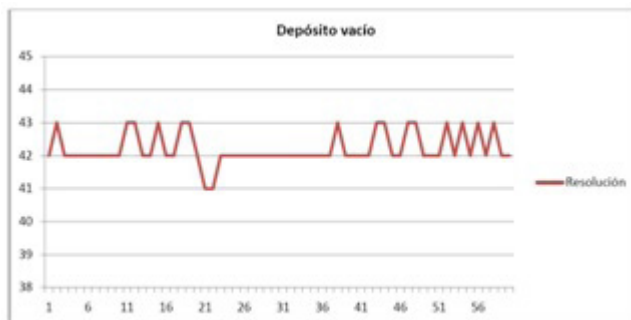
Las lecturas de resolución obtenidas durante las pruebas fueron capturadas en un intervalo de tiempo, como se muestra en las siguientes gráficas, las cuales expresan el valor de la resolución con base en el tiempo. La primera prueba se realizó el 24 de abril de 2013. Esta prueba fue realizada con el depósito lleno de combustible y las lecturas fueron tomadas cada 50 minutos.

Figura 17. Lecturas con tanque lleno



Para las pruebas de correlación se realizó una prueba el día 24 de abril de 2013. Esta prueba fue realizada de la misma manera que la primera, con la finalidad de hacer una correlación.

Figura 18. Tanque vacío



Las pruebas a tanque lleno y vacío se realizaron en diferentes fechas y con diferentes tipos de gasolina. Se muestra (figura 18) la tercera prueba, realizada el día 24 de abril de 2013.

Se hicieron varias pruebas de una manera más dinámica, es decir, con el motor funcionando en tramos cortos, con diferentes rangos de tiempo y diferentes niveles de combustible; los resultados fueron procesados (filtrado, mapeo de resolución, etcétera) para establecer la relación visual real.

V. CONCLUSIONES

A lo largo de la investigación se logró desarrollar una propuesta para el sistema de medición de nivel de combustible para el vehículo Mini Baja que representa a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Dicha propuesta cumplió los requerimientos del reglamento de SAE para este tipo de competencias.

Se realizó una investigación acerca de los diferentes tipos de medición de nivel en fluidos; se escogió el método capacitivo y de presión hidrostática mediante el uso de un sensor de presión y un microcontrolador.

Una vez desarrollado el sistema propuesto mediante un sensor de presión y un microcontrolador programado, se llevaron a cabo pruebas para tomar lecturas de resolución mediante el microcontrolador. Con estas lecturas se comprobó que el sistema funciona, ya que los datos de las lecturas obtenidas son diferentes conforme el nivel de combustible en el depósito varía.

Las ventajas del sistema de medición de combustible propuesto son:

Fácil instalación al vehículo Mini Baja

No requiere alto grado de conocimientos eléctricos o electrónicos

Su calibración se puede efectuar rápidamente

Se obtiene una lectura digital

Sin embargo, se recomienda realizar un estudio más detallado en el área de filtrado y acondicionamiento de señal, ya que en algunas pruebas en funcionamiento se obtuvieron señales con ruido siguiendo el patrón de frecuencia de las vibraciones del motor. Por lo tanto, es necesario aplicar un mejor filtraje, ya sea físico o con software. El filtraje es necesario entre el sensor y el microcontrolador.

REFERENCIAS

- [1] Creus Solé, A. (2010). Instrumentación industrial. 8ª edición. Marcombo, S.A. Barcelona.
- [2] Van de Kamp, W. (2005). Teoría y práctica de medición de niveles. 19ª edición. Endress+Hauser, S.A.
- [3] Gil Trejos, O. F.; Robayo García, D. (2011). Diseño, construcción y control de un sistema de almacenamiento de líquidos de segundo orden. Tesis de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Disponible en línea: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/2661>
- [4] Considine, D. M.; Ross, S. D. (1982). Manual de instrumentación aplicada. 6ª edición. Compañía Editorial Continental.
- [5] Quintáns, C.; Marcos, J.; Fariña, J. (2006). Desarrollo de sensores capacitivos de bajo coste para laboratorios docentes. Artículo del Departamento de Tecnología Electrónica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. España. Disponible en línea: <http://taee2008.unizar.es/papers/p34.pdf>
- [6] Alzate Rodríguez, D. A. (2010). Control y medida de nivel de líquido con señales de ultrasonido. Tesis de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Disponible en línea: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1774/4/6298A478.pdf>
- [7] Freescale Semiconductor (s.f.). Especificaciones del sensor MPX5050. Mayo 2013. Disponible en línea: <http://profesoraeugenia.blogspot.mx/2006/07/cmo-citar-una-pgina-web.html>
- [8] Arduino (s.f.). Descripción de Arduino. Mayo 2013. Disponible en línea: <http://arduino.cc/en/>
- [9] Rovirosa, G.; Labori, J. (2007). Fabricación de condensadores y carretes. Calpe.
- [10] Gómez Campomanes, J. (1990). Circuitos eléctricos; Editor Universidad de Oviedo; 581 pp.
- [11] Valdés Pérez, F. E. Pallas Areny, R. (2007). “Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC”; Marcombo.
- [12] Arduino (s.f.). “Descripción de Arduino”, [en línea]. Mayo 2013. Disponible en la Web: <http://arduino.cc/en/>

UACJ