



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

**E00881.1 Proyectos de Ingeniería II
Profesor: Dr. G. Alfonso Parra Rodríguez**

**Campus Ciudad de México
División de Ingeniería y Arquitectura
Departamento de Electrónica y Mecánica**

“Dispositivo verificador de cantidad de gasolina Pemex”

**Autor:
Juan Carlos Soto Flores
A00995249**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY**

Biblioteca
Campus Ciudad de México

**Asesora:
Dra. Irma Salgado Escobar**

**Coasesor:
M en C. Salvador Almazán Alvarado**

**Semestre:
Agosto - Diciembre 2008**



INDICE:

1. CAPITULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	Pág. 4
1.1. Problemática y Justificación.....	Pág. 5
1.2. Objetivos y Metas.....	Pág. 8
1.3. Estado del Arte.....	Pág. 9
1.3.1. Combustión.....	Pág. 9
1.3.2. Combustibles.....	Pág. 9
1.3.3. Gasolinas.....	Pág. 11
1.3.4. Octanaje.....	Pág. 15
1.3.5. Adulteración de las gasolinas.....	Pág. 17
1.3.6. Consecuencias del octanaje en el automóvil.....	Pág. 20
1.4. Alcances y limitaciones del proyecto.....	Pág. 20
1.5. Infraestructura y Recursos	Pág. 21
2. CAPITULO 2: FUNCIONAMIENTO DEL PROYECTO	Pág. 22
2.1. Estado del Arte.....	Pág. 23
2.1.1. Gasolinas: PEMEX Magna y Premium.....	Pág. 23
2.1.2. Norma Oficial Mexicana NOM-005-SCFI-2005.....	Pág. 25
2.1.3. Pruebas RON y MON.....	Pág. 27
2.2. Fundamentos del Dispositivo.....	Pág. 32
2.2.1. Mediciones.....	Pág. 34
2.2.1.1. Medición de flujo.....	Pág. 35
2.2.1.2. Medición de densidad.....	Pág. 48
2.3. Descripción del funcionamiento del dispositivo.....	Pág. 50
3. CAPITULO 3: DESARROLLO Y DISEÑO DEL DISPOSITIVO	Pág. 52
3.1. Mecánica.....	Pág. 53
3.1.1. Tubo del medidor Coriolis.....	Pág. 53
3.1.2. Sensores.....	Pág. 54
3.1.3. Bobina excitadora.....	Pág. 57
3.2. Electrónica Analógica.....	Pág. 59
3.2.1. Amplificador de Carga.....	Pág. 59
3.2.2. Detector de cruce por cero.....	Pág. 64
3.2.3. Filtro Notch.....	Pág. 65

3.3. Electrónica Digital.....	Pág. 67
3.3.1. Interfaz.....	Pág. 67
3.4. Diagramas del prototipo.....	Pág. 70
4. CAPITULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS.....	Pág. 77
4.1. Trabajo a futuro.....	Pág. 95
4.2. Conclusiones.....	Pág. 95
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	Pág. 96

CAPITULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Introducción:

En el presente capítulo se presenta la información de las repercusiones económicas, ecológicas y sociales de la adulteración de la gasolina, que es un problema muy sensible y presente en todo el país. Se presentan cifras y estimados en pérdidas de la venta en gasolinas PEMEX a nivel nacional, así como sus consecuencias a los automóviles, el medio ambiente y la salud de las personas, dándonos un panorama de como estos factores afectan la economía de no solamente los automovilistas del país, sino de todos los habitantes ya sea de manera directa (automovilistas) o indirecta (ciudadanos en general) por medio de la contaminación.

Para lograr hacer un análisis profundo de las consecuencias al adulterar la gasolina, conoceremos los orígenes, composición, procesos, información y características específicas acerca de la gasolina.

Es importante resaltar que las gasolinas en general son diferentes en distintas partes del mundo ya que tienen distintas características, es por eso que se debe especificar que el proyecto va enfocado solamente al tipo de gasolinas comerciales existentes en México que son las gasolinas Pemex, y éstas son dos: Pemex Magna (87 Octanos) y Pemex Premium (92 Octanos).

Aun más específico, el análisis se enfocará a las gasolinas de las zonas metropolitanas de Guadalajara y del valle de México, debido a que tienen la misma composición en todo el año.

La reformulación de la gasolina utilizada alrededor del mundo es el producto de factores externos y climatológicos que intervienen en cada país.

En un principio cuando los primeros automóviles con máquinas de combustión interna circulaban por las carreteras de los Estados Unidos a principios del siglo XX, los viajeros que recorrían distancias largas entre estados, comenzaron a notar que el funcionamiento y rendimiento del automóvil variaba y esto era debido a que los combustibles no estaban estandarizados y cada región de los EUA tenía su propia composición de gasolina, por lo tanto, a principios del siglo XX se estandarizó una de las propiedades mas importantes de la gasolina que vemos hoy en día en todas las gasolineras, el número de octanaje, que es la capacidad antidetonante de los combustibles, es decir, el índice de oposición a la explosión cuando un combustible se somete una compresión, sin que exista una chispa de por medio.

Para lograr dicha estandarización, se diseñó una máquina para realizar un análisis que hoy en día conocemos como Research Octane Number (RON) el cual nos da un resultado acerca del número de octano del combustible probado.

Aproximadamente unos 20 años mas tarde se creo otra máquina con características muy similares para hacer otra prueba llamada Motor Octane Number (MON) que de igual forma

arroja un resultado diferente al RON y generalmente menor, acerca del octanaje del combustible.

Estos dos resultados se estandarizaron y forman parte de la sociedad americana de pruebas y materiales, mejor conocida como ASTM. La norma ASTM D2700 y ASTM D2699, son para las pruebas MON y RON, respectivamente.

Cabe resaltar que ninguno de los dos resultados de las pruebas de octanaje es el que se muestra en las gasolineras hoy en día, el número que vemos en las gasolineras es conocido como índice AKI, que es el promedio del resultado arrojado por las pruebas MON y RON.

1.1 Problemática y Justificación:

Antes de plantear la problemática es importante comenzar con dos cuestiones:

1. Las leyes
2. La aplicación de las leyes

Para plantear el primer punto nos remitimos a un fragmento extraído del marco jurídico de la franquicia Pemex, que dice lo siguiente:

Capítulo 1 del Marco jurídico de la franquicia Pemex ⁽⁴⁾.

1.5 Contratos de franquicia y suministro:

"No adulterar y/o alterar y/o vender adulterados y/o contaminados o en envases etiquetados falsamente productos petrolíferos..."

"No suministrar o proporcionar volúmenes o cantidades de productos petrolíferos menores a las ofrecidas y/o vendidas y/o solicitadas por el consumidor."

"Cumplir con la normatividad expedida, y con cualquiera de las normas oficiales mexicanas, de manera enunciativa mas no limitativa, en materia de... protección al consumidor... a fin de operar la estación de servicio bajo los términos establecidos, en cuanto a calidad, volumen, precio..."

Si bien ésta es sólo una de las normas que regulan a los franquiciarios de Pemex, claramente enuncia que no se deben vender litros de menos o gasolina adulterada. Más adelante en la sección 2.1.2 se trata otra norma que regula a los franquiciarios.

Para plantear la problemática real que vivimos, debemos considerar las siguientes cifras. En primera vivimos en un país de aproximadamente 106 millones de habitantes, según cifras del 2007⁽⁵⁾. Hoy en día existen 16.6 millones de automóviles particulares, de acuerdo con estas cifras, si asignamos un automóvil por persona, entonces un 15.7% de personas en el país tendrían automóvil.

Considerando las cifras anteriores, plantearémos dos problemas que se pretenden atacar con el proyecto:

1. Venta de menor cantidad de gasolina.
2. Venta de gasolina adulterada.

1. Venta de menor cantidad de gasolina

En el 2007 se vendió un total de 249,631.283 millones de pesos en gasolina PEMEX a consumidores finales (automovilistas), según datos del SIE (Sistema de información energética), y las cifras se muestran a continuación:

Valor de venta de petrolíferos en el país.

(Millones de pesos)

Descripción	MM\$	Ene/2007	Feb/2007	Mar/2007	Abr/2007	May/2007	Jun/2007	Jul/2007	Ago/2007
Gasolinas		19,105.257	17,458.176	19,926.288	19,594.815	21,745.036	21,151.793	21,184.774	21,912.494
		Sep/2007	Oct/2007	Nov/2007	Dic/2007	TOTAL			
		20,279.275	22,266.664	21,544.940	23,461.771	249,631.283			

Fuente: Sistema de Información Energética con información de Petróleos Mexicanos.

De ésta cifra, se estima que se roba aproximadamente un 5% en dichas estaciones de gasolina, éste 5% en números es igual a \$12,481.564 millones de pesos al año, robados a los automovilistas; si esa cifra la dividimos entre los 16.6 millones de automovilistas que estamos considerando, esto arroja una cifra de \$751.9 pesos que pagan los automovilistas al año, lo cual implica al mes un gasto de aproximadamente \$63.

Ver reducida la enorme cifra millonaria, a ésta pequeña cifra dividida entre todos, no suena mucho, pero además de los \$63 al mes, es sólo una parte de la forma de robo ya que la gasolina comprada en algunas ocasiones está adulterada, lo cual agrava el problema.

Es importante resaltar que la adulteración de la gasolina es una realidad, pero no es nada fácil, esto debido a que muchas de las sustancias como el alcohol, disolventes u otras sustancias, son más caras que la gasolina.

Ahora bien estos datos están respaldados por gente del IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) como el responsable de la sección de máquinas de octano Alejandro Cárdenas y Javier Rodríguez Salazar encargado de los laboratorios de medición de densidad.

Ambos en una entrevista nos revelaron que efectivamente la gasolina es adulterada con algunas sustancias como el percloro o bien con residuos de la refinación del petróleo en el país vecino del norte, que son contrabandeados hacia México.

Ahora bien como ya habíamos mencionado aparte de la venta incompleta de litros también se adultera la gasolina que según datos de José Antonio Beltrán Mata, ex asesor de la República en cuestiones de política internacional, y fundador y presidente de la ANDICOLUB (Asociación Nacional de Distribuidores de Combustibles y Lubricantes), la adulteración de las gasolinas de PEMEX es llevada a cabo por los comercializadores o

distribuidores genéricos, es decir por las personas que transportan la gasolina en las pipas⁽²⁾.

Esto a consecuencia de que en el año 1996 el personal de PEMEX dejó de distribuir la gasolina, trayendo consigo la posibilidad de adulterarla, y al ser utilizadas por autos, emiten contaminantes que pueden ser causantes de graves daños a la salud en exposiciones prolongadas.

Entre algunas enfermedades se encuentran la leucemia, el asma, cáncer, anemia y retraso en el crecimiento infantil [G. Guillen].

El mismo José Antonio también afirmó que la turbosina es el único combustible que no es adulterado, debido a que el mismo personal de PEMEX es el que lo distribuye directamente, y que hasta un 25% (¡Y nosotros sólo consideramos un 5%!) de la gasolina y diesel es adulterado, según cifras de la SENER y PROFECO, ésta cifra fue para el año 2006 y predijo un aumento en los próximos años debido a la buena demanda que tiene [D. Márquez].

Es importante saber que la cadena de problemas viene desde el ordeñar los gasoductos, ordeñar pipas y rellenarlas con aceites de desecho, hasta la modificación de las máquinas dispensadoras para vender litros de menor cantidad, éste es un círculo vicioso que requiere solución en cada uno de los puntos y en cualquiera de los casos el principal afectado es el automovilista.

Entonces todo ese dinero viene de nuestros bolsillos y genera un problema grave que requiere solución inmediata y la necesidad de desarrollar una tecnología capaz de frenar una parte del gran problema que existe de fondo.

Más allá del aspecto económico también se planea atacar de forma indirecta y dentro de los alcances del proyecto, la emisión de gases tóxicos que dañan la salud de los mexicanos, a causas de la adulteración.

2. Adulteración de gasolina.

Existen estudios que arrojan, que al adulterar la gasolina, uno de sus principales afectados es el octanaje, ya que llega a decaer de forma considerable, por lo tanto, analizar ésta propiedad es útil para saber si la gasolina ha sido adulterada, ya que es un parámetro que debe ser constante.

El motor del automóvil esta diseñado para que un cambio ligero de octanaje no afecte su desempeño, sin embargo si el octanaje es considerablemente por debajo del diseño del automóvil, se traduce en un menor desempeño y menor eficiencia.

Estos efectos causan estragos a largo plazo y no se tienen mediciones o cifras exactas de los daños, pero es un hecho de que el proceso se vuelve ineficiente, ya que el motor trabaja más y el consumo de gasolina es mayor.

Entonces el proyecto también va enfocado a prevenir este tipo de situaciones que si bien no son muy críticas al corto plazo, pueden llegar a afectarnos al largo plazo.

1.2 Objetivos y Metas

El objetivo principal del proyecto es crear un dispositivo capaz de resolver las problemáticas planteadas anteriormente.

Es decir, el diseño de un dispositivo externo portátil para automóviles, al cual se le suministrará gasolina y será capaz de determinar la cantidad de litros que recibió el automóvil en la carga y verificar que sea de la calidad que se espera; siendo lo mas compacto posible, económico, eficiente y con las medidas de seguridad necesarias.

Para llegar al objetivo principal, antes se deben lograr los siguientes objetivos particulares:

1. Realizar una investigación profunda de los posibles métodos a usar.
2. Plantear una solución económica, confiable y segura, basada en los métodos elegidos.
3. Lograr construir un prototipo del dispositivo y costeable.
4. Lograr medir adecuadamente cantidades de líquidos como el agua y la gasolina, por medio del prototipo.

El otro gran bloque en el que se divide el proyecto, es el utilizar la densidad de la gasolina como parámetro de calidad, el cual es un método utilizado en diversas industrias.

Por lo tanto la otra parte del proyecto se enfocará en ver como se afecta la densidad de diferentes muestras de la gasolina, cuando estas se combinan con otro tipo de sustancias utilizadas para adulterar.

Dentro del tema de la adulteración cabe especificar que para el proyecto se considera una adulteración al proceso de agregar alguna sustancia extra (menos costosa) a las gasolinas, fuera de las instalaciones de Pemex, con el fin de obtener mayor ganancia en los puntos de venta.

Dentro de las sustancias a considerar, están los residuos de la destilación en las refinerías, diesel, percloro, etc. Para fines prácticos del proyecto las combinaciones que se realizarán son con diesel y gasolina magna (para adulterar gasolina premium), esperando encontrar alguna relación entre la adulteración y la densidad de las muestras.

1.3 Estado del Arte

Antes que nada es bueno conocer algunos términos y conceptos que nos ayudarán a entender el proceso a lo largo del proyecto, y se presentan enseguida.



1.3.1 Combustión:

La combustión es una oxidación que genera calor y/o luz, y existen 3 tipos de combustión:

- La completa: donde el combustible es quemado por completo.
- Incompleta: es una combustión sin exceso de aire.
- Estequiométrica: es la combustión llevada a cabo con exceso o faltante de oxígeno, en la cual existen residuos de compuestos parcialmente oxidados como el CO (monóxido de carbono), hidrógeno, partículas de carbono, etc.

1.3.2 Combustibles:

El petróleo es un compuesto orgánico a base de carbono e hidrógeno, con una composición de un 76% a 86% de carbono y de un 10% a 14% de hidrógeno y la diferencia del 0% al 14% corresponde a contaminantes como el nitrógeno, azufre, oxígeno, sodio, níquel, vanadio, etc.

Del petróleo derivan todos los combustibles, y éstos son una mezcla de productos orgánicos llamados hidrocarburos, los cuales están divididos en familias:

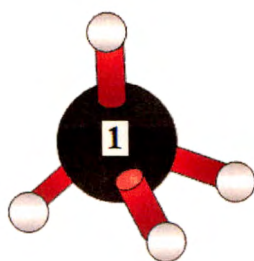
La división que se hace según PEMEX es la división PIANO

1. Parafinas
2. Isoparafinas
3. Aromáticos
4. Nafténicos
5. Olefinas

Los hidrocarburos al ser moléculas que constan de átomos de hidrógeno y carbono, y estos dos al ser combustibles pueden provocar una explosión cuyos residuos sean agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2) para una combustión completa, pero usualmente también se genera monóxido de carbono (CO) a consecuencia de las combustiones incompletas.

Para determinar a que familia pertenece cada hidrocarburo, depende de la forma en que los hidrógenos y carbonos están unidos.

A los que no pueden aceptar un hidrógeno más, debido a que son de cadena abierta y de enlaces simples son llamados hidrocarburos saturados, alcanos o **parafinas (1)**.

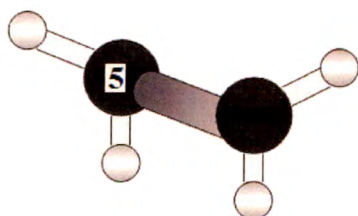


Cuando dejan de ser simples y se tienen ramificaciones son **isoparafinas (2)**.



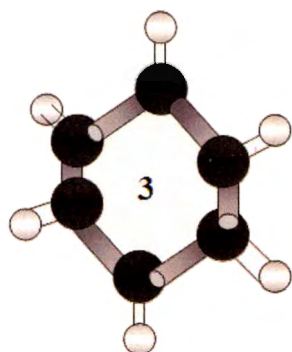
Molécula de Parafina.

Molécula de Isoparafina.

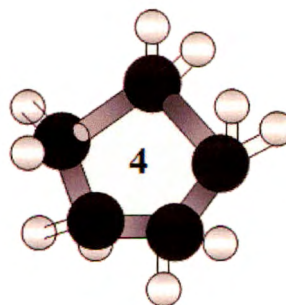


Para los que presentan uno o mas enlaces dobles, son llamados hidrocarburos no saturados, alquenos u **olefinas (5)**, los cuales pueden ser convertidos en alcanos añadiéndoles un hidrógeno a los enlaces dobles.

Molécula de Olefina.



Los **naftenos (3)** forman ciclos, y cuando estos ciclos presentan dobles uniones alternas se forman los **aromáticos (4)**.



Molécula de nafteno.

Molécula de aromático.

Además de las estructuras mencionadas existen también hidrocarburos con azufre, nitrógeno y oxígeno, formando otras familias.

En medida en que incrementa el peso molecular de los hidrocarburos estos se vuelven mucho más complejos formando nuevas estructuras muy difíciles de analizar químicamente de forma precisa, un ejemplo de este tipo de moléculas son los asfaltenos.

Y este tipo de hidrocarburos son los que producen la emisión de los gases tóxicos a la atmósfera tales como NO_x , SO_x .

Particularmente la gasolina cuenta con más de 500 hidrocarburos que varían entre los 3 y 12 carbonos. Dentro de los gases que se desprenden de la combustión de la gasolina se encuentran los siguientes:

- Oxígeno
- CO_2
- CO
- Nitrógeno
- NO_x
- SO_x
- H_2O (vapor de agua)

1.3.3 Gasolina

La gasolina es el combustible más usado para los vehículos automotrices con motores de combustión interna.

La gasolina es la resultante de procesos de refinación del petróleo y está formada de hidrocarburos, tal como la conocemos hoy en día ha sido el resultado de una serie de reformulaciones de los contenidos de hidrocarburos, las mejoras en las fórmulas agregando o quitando aditivos para modificar su octanaje han hecho que las emisiones cambien, y debido a la peligrosidad a la salud o al medio ambiente de las emisiones, las gasolinas se reformulan hasta encontrar una fórmula que tenga el menor número de emisiones dañinas y el mayor número de octanaje posible; anteriormente se utilizaba tetraetilo de plomo como aditivo para las gasolinas, para que éstas tuvieran mayor octanaje, la desventaja eran las altas emisiones de plomo, elemento muy nocivo para la salud, es por eso que hoy en día vemos las gasolinas sin plomo, carentes del llamado tetraetilo.

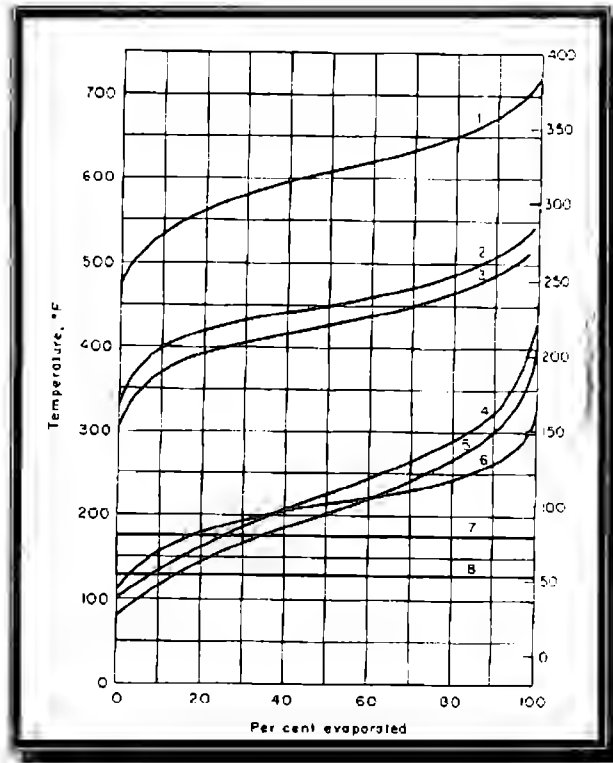
Los componentes que se le agregan a la gasolina tienen su razón de ser, por ejemplo los llamados aromáticos se agregan para darle ese olor característico a la gasolina y para evitar la pre-ignición.

Por otra parte la volatilidad de la gasolina depende de su mezcla con el butano.

El intervalo de temperatura de ebullición de la gasolina varía entre los 30°C y 220°C .

La figura 1.1 muestra la gráfica de la tasa de evaporación respecto a la temperatura para distintos combustibles.

Figura 1.1 Temperaturas de ebullición de diferentes combustibles



En la gráfica se muestran combustibles identificados con un número, los cuales podemos apreciar en la siguiente lista:

1. Diesel
2. Destilado
3. Keroseno
4. Gasolina de Verano
5. Gasolina de Invierno
6. Gasolina de avión
7. Alcohol Etílico
8. Benceno

De la figura 1.1 podemos apreciar que la gasolina es más volátil, se evapora mucho más fácil que el Diesel, que es el más resistente a la temperatura, caso similar al del keroseno.

La gasolina de primavera e invierno son gasolinas con distintos componentes para que ésta tenga un punto de ebullición mayor o menor según sea conveniente, dependiendo de la zona o región en la que se utilice dicha gasolina.

Hay países como Australia donde la gasolina se cambia cada mes debido a los cambios de temperatura tan constantes.

Para México se divide la gasolina según la clase volatilidad (tabla 1.1), después se divide por las características a las zonas geográficas y se vende la gasolina por mes según la zona como se muestra en la tabla 1.2.

Lo importante de la tabla 1.1 es la clasificación que se hace de las gasolinas: AA, A, B, C. Según los parámetros de temperaturas de destilación y presión de vapor, que le dan las características específicas que se desean.

Tabla 1.1
*Especificaciones de presión de vapor y temperaturas de destilación de las gasolinas
Según la clase de volatilidad*

Propiedad	Unidad	CLASE DE VOLATILIDAD			
		AA	A	B	C
Presión de vapor Reid*	kPa (lb/pulg ²)	45 a 54 (6.5 a 7.8)	54 a 62 (7.8 a 9.0)	62 a 69 (9 a 10)	69 a 79 (10 a 11.5)
Temperatura máxima de destilación del 10%	°C	70	70	65	60
Temperatura de destilación del 50%	°C	77 a 121	77 a 121	77 a 118	77 a 116
Temperatura máxima de destilación del 90%	°C	190	190	190	185
Temperatura máxima de ebullición final	°C	225	225	225	225
Valor máximo del Residuo de la destilación	% Vol.	2	2	2	2

Lo importante de la tabla 1.2 es ver la clase de gasolina que se utiliza para cada zona de la República Mexicana en determinadas épocas del año.

Podemos apreciar para las zonas del DF y Guadalajara no varían según la época del año, mientras que zonas del noreste como Ciudad Juárez, Chihuahua y Durango varían mucho.

Tabla 1.2
Clase de volatilidad de las gasolinas de acuerdo a las zonas geográficas y épocas del año.

Mes	Noreste	Centro-Noreste	Sureste	Bajío	Pacífico				Centro	ZMVM y ZMG	Monterrey
					Z1	Z2	Z3	Z4			
Enero	C	C	B	C	B	B	B	B	C	AA	C
Febrero	C	C	B	C	B	B	B	B	C	AA	C
Marzo	B	B	B	B	B	B	B	B	B	AA	B
Abril	B	B	B	B	B	B	B	B	B	AA	B
Mayo	B	B	A	B	A	B	B	B	B	AA	B
Junio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	AA	B
Julio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	AA	B
Agosto	A	A	A	A	A	A	A	A	A	AA	B
Septiembre	B	B	A	B	A	A	A	A	B	AA	B
Octubre	B	B	B	B	B	B	B	B	B	AA	C
Noviembre	C	B	B	C	B	B	B	B	C	AA	C
Diciembre	C	C	B	C	B	B	B	B	C	AA	C

El proyecto va enfocado solamente para la zona Metropolitana del valle de México y la zona metropolitana de Guadalajara, debido a que la gasolina no cambia su composición en todo el año.

Como apoyo para la tabla 1.2 se presenta la tabla 1.3, para poder identificar las ciudades y estados que abarca cada zona:

Tabla 1.3 Estados por zona

Zona	Descripción
Noreste	CE Cadereyta, TAD: Cd. Juárez, Chihuahua, Durango, Gómez Palacio, Matehuala, S.L.P., Santa Catarina, Sat. Monterrey, N. Laredo, Reynosa, Sabinas, Saltillo, Parral.
Centro-Noreste	TAD Cd. Madero, Cd. Mante, Cd. Valles, Cd. Victoria, Poza Rica, San Luis Potosí
Sureste	Campeche, Escamela, Jalapa, Mérida, TAD Pajaritos, Ver., Perote, Suptcia. Veracruz, CE Progreso, Puebla, Tehuacán, Tierra Blanca, Veracruz, Villahermosa, Tabasco.
Bajío	Aguascalientes, El Castillo, El Salto, Irapuato, León, Morelia, Uruapan, Zacatecas, Zamora, Tepic.
Centro	TAD Cautla, Cuernavaca, Iguala, Pachuca, Toluca, Celaya, Querétaro. TAD 18 de Marzo Azcapotzalco, TS. Oriente A., TS Sur Barranca del Muerto, TS Norte S. Juan Ixhuatepec, Tula.
Pacífico	Z1 Acapulco, Colima, Lázaro Cárdenas, Manzanillo Term., Oaxaca, Oax., Salina Cruz, Tapachula, Tuxtla Gutiérrez
	Z2 Culiacán, Mazatlán
	Z3 Guamúchil Suptcia. V., Guaymas, La Paz, Navojoa, Topolobampo.
	Z4 Cd. Obregón, Ensenada, Hermosillo, Magdalena, Mexicali, Nogales, Rosarito (Tijuana).

La siguiente información es complementaria a los significados de las abreviaciones de las tablas anteriores:

ZMVM (Zona Metropolitana del Valle de México)	CE (Centro Embarcador)
ZMG (Zona metropolitana de Guadalajara)	TAD (Terminal de Almacenamiento y Distribución)
CTT (Centro de Transportación Terrestre)	TS (Terminal Satélite)

1.3.4 Octanaje

El octanaje se define como la capacidad antidetonante de los combustibles, es decir que tanto se puede comprimir un combustible sin que éste reaccione o explote, sin fuego o chispas de por medio. El Iso-octano es la referencia como 100, ya que tiene buena resistencia a la pre-ignición, sin embargo no es el hidrocarburo que mayor oposición presenta, pero fue el elegido como referencia. Por el otro lado, como referencia 0 se tiene al n-heptano, que presenta una baja resistencia a la pre-ignición.

De estos parámetros los diferentes tipos de combustibles se dan como un porcentaje de Iso-octano en una mezcla nula (n-heptano).

Existen dos pruebas de motor que son la RON (Research Octane Number) y la MON (Motor Octane number), para el análisis del octanaje de la gasolina.

El número de octanos que se le da a la gasolina comercial, y es el que esta presente en todas las gasolineras, es el promedio de los resultados de ambas pruebas: $\frac{RON + MON}{2}$, conocida como AKI (Anti-Knock Index).

Ambas pruebas se hacen con máquinas muy parecidas a un motor de automóvil, salvo algunas diferencias, profundizado en la sección 2.1.3.

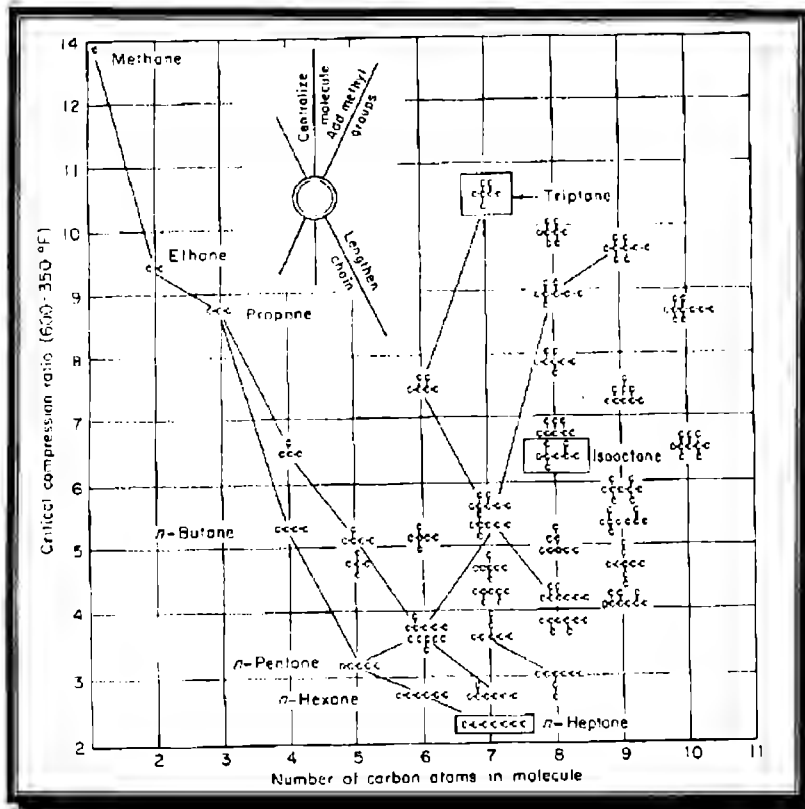
Como ya sabemos, los combustibles están compuestos por una gran cantidad de hidrocarburos y éstos se dividen dependiendo de la forma en que se agrupan y la cantidad de hidrógenos, carbonos y otros elementos que los compongan.

Ésta composición afecta directamente a las características de la gasolina, y una de ellas es el octanaje.

Variando la cantidad de mezcla de hidrocarburos que van a componer una gasolina se pueden obtener diferentes resultados tanto en emisiones de gases, así como octanaje, peso molecular, densidad, etc.

A continuación en la figura 1.2 se muestra una imagen con una gráfica que precisamente muestra el tipo de moléculas y como afectan éstas a la razón de compresión de la gasolina o combustibles según la proporción de dichas moléculas en él.

Figura 1. 2 Octanaje y composición molecular de distintos hidrocarburos.



La figura 1.2 muestra la gráfica de la relación que existe entre el número de carbonos existentes en las moléculas de los hidrocarburos, y la razón de compresión dependiendo del número éstos.

La razón de compresión va ligada directamente al octanaje ya que representa que tanto podemos comprimir la sustancia antes de que estalle.

Como podemos observar el metano con un solo carbono es el que mayor razón de compresión soporta (14) y de ahí puede variar dependiendo de los enlaces de las demás moléculas.

Por ejemplo, el iso-octano que es de nuestro interés, anda en una relación de compresión entre 6 y 7, mientras que el n-heptano es el mas bajo con una relación de 2.

La razón de compresión es muy importante a la hora de diseñar los motores ya que esto puede hacer más o menos eficiente al motor y el consumo de gasolina.

Si la razón de compresión es 1:9 quiere decir que el pistón esta diseñado para hacer un recorrido capaz de comprimir 9 veces el volumen inicial de la gasolina, mientras mayor sea ésta razón de compresión es mejor ya que el pistón recorrerá mas camino y la explosión será mas energética, como consecuencia el motor trabaja menos y tiene un mejor desempeño. La razón de compresión depende de las características físicas del pistón, tales como la altura y el área transversal.

Por consecuencia para motores de automóviles que requieren octanajes altos, ésta razón de compresión debe ser alta. Por ejemplo para automóviles deportivos o de lujo que tienen

tasas de compresión mayor a 10, utilizan gasolina Premium con un octanaje mayor, que permite ser comprimida a esas tasas.

1.3.5 Adulteración de las gasolinas

Desde el año 1999 PEMEX ha hecho un gran esfuerzo por mejorar la calidad de las gasolinas primero quitando los componentes que se añadían a la gasolina para brindar mayor octanaje pero que contenían plomo, después reformulando para añadir y quitar ciertas cantidades de compuestos como el azufre, para disminuir las emisiones de gases tóxicos como el CO, CO₂, NO_x y SO_x.

Uno de los estudios arrojó que la disminución de azufre, olefinas, la presión de vapor Reid (PVR) y la temperatura máxima de destilación del 90% (temperatura 90%) causan una reducción en el ozono, y que en cambio el aumento de PVR y la adición de etanol causan un incremento del ozono. ⁽³⁾

La presión de vapor Reid es una propiedad de cada tipo de gasolina, que podemos ver en la tabla 1.1.

Ahora bien, dentro de estos esfuerzos en enero del 2006 se publicó en el diario oficial de la federación una norma para los combustibles cuyo nombre es **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005**, en la tabla 1.4, extraída de ésta norma, podemos apreciar algunas características importantes de la gasolina.

Tabla 1.4
Especificaciones generales de las gasolinas

Nombre del producto:	Premium	Magna
Peso específico a 20°C	Informar	Informar
Número de Octano (RON)	95 mínimo	Informar
Número de Octano (MON)	Informar	82 mínimo
Índice de octano (RON + MON)/2	92 mínimo	87 mínimo
Color	Informar	Rojo

Como se puede ver en la tabla 1.4 la información esta incompleta ya que hay datos importantes que no son especificados, como lo son el resultado de la prueba RON de la gasolina Magna, y lo mismo para la prueba MON de la Premium.

Estos se pueden determinar de forma indirecta despejándolos de la ecuación $\frac{RON + MON}{2}$

Lo cual arroja un resultado de la prueba MON de la gasolina Premium igual a 89 octanos.

Realizando el mismo procedimiento para calcular el resultado del análisis RON, de la gasolina Magna da un resultado de 92 octanos.

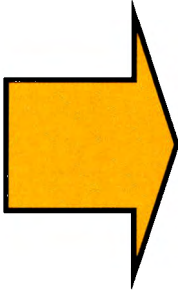
Podemos notar que en ambos casos el resultado de la prueba RON es mayor al de la prueba MON, debido a que la prueba RON es una prueba al vacío y la prueba MON es una prueba más real.

El objetivo actual de la fórmula de las gasolinas es disminuir las emisiones de azufre y otros contaminantes que afectan la calidad del aire, entonces al alterar el contenido de cada componente en las gasolinas puede traer consecuencias en el desempeño y tiempo de vida del motor, así como mayor contaminación ambiental que puede llevar a daños a la salud pública.

A continuación se muestra la tabla 1.5 donde podremos apreciar como intervienen cada uno de los componentes de la gasolina y el porqué es importante no cambiar las porciones de éstos en la gasolina.

La tabla 1.5 muestra la importancia de mantener el balance de componentes de las gasolinas actuales y como se pueden modificar para obtener mejores resultados en menores emisiones de gases tóxicos, lo cual no puede ser lograr adulterando la gasolina, alterando la composición.

Tabla 1.5 Características de la gasolina para lograr resultados óptimos.

Características		Objetivos
Contenido de Azufre		Evitar deterioro del convertidor catalítico
Contenido de aromáticos		Reducción de emisiones de hidrocarburos, CO y NO _x
Contenido de Benceno		Disminución de emisiones de compuestos tóxicos a la salud
Contenido de olefinas		Reducción de emisiones de compuestos foto reactivos
Contenido de Plomo		Disminución de emisiones de compuestos Orgánicos volátiles.
Volatilidad		
Aditivos multifuncionales		

Nicolás Ramírez, "Las características de los combustibles y su comportamiento en la altura experiencia de la ciudad de México", PDF, 2005. http://www.swisscontact.org.pe/PRAL/09_nicolas_rodriguez.pdf

Como dato adicional se anexan la tabla 1.6 y la figura 1.3.

La tabla 1.6 nos permite ver los estándares internacionales del contenido de azufre en las gasolinas que producen los gases tóxicos SO_x así como sus futuras proyecciones.

Tabla 1.6
(Promedio/Máximo) en partes por millón (ppm)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
EUA	30/80	30/80	30/80			
UE		50				10
Japón	50					
Australia		150				
Argentina		600	500		300	50
Brasil	1000					80
Chile	400	100	30			

Según la tabla 1.6 la Unión Europea (UE) son los mas avanzados y comprometidos en el asunto de las emisiones contaminantes.

Otro dato interesante son las emisiones de los países como Brasil que en el 2004 eran enormes comparadas con Japón, EUA y la UE y sus proyecciones a futuro no son muy prometedoras.

Lo mismo pasa para Argentina y Chile, sin embargo éste último refleja una enorme mejoría en un corto plazo, reflejo de la buena política y administración de los últimos años en el país que lo ha colocado dentro de los mas desarrollados de América Latina.

Para la tabla 1.7 se muestran las mismas proyecciones para México.

Tabla 1.7 Proyecciones nacionales para eliminar el nivel de azufre en las gasolinas

AÑO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Premium	500 Máx.									
		250 Prom. / 300 Máx. Prom. 2004 = 208								
		30 Prom. / 80 Máx.								
Magna ZM	500 Máx. (Prom. 2004 = 421)									
			30 Prom. / 80 Máx.							
Magna RP	1,000 Máx. (Prom. 2004 = 737)									
			30 Prom. / 80 Máx.							

ZM = Zona Metropolitana
RP Resto de la Republica

*Extraída del documento (PDF):
Estudio de Evaluacion Socioeconomica del proyecto integral de calidad de combustibles: Reduccion de azufre en gasolina y Disesel.*

Como muestra la tabla 1.7, en el año 2004 estábamos como Brasil con serios problemas de emisiones lo cual se planea solucionar rápidamente, para finales del 2008 se planean emisiones máximas de 80 ppm, lo cual nos pone en ventaja con respecto a Argentina y Australia pero aún muy por detrás de la UE y Chile.

La tabla 1.6 y 1.7 son muy importantes ya que para poder alcanzar éstas predicciones es necesario respetar las fórmulas de las gasolinas y no alterarlas, respetando esto podemos obtener los resultados esperados.

1.3.6 Consecuencias del octanaje en el automóvil.

Según algunos estudios hechos a gasolinas adulteradas, éstas pierden gran cantidad de octanaje al ser rebajadas con otras sustancias, siendo éste el que asegura un eficiente desempeño energético del motor.⁽³⁾

Las gasolinas de bajo octanaje representan una mayor actividad de los pistones debido a que tienen una menor resistencia antidetonante, debido a este hecho, el poner gasolina de alto octanaje a un motor diseñado para un octanaje menor, esto no cambia nada; al contrario si se pone gasolina de bajo octanaje a un vehículo que necesita mayor octanaje, entonces la eficiencia del moto se reduce.

Si la eficiencia de un motor de combustión interna es de aproximadamente un 40%, al utilizar gasolinas de menor octanaje el rendimiento se hace aun menor, lo cual es una eficiencia muy baja, derivando en un efecto conocido como cascabeleo, que es una vibración del pistón debida al no completar su trayecto suave debido a una explosión prematura del combustible, que se puede atribuir a una combustible de menor octanaje, entre otros factores como la temperatura, que afecta las propiedades de la gasolina o bien la mezcla aire gasolina que se inyecta a la cámara de combustión.

Incluso en los manuales de usuario de los automóviles viene especificado que el uso de gasolinas con menor octanaje al requerido puede traer daños al motor.

1.4 Alcances y limitaciones del proyecto

Alcances

El dispositivo debe ser capaz de hacer la verificación de volumen, a gasolina comercial de PEMEX (Magna y Premium), de 87 y 92 octanos respectivamente, vendidas en el DF y Guadalajara.

El dispositivo debe ser capaz de realizar el análisis y entregar el resultado en el tiempo que se lleve la recarga del combustible.

El dispositivo debe contar con las medidas de seguridad necesaria para que éste sea un proyecto seguro para la integridad del usuario, gente alrededor y del automóvil.

El dispositivo sólo obtendrá los datos de la cantidad de gasolina, tomando como parámetro de calidad la densidad.

Limitaciones

El proyecto será enfocado solamente a evitar la venta de litros incompletos de gasolina así como la adulteración de la misma que afecte el funcionamiento del automóvil, y en medida de lo posible e indirectamente reducir emisiones dañinas al medio ambiente y a la salud.

El dispositivo no será capaz de analizar diferentes tipos de combustibles comerciales usados para diferentes tipos de transportes, sólo gasolina Pemex Magna y Premium de la zona del valle de México y Guadalajara, debido a que sólo en estas dos zonas la composición de la gasolina es constante durante el transcurso del año.

Debido a que el estudio de la gasolina que se realizará para éste trabajo sólo será de gasolinas del DF, no se pretende hacer proyecciones globales, para esto sería necesario hacer un estudio de las gasolinas de cada región.

El proyecto no pretende analizar gasolinas que no sean los de gasolina Pemex Magna y Premium.

El proyecto sólo podrá evaluar gasolinas Pemex.

El proyecto no pretende reemplazar ni sustituir máquinas expendedoras de gasolina.

El proyecto no pretende tener poder legal para reclamos a las gasolineras, simplemente ser una referencia de que tan buen servicio ofrecen en algún lugar para poder tomar decisiones en un futuro de seguir consumiendo en cierto establecimiento.

El proyecto no está enfocado a garantizar procesos o eficiencia del automóvil, éste sólo se limita a evaluar la gasolina que es suministrada.

1.5 Infraestructura y Recursos

Las pruebas a realizar dentro de los laboratorios del tecnológico de Monterrey son las siguientes:

- Pruebas de chequeo: realizadas para verificar el funcionamiento de los dispositivos electrónicos que se diseñen.
- Pruebas de densidad: Se harán pruebas de densidad a diversas muestras de gasolina con la ayuda del material de los laboratorios de física y química.

CAPITULO 2

FUNCIONAMIENTO Y ESTADO DEL ARTE

En éste capítulo se exponen todos los conceptos relacionados con el funcionamiento del dispositivo, los cuales son:

- ❖ Principios de funcionamiento
- ❖ Métodos cuantitativos y cualitativos
- ❖ Estado del Arte

El desarrollo de un dispositivo como el que pretende éste proyecto, necesita contemplar una serie de aspectos tales como: Portabilidad, precio, diseño, efectividad, exactitud y seguridad.

Un aspecto en el que debemos enfocarnos es en la normatividad mexicana para instrumentos de medición, para considerar los rangos y límites que tienen establecidos y permitidos los establecimientos de gasolina.

Otro aspecto importante relacionado con las normas, es tomar en cuenta que se trata de una sustancia volátil como la gasolina y se deben tomar las medidas de precaución y seguridad pertinentes.

Es por eso que se analiza una de las normas que rige a estos instrumentos de medición que es la norma NOM-005 – SCFI – 2005.

Dentro este capítulo se profundiza más en las gasolinas comerciales Pemex Magna y Premium tocando aspectos específicos y de relevancia para el proyecto.

De igual forma se tratan más a fondo las pruebas MON y RON, ya que se dan a conocer las máquinas y el funcionamiento de las mismas.

Uno de los lugares donde se realizan las pruebas de octanaje aquí en México, es en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), fuente de donde se extrajo la información del funcionamiento de las máquinas de octano, encargadas de determinar el octanaje de los combustibles.

Por último también se revisarán las bases teóricas acerca de los métodos a utilizar para determinar las características de la gasolina.

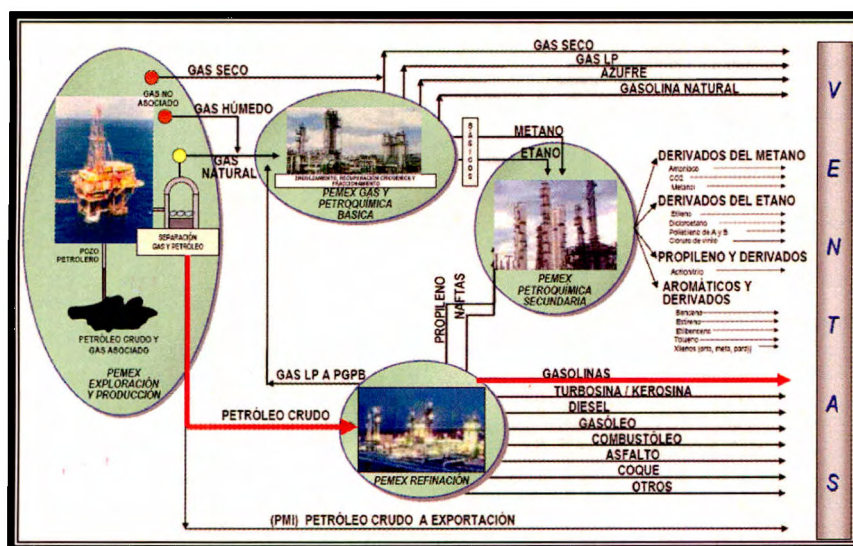
2.1 Estado del Arte

2.1.1 Gasolinas: PEMEX Magna y Premium

La figura 2.1 muestra la cadena de procesos por los que pasa el petróleo para extraer todos los productos derivados de él. Se muestra el proceso desde su extracción en los pozos hasta la venta de los diferentes productos extraídos.

Para nuestro caso nos enfocaremos al proceso de la extracción de la gasolina (flecha roja).

Figura 2.1 Procesos para la producción de los combustibles.



Nicolás Ramírez, "Las características de los combustibles y su comportamiento en la altura experiencia de la ciudad de México", PDF, 2005. http://www.swisscontact.org.pe/PRAL/09_nicolas_rodriguez.pdf

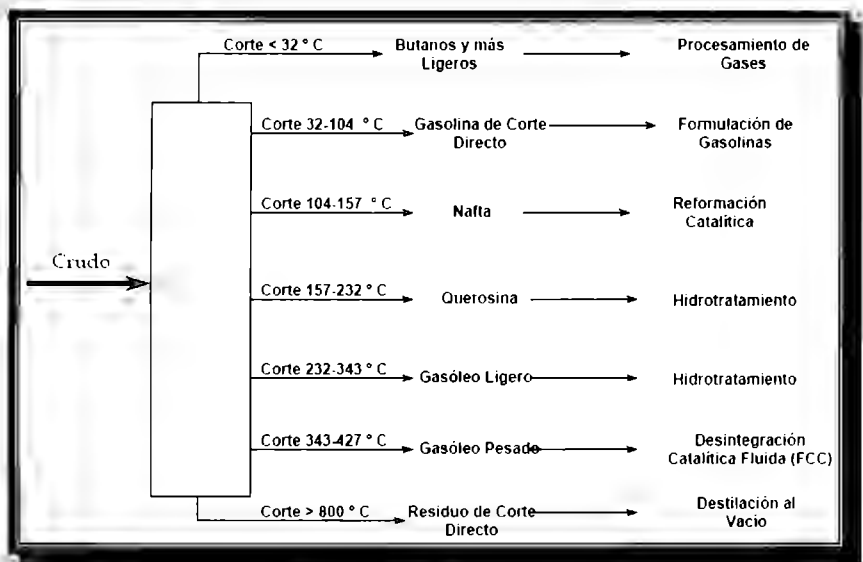
Como se puede ver en la figura anterior, a diferencia de otros derivados del petróleo como el etano y el metano, la gasolina pasa directamente de la extracción en los pozos, a la refinación, lo cual es un proceso más directo.

El mismo proceso que sigue la gasolina, es el que siguen otros combustibles como la turbosina usada para los aviones, el diesel usado en los camiones, y el combustóleo entre otros. Un detalle curioso entre el diesel y la gasolina es el hecho de que ambos combustibles son producidos con características totalmente opuestas, por ejemplo, una buena gasolina sería un pésimo diesel y viceversa, debido a que el funcionamiento de los motores a diesel y a gasolina son opuestos, ya que motores a diesel generan la explosión a base de presión, por lo tanto se requiere de un combustible como el diesel con un nivel de octanaje menor al de la gasolina para que se creé el estallido dentro de la cámara, con tasas de compresión pequeñas, mientras que en un motor a gasolina lo que se busca es lo contrario, es decir, un combustible que soporte razones de compresión elevadas, ya que la bujía es la que debe provocar el estallido y no la presión de los pistones.

En México se producen alrededor de 17 tipos de petróleo y de ellos únicamente se exportan internacionalmente tres tipos, el Olmeca, el Istmo y el Maya, según las clasificaciones API, K_{uop} y por el porcentaje de azufre que contienen.

Una de las diferencias en el proceso de refinación por el que pasan los combustibles mostrados en la figura 2.1 es la temperatura de corte para cada uno de ellos y que les brinda diferentes características. A continuación se muestra la figura 2.2, en la cual se pueden apreciar estas temperaturas de corte para cada uno de los productos:

Figura 2.2 Temperatura de corte de los combustibles.



Nicolás Ramírez, "Las características de los combustibles y su comportamiento en la altura experiencia de la ciudad de México", PDF, 2005. http://www.swisscontact.org.pe/PRAL/09_nicolas_rodriguez.pdf

Como se puede apreciar la gasolina de PEMEX en la refinación se obtiene entre los 32°C y los 104°C, que comparadas con las temperaturas del gasóleo ligero y el pesado, son muy bajas, y esta temperatura entre otros aspectos hace que sean diferentes las características de cada combustible.

Una vez obtenida la gasolina, nos debemos de enfocar en su composición ya que es muy importante saber los diferentes hidrocarburos que la componen así como la cantidad de los mismos, ya que las características de la gasolina dependen de esto.

A continuación se muestra la tabla 2.1 donde se puede ver la composición de hidrocarburos en las gasolinas en diferentes zonas del país.

Tabla 2.1 Composición de la gasolina según la zona del país.

Contenido máximo de:	Unidad	Método de prueba	ZMVM	ZMG	ZMM	Resto del país		
			Premium y Magna			Premium	Magna	
Aromáticos	% Vol.	ASTM D 1319-03	25	35	35	35	Informar	
Olefinas	% Vol.	ASTM D 1319-03	10	12.5	12.5	15	Informar	
Benceno	% Vol.	ASTM D 3606-04	1	1	1	2	3	
Oxígeno	% peso, máximo	ASTM D 4815-00(2005)	2.7	2.7	2.7	2.7	No aplica	
BTX (Hidrocarburos monoaromáticos volátiles)	% Vol.	ASTM D 3606-04	Informar					

ZMVM = Zona Metropolitana del Valle de México

ZMG = Zona Metropolitana de Guadalajara

ZMM = Zona Metropolitana de Monterrey

Como se puede apreciar en la tabla anterior, las dos gasolinas comerciales existentes en el país (Premium y Magna), ambas composiciones son casi exactas en las zonas metropolitanas del país, sólo difieren en el número de octanos ya que su contenido de olefinas, aromáticos, benceno y oxigenados son los mismos, información que para el resto del país es insuficiente, debido a que su composición varía a lo largo del año.

2.1.2 NOM – 005 – SCFI – 2005

Norma Oficial Mexicana NOM-005-SCFI-2005, Instrumentos de medición-Sistema para medición y despacho de gasolina y otros combustibles líquidos – Especificaciones, métodos de prueba y verificación.

Publicada el martes 27 de septiembre del 2005.

Para este proyecto es necesario el análisis de ésta norma, que establece las reglas para las máquinas dispensadoras de gasolina, y dentro de los aspectos que nos interesan se extrajeron los siguientes:

- a) El error máximo tolerado para la aprobación de modelo o prototipo y verificación inicial de los sistemas de medición no debe ser mayor que la suma de 10 ml mas 2 ml por litro.
- b) El error máximo tolerado para la verificación periódica y extraordinaria no debe ser mayor que la suma de 20 ml más 4 ml por litro.
- c) El error máximo para el ajuste de error a cero es el 40% del error máximo tolerado establecido en el inciso b.

La medición mínima para estas pruebas es de 5 o más veces la medida mínima que es de 2 L, es decir, que la medición mínima es para cantidades de 10 L o más.

Según el inciso c, para que se deban ajustar las máquinas, éstas no deben de pasar de un error mayor al 40% del inciso b, es decir 8 ml más 1.6 ml por litro.

Otro aspecto relevante, es el hecho que no se puede registrar una diferencia mayor de 100 ml entre las lecturas máximas y mínimas, en mediciones para un mismo gasto.

Existe otra norma llamada NOM-001-SEDE-1999 y NOM-092-ECOL-1995, que se encarga de regular las medidas de seguridad de los dispositivos de medición.

Un aspecto relevante de ésta norma son los coeficientes para correcciones volumétricas debido a la dilatación que sufren los materiales dependiendo de las condiciones que existen al hacer la medición, y que deben ser considerados para las mediciones:

1. Coeficiente de corrección por expansión térmica

$$CTS = 1 + \alpha(T_{mv} - 20^{\circ}C)$$

Donde:

α = Coeficiente cúbico de expansión térmica del material de fabricación de la medida volumétrica ($^{\circ}C^{-1}$).

T_{mv} = Temperatura de la medida volumétrica, en ($^{\circ}C$).

2. Volumen de la medida volumétrica corregido a la temperatura de trabajo.

$$V_{cmv} = [V_{20} + L_c + K_c]CTS$$

Donde:

V_{cmv} = Volumen de la medida volumétrica corregido a la temperatura de trabajo (ml).

V_{20} = Volumen de la medida volumétrica a 20 $^{\circ}C$

L_c = Lectura del menisco en la escala del cuello de la medida volumétrica (ml).

K_c = Factor de corrección de la escala graduada del cuello de la medida volumétrica.

CTS = Coeficiente de corrección por expansión térmica del material de fabricación de la medida volumétrica.

3. Cálculo del error de indicación

$$E = I - V_{cm}$$

Donde:

I = Volumen del hidrocarburo registrado en el dispensario (ml).

V_{cmv} = Volumen de hidrocarburo medido en el patrón volumétrico a la temperatura de prueba (ml).

Si el error es negativo indica que el dispensario está entregando más producto del que está registrando.

Si el error es positivo indica que el dispensario esta entregando menos producto del que está registrando.

2.1.3 Pruebas RON y MON

Ambos son métodos para determinar el octanaje de la gasolina, sin embargo los métodos tienen sus diferencias y los resultados promediados son los que nos dan el octanaje de la gasolina. Ambos métodos son necesarios y son los únicos aceptados legalmente para poder determinar el octanaje de la gasolina, ya que existen otros métodos sin embargo se consideran sólo aproximaciones.

Aquí en México, el IMP es uno de los pocos lugares donde existe un laboratorio de investigación en emisiones vehiculares y ensayo de motores, donde se realizan las pruebas RON y MON.

En este laboratorio se encuentran las máquinas para hacer las pruebas de octanaje a gasolina y diesel como las mostradas en la figura 2.3, se cuentan con 3 máquinas, 2 para gasolina y 1 para diesel.

De las 2 máquinas para gasolina cuentan con una máquina para realizar la prueba MON que se lleva a cabo respecto a la norma ASTM D 2700, y otra máquina para hacer la prueba RON que se lleva a cabo respecto a la norma ASTM D 2699.

Ambas son muy parecidas y están hechas casi de la misma forma, es decir que cuentan casi con los mismos componentes.

Como ya se mencionaba, para hacer estos análisis existen dos normas ASTM que por sus siglas en inglés significa American Section of the International Association for Testing Materials, y son las D 2699 para el análisis RON (Research Octane Number) y la D 2700 para el análisis MON (Motor Octane Number).

Éstas pruebas se hacen de forma independiente y los resultados de cada una son promediados para calcular el AKI (Antiknock Index) = $\frac{RON + MON}{2}$.

Si bien ésta es una aproximación del Road Octane Number cuya fórmula es $(K_1 \times RON) + (K_2 \times MON) + K_3$, y los coeficientes K_1 , K_2 y K_3 dependen de cada vehículo, para mayor simplicidad se estandarizó y se ocupa el índice AKI.

Si bien ésta es una forma de sacar el índice AKI, también se puede sacar directamente, en vez de hacer cada prueba por separado, y luego promediarlos.

Estas normas son muy extensas y dan una serie de datos técnicos a seguir, por lo que se explicarán brevemente a continuación.

Para la norma ASTM D 2700 especifican un método llamado de cilindro único, el cual, ésta formado por un cilindro y pistón de hierro fundido, con una razón de compresión que va desde 4:1 hasta 18:1.

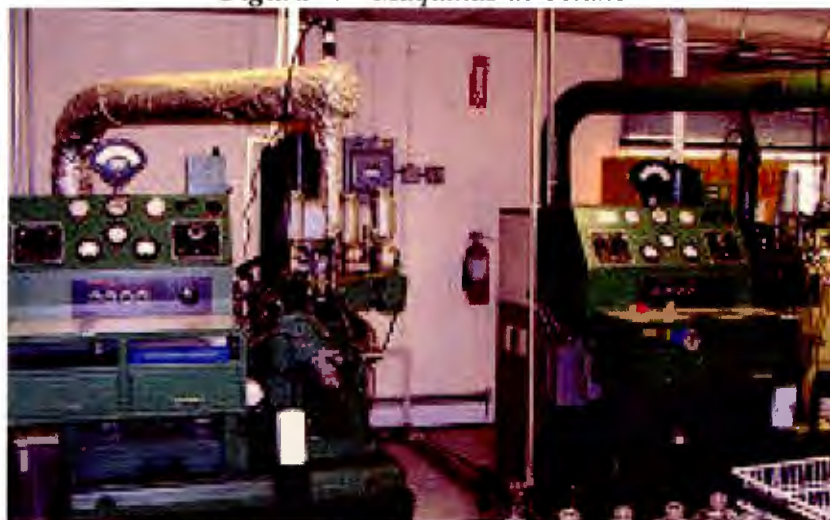
De la altura del cilindro depende el MON, ya que la intensidad de golpe (KI) para todos los valores de número de octano es constante.

Para pruebas hechas a menos de 91.8 kPa el error de repetibilidad es de 0.2 números de octano y para el error de reproducibilidad fue de 0.9 números de octano, excedidos solamente en 1 caso de 20 realizados.

La norma ASTM D2699 es muy similar a la ASTM D2700, la diferencia entre ellas es que la prueba RON es considerada una prueba al vacío y la prueba MON una prueba con carga, es decir más real o cercana al desempeño de un automóvil funcionando normalmente.

A continuación se muestra la figura 2.4 de las máquinas utilizadas para realizar éstas pruebas:

Figura 2.4 Máquinas de octano



Copyright 2004 Colorado Department of Labor and Employment

Características y procedimiento de las pruebas de octanaje:

Las pruebas en las máquinas de octano se realizan tomando en cuenta tres factores muy importantes para la medición del octanaje, y son la humedad, la presión y la temperatura.

Las máquinas son monocilíndricas, es decir que solo cuenta con un cilindro, son de 4 tiempos y de 4 caballos de fuerza.

Para saber un poco más de las máquinas de 4 tiempos se puede visitar la página http://www.todomotores.cl/mecanica/el_motor.htm, donde se muestra una pequeña aplicación donde se puede apreciar el proceso de una máquina de 4 tiempos.

Éstas máquinas están diseñadas y cuentan con todos los componentes que se encuentran en un automóvil convencional:

- Motor
- Escape
- 2 válvulas
- Condensador (radiador)
- Carburador
- Etc.

La máquina de un automóvil y la de estos aparatos son máquinas muy similares con la diferencia de que las máquinas de automóviles son de mayor cilindrada, generalmente 4 o más, y que las máquinas para pruebas se monitorean y realizan a ciertos niveles de temperatura, presión y humedad para poder tener mediciones estándar.

Otro aspecto importante en el que difieren las máquinas de los medidores y las de un automóvil, es que hoy en día los automóviles se manejan por medio de inyección electrónica, y la máquina para la prueba aún maneja la combinación aire gasolina por medio de carburador, como lo hacían en un principio, y hasta no hace mucho tiempo, los automóviles.

Las máquinas para las pruebas comúnmente se utilizan para analizar combustibles en un rango de los 40 a los 120 octanos, particularmente en el IMP se realizan mediciones entre los 40 y 100 octanos.

Importancia de la humedad

Dentro del proceso la humedad es un aspecto muy importante, que puede variar mucho respecto a la zona o época del año en que se haga. La humedad hace que la combustión sea mas lenta y para lograr que esto no sea un problema o un factor a considerar, se estandariza la prueba saturando de vapor de agua, es decir que las máquinas cuentan con un depósito para poner hielo y de aquí se evapora para que la prueba se realice al máximo nivel de humedad posible, esto sacrifica velocidad en el proceso, pero deja fuera el problema de la humedad sin importar la zona y época del año en que se haga.

Temperatura

La temperatura se monitorea por medio de un indicador digital, el cual muestra cuanto falta en °C para que se llegue a la temperatura ideal de la prueba.

La prueba en el IMP se lleva acabo a 40 °F pero en algunos otros lugares se lleva acabo hasta a 120 °F.

Para hallar el punto de máxima intensidad de golpe, que es el que nos interesa para que la eficiencia del motor sea máxima, se necesita variar dos aspectos, primero, debemos variar la altura del pistón para la razón de compresión que se desee, ésta razón de compresión es muy importante ya que de ella dependerá el octanaje de la gasolina a usar en determinado automóvil.

La presión tiene que ver con la altura del pistón, ya que ésta se puede variar para obtener diferentes resultados en la intensidad de golpe, que también cambia dependiendo de la combinación de gasolina y aire.

La altura del pistón se varía manualmente con una perilla, y los resultados de ésta variación se aprecian en gráficas para encontrar el punto de máxima intensidad de golpe.

El segundo aspecto a considerar para ésta prueba es alcanzar el nivel ideal de gasolina y aire, que es primordial para un motor de combustión ya que encontrando éste punto, se logra la máxima intensidad de golpe.

Por ejemplo para razones de compresión menores a 10, se recomienda el uso de gasolinas Magna, mientras que para mayores razones de compresión se recomienda el uso de Premium; en la mayoría de los automóviles en la cara posterior del cofre se encuentra grabado o en una placa la razón de compresión del motor.

Ahora bien, cuando se ha fijado una altura del pistón, el segundo aspecto que se debe variar es la cantidad de gasolina que metemos al carburador, hasta lograr la eficiencia máxima (máxima intensidad de golpe) a una razón de compresión fija.

Es interesante escuchar y observar el llamado cascabeleo del pistón al ir variando la mezcla aire-gasolina, hasta encontrar el punto deseado, ya que éste mismo efecto es el que podemos apreciar en los automóviles cuando el combustible es de menor octanaje al requerido, ya que en éste caso se detona en la cámara de combustión antes de que la bujía mande la chispa; el mismo efecto se obtiene sí no se mezcla correcta u óptimamente la cantidad de aire-gasolina.

Las máquinas también cuentan con cuatro depósitos para gasolina, dos de ellos se utilizan para las gasolinas que se van a probar, por lo tanto se pueden hacer dos pruebas simultáneas.

Los otros dos se ocupan para poner gasolinas de referencia con mezclas y octanajes bien definidos y conocidos.

Las muestras de referencia se realizan con dos compuestos:

- iso-Octano
- n-heptano

Para esto, se utilizan probetas graduadas, colocando la cantidad de iso-octano y n-heptano para el octanaje deseado. Como sabemos el iso-octano es considerado el 100 de octano y el n-heptano el 0. Por lo tanto si deseamos una referencia con octanaje de 89 se pone un 89% de iso-octano y el resto, para el 100%, de n-heptano.

Para la realización de las pruebas, el tiempo del proceso puede variar mucho, es decir que algunas pruebas pueden realizarse en pocos minutos y otras pueden llevar incluso horas, dependiendo de la gasolina que se vaya a probar, por ejemplo, si es gasolina comercial Pemex, éste proceso es rápido, de algunos minutos, ya que se tiene un estimado de los valores que podrían resultar al hacer la prueba, ya que es un octanaje conocido, es decir que sabemos que los resultados o el resultado de la muestra a determinar el octanaje debe estar entre los dos valores de referencia previamente establecidos, donde uno es de mayor octanaje y el otro de menor.

El tiempo cambia para muestras desconocidas como lo pueden ser muestras adulteradas o de nuevas gasolinas de prueba, el proceso resulta ser más tardado ya que todos los preliminares y calibración de las máquinas son menos exactos ya que no se tiene noción de ningún valor esperado, y los ajustes son mayores.

Otro aspecto relacionado, es la cantidad necesaria de la muestra para hacer el análisis, si se trata de un análisis de una gasolina comercial con un litro es suficiente, mientras que para muestras desconocidas se puede llegar a requerir hasta 1 galón de la muestra.

Por parte de la calibración que es el proceso que se debe llevar a cabo antes de hacer pruebas para saber que las máquinas están bien calibradas, se utiliza otra sustancia llamada tolueno.

El uso de ésta sustancia se debe a que presenta un índice de detonación muy alto, es decir, que se enciende fácilmente y tiene un índice bien definido y conocido. De esta forma se sabe si las máquinas están funcionando bien con el tolueno, verificando que los resultados que arroja en la calibración, sean los esperados.

Es importante resaltar nuevamente que para sacar el índice AKI $\left(\frac{MON + RON}{2}\right)$, primero

se realizan las pruebas MON y RON, y posteriormente los dos resultados se promedian y éste es el resultado que se obtiene, sin embargo no es la única forma de hacerlo ya que también existen máquinas que hacen éste calculo en un solo análisis, ésta es una máquina mucho mas pequeña, pero que maneja un mayor margen de error. Por lo tanto en cuestiones legales los únicos autorizados y con poder legal para determinar el verdadero valor de octanaje, son las máquinas de octano mostradas en la figura 2.4.

Ahora bien ambas máquinas también presentan diferencias.

La prueba RON se considera una prueba en vacío, es decir una prueba más ideal en cuanto a condiciones, mientras que la prueba MON que fue inventada aproximadamente unos 20 años después es una prueba considerada con carga, considerando más factores de desgaste emulando factores reales de la vida cotidiana, en el uso de un automóvil.

Por lo general, los resultados arrojados por ambas máquinas en este tipo de análisis difiere de una forma casi lineal, los resultados de la prueba MON son inferiores al de la prueba RON en promedio de 6 a 5 octanos menor.

2.2 Fundamentos del Dispositivo

En la presente sección se describen las mediciones a realizar por el dispositivo, así como los principios en los que se basan dichas mediciones.

También se presenta la justificación de los métodos elegidos para realizar dichas mediciones.

Para calcular el octanaje existen métodos directos como lo son los análisis de laboratorio, tales como la cromatografía, espectrometría y la resonancia magnética nuclear, los cuales son métodos costosos, sofisticados y muy difíciles de implementar.

Esto debido a que la determinación del octanaje es un tanto compleja y problemática.

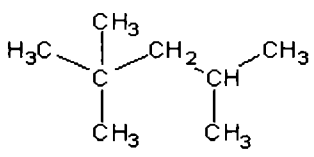
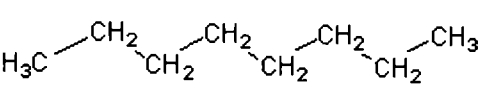
La problemática que se presenta en la determinación de octanaje es el hecho de que se tiene que identificar la cantidad de iso-octano presente en la gasolina, en medio de una cantidad muy grande de hidrocarburos.

Para plantear el problema en la determinación del octanaje, se tiene el hecho de que no todas las moléculas con la misma **fórmula molecular** son idénticas.

Por ejemplo el octano, con fórmula molecular: C_8H_{18} puede tener diferente fórmula estructural.

Por ejemplo, dos compuestos con ésta fórmula pero características físicas y químicas diferentes son el iso-octano y el n-octano, que se muestran en la tabla 2.2:

Tabla 2.2 Diferencias físicas y químicas de elementos con la misma formula molecular.

	Punto de Ebullición	Formulas estructurales
Isooctano	99 °C	
n-octano	125 °C	

Como se puede observar en la tabla 2.2, ambos hidrocarburos son muy similares, compartiendo la misma forma molecular, es decir, el mismo contenido de carbonos e hidrógenos, sin embargo no tienen las mismas características, por lo que diferenciar entre ellos presenta una gran problemática.

Por lo tanto, nuestras opciones se redujeron a dos métodos que podría llegar a cumplir nuestras expectativas, y son:

- Infrarrojo Cercano
- Método de pistón único.

Después de investigar y revisar documentación acerca de éstos métodos ambos fueron descartados por las siguientes razones:

Infrarrojo Cercano (Near Infra Red)

Fue descartada debido a:

- La poca energía de la señal
- Imposible diferenciar entre el isooctano y octano.
- Dos muestras pueden arrojar resultados muy similares con índices de octanaje muy diferentes o pueden arrojar resultados muy diferentes y tener índices de octano iguales.

Unificando los puntos anteriores, lo que se quiere decir es que la señal de NIR al ser poco energética, no logra excitar lo suficiente a las moléculas presentes en la gasolina para distinguir entre ellas, más específico, no es suficiente la energía de ésta señal para diferenciar entre el iso-octano y el n-octano debido a la similitud en sus estructuras.

Como consecuencia de esto, dos muestras con octanajes muy diferentes pueden arrojar resultados del análisis NIR muy parecidos y viceversa, dos muestras pueden arrojar resultados muy diferentes y tener octanajes iguales.

Método de pistón único

Fue descartado debido a:

- La complejidad del diseño e implementación.
- Costos
- Portabilidad

Este método es el usado en las pruebas RON y MON según las normas ASTM, pero la complejidad de diseño en un dispositivo portátil y barato como el que pretende éste proyecto es imposible, por lo tanto se descartó.

Ante ésta problemática y a falta de nuevas opciones, se investigaron nuevos métodos y se encontró que por medio de la determinación de la densidad se puede obtener propiedades importantes de las sustancias, que serían muy útiles para nuestro caso.

Así que se investigó acerca de métodos para determinar la densidad de sustancias y se encontró información de relevante ya que en muchas industrias la determinación de la densidad de los compuestos ayuda a saber si el producto o sustancia es de la calidad deseada, tal es el caso de las industrias:

- ❖ Comida
- ❖ Perfumes
- ❖ Cristales
- ❖ Petroquímica

En la siguiente sección se muestran los métodos a utilizar y la investigación a realizar para determinar la calidad de la gasolina.

2.2.1 Mediciones

Dado que los métodos para determinar el octanaje de manera directa son complejos y costosos, decidimos tomar como ejemplo algunas otras aplicaciones industriales que presentaban la necesidad de saber la calidad de sus productos.

Entonces se realizó una investigación acerca de que tan relacionadas están la calidad y la densidad de la gasolina.

Por lo tanto, para la investigación se realizarán pruebas de densidad a diversas muestras de gasolina, provenientes de diferentes gasolineras del DF.

Lo que se pretende con las pruebas de densidad es comparar la variación de la densidad de las diferentes muestras, que no debe ser muy grande ya que la composición de la gasolina es fija por lo tanto la densidad no debe variar más que con la temperatura. Posteriormente, sabiendo la media de densidades, se realizarán combinaciones de gasolina con diesel, ya que el diesel es una de las pocas sustancias (combustibles) que son menos costosas que la gasolina y es uno de los principales sospechosos para llevar a cabo adulteraciones, y ver que efectos tiene la combinación de ambas sustancias sobre la densidad.

La otra combinación que se realizará es un tanto más evidente ya que una forma fácil de adulterar la gasolina Premium es con gasolina Magna, que es de menor precio.

Una vez realizadas las combinaciones se extraerá información tal como las máximas cantidades a mezclar de cada una de las sustancias y ver si se afecta la densidad de las muestras al combinarlas y de ser así, la forma en que se afecta.

De ésta forma para el proyecto se van a llevar a cabo dos mediciones:

- ***Medición de Volumen***

Con ésta medición se pretende corroborar que la cantidad de gasolina que se compra coincida con la cantidad que se paga y la que indica las máquinas dispensadoras.

- ***Medición de Densidad***

Con ésta medición se pretende verificar que la gasolina es de la calidad prometida.

Es importante saber si la gasolina que estamos recibiendo es de la calidad prometida, ya que en sí, la mejor gasolina que se vende en México es la Premium que en países como Estados Unidos es gasolina de media calidad, mientras que la gasolina Magna es de mala calidad, por lo tanto si agregamos el hecho de que es gasolina de mala calidad y además adulterada, las consecuencias pueden ir desde afectar el medio ambiente hasta la salud de los ciudadanos.

Por lo tanto, englobando las dos mediciones, se pretende reducir el mercado tan grande de robo como lo es la venta de litros incompletos de gasolina y la adulteración de la misma.

Otro de los aspectos a atacar indirectamente son las emisiones vehiculares causadas por la adulteración de la gasolina las cuales en una ciudad como la Ciudad de México, que son enormes, afecta a un gran número de personas y por supuesto al medio ambiente.

2.2.1.1 Medición de Flujo

Para la medición de flujo es necesario conocer algunas de las propiedades de los fluidos, que se presentan a continuación:

Fluidos

En ésta sección se darán los principios y bases para el funcionamiento del método para determinar el volumen de la muestra el cual se hará por medio de un medidor de flujo.

Un fluido es toda aquella sustancia deformable continuamente en el tiempo ante la presencia de una fuerza o tensión tangencial.

En otros términos un fluido es toda aquella sustancia que con poca cohesión intermolecular o bien poca fuerza de atracción entre las partículas que componen a la sustancia, y dichas sustancias tienden a adoptar la forma del recipiente que los contiene.

Tal es el caso de los líquidos y los gases, cuyas fuerzas intermoleculares no son lo suficientemente fuertes para mantener al material sin fluir, al paso del tiempo.

En general, un fluido cuenta con las siguientes características:

- Cambio continuo de la posición relativa de sus moléculas.
- Son compresibles a cierto grado
- Son viscosos
- Dicha viscosidad es independiente de la densidad.
- Y la que podría resultar como la más obvia es, que fluyen con el paso del tiempo.

Al ser muy complicado el análisis de los fluidos tal cual los conocemos en la vida real, se propone el análisis del fluido ideal, el cual tiene ciertas propiedades.

Cabe resaltar que al igual que todos los modelos físicos que se proponen, el modelo del fluido ideal no es la excepción y no es algo tangible o mejor dicho no existe en la naturaleza un fluido con tales características.

Fluido Ideal

El fluido ideal cuenta con 4 características que debe cumplir para ser considerado como tal y son las siguientes:

1. Fluido no viscoso: se desprecia la fricción interna de las partes del fluido
2. Flujo estacionario: velocidad del fluido constante en el tiempo, en cierto punto.

3. Fluido incompresible: es decir que su densidad es constante en todo tiempo.
4. Flujo irrotacional: no existe momento angular en ningún punto del fluido, es decir, que no presente torbellinos.

Ecuación de continuidad

Ésta ecuación de continuidad parte de la definición de densidad, que es la cantidad de masa presente en cierto volumen de cualquier cuerpo, y está representada por la letra griega ρ (rho), y matemáticamente se define por medio de la ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Y sabemos que el volumen puede ser calculado como el área por longitud en el caso de un tubo o cilindro:

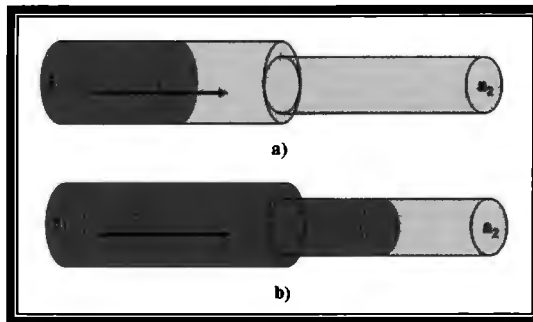
$$v = a \times l$$

Entonces, la densidad quedaría como:

$$\rho = \frac{m}{a \times l}$$

Si consideramos que el fluido ideal esta fluyendo por una tubería que cambia de sección transversal (área) como la que se muestra en la figura 2.5

Figura 2.5 Fluido atravesando tuberías de diferente área transversal.



Es importante no confundir la v de la figura 2.5 que representa la velocidad del fluido y la v que es el volumen.

Entonces consideramos el instante de tiempo t para la figura 2.5a y el instante de tiempo $t + \Delta t$ para la figura 2.5b, observamos un cambio.

Recordando que la velocidad v , se define como la distancia recorrida en un cierto tiempo:

$$v = x/t$$

Entonces, la distancia recorrida por fluido es de $\Delta x = \Delta t v$, sustituyendo ésta distancia Δx en la fórmula de la densidad queda:

$$\rho = \frac{\Delta m_1}{a_1 \Delta t \cdot v_1}$$

Es decir, que el cambio de masa, esta dado por

$$\Delta m = \rho \cdot (a_1 \Delta t \cdot v)$$

Lo mismo pasa para la figura 2.5b solo que el tiempo y sección transversal cambian:

$$\rho = \frac{\Delta m_2}{a_2 \Delta t \cdot v_2} \quad \rightarrow \quad \Delta m_2 = \rho \cdot (a_2 \Delta t \cdot v_2)$$

Debido a que el flujo es estacionario sabemos que la cantidad de masa que atraviesa el área a_1 y a_2 es la misma en el mismo intervalo de tiempo, así que podemos igualar las expresiones $\Delta m_1 = \Delta m_2$.

Y simplificando, queda la siguiente expresión:

Ecuación de Continuidad

$$a_1 v_1 = a_2 v_2$$

Donde a_1 y a_2 son las respectivas áreas que atraviesa el fluido, y v_1 y v_2 son las velocidades del fluido en estas áreas.

La cual nos dice que si pasamos de un área mayor a una menor la velocidad en la primera área será menor que en la segunda y viceversa.

Gasto o Caudal

Se define como el volumen de fluido que atraviesa un área transversal en cierta unidad tiempo, y este es un dato muy importante a considerar en el proyecto ya que debemos conocer el gasto de la máquina expendedora de gasolina, para el diseño del dispositivo.

Para poder calcular el gasto para una tubería cilíndrica se tiene que integrar al cilindro con respecto al radio.

Para calcular el gasto para una tubería cilíndrica, es decir, el volumen de fluido que atraviesa el área transversal de una circunferencia por unidad de tiempo, esta definido entre:

$$r + dr$$

Es decir, es una especie de velocidad de flujo, ya que se calcula como litros/seg.

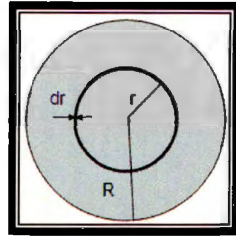
Ésta velocidad esta dada por:

$$v = (2\pi \times r dr)$$

Donde v , representa la velocidad del fluido a la distancia r del eje que pasa por el centro del tubo y es perpendicular al largo del mismo tubo, $2\pi r dr$ es el área de la circunferencia.

La figura 2.6 ayuda a ver más fácilmente los cálculos.

Figura 2.6 Vista transversal de un tubo.



Realizando la integral:

$$G = \int_0^R v(2\pi \times r)dr = 2\pi \times v \left(\frac{1}{2} R^2 \right) = v\pi R^2$$

De la fórmula anterior podemos ver como el gasto, o también llamado caudal (G) depende del radio del tubo por el que fluya, y de la velocidad con la que lo atraviesa.

Existen dos tipos de gasto:

➤ **El volumétrico:** Dado en unidades de volumen sobre unidad de tiempo $\left[\frac{l}{s} \right]$, $\left[\frac{m^3}{s} \right]$,

$\left[\frac{Gal}{s} \right]$, etc.

➤ **El másico:** Dado en unidades de masa sobre unidad de tiempo $\left[\frac{Kg}{s} \right]$, $\left[\frac{Kg}{min} \right]$,

$\left[\frac{lb}{s} \right]$, etc.

La equivalencia entre ambos caudales está dada por la densidad de cada sustancia que se mida, por medio de la fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Medidores de flujo

Antes de seguir con los medidores de flujo se darán a conocer algunos conceptos que se deben entender para poder usar con seguridad un medidor de flujo.

Estos conceptos son los del flujo laminar y el flujo turbulento, el número de Reynolds y la importancia del perfil de velocidad.

El movimiento de un fluido a través de un tubo puede ser caracterizado como: laminar, de transición o turbulento.

Flujo laminar: el fluido viaja como capas paralelas, también conocidas como streamlines, que no se mezclan mientras se mueven en dirección del flujo.

Flujo es turbulento: el fluido no viaja en capas paralelas, se mueve de forma aleatoria solamente con el movimiento promedio del fluido paralelo al eje del tubo.

Flujo de transición en éste caso, se presentan los casos de flujo laminar y turbulento en diferentes puntos del tubo o bien cambia de uno a otro.

En el año de 1883 un ingeniero y físico Irlandés de nombres Osborne Reynolds realizó una serie de experimentos en la Universidad de Manchester que demostraron que las características del flujo pueden ser predichas usando un número adimensional, conocido como el número de Reynolds.

Éste número (Re) es la razón de las fuerzas inerciales en el flujo (ρvD) a las fuerzas viscosas en el flujo (η), y puede ser calculada usando la fórmula:

$$Re = \frac{\rho \bar{v} D}{\eta}$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido

\bar{v} = Velocidad media del fluido

D = Diámetro del tubo

η = Viscosidad dinámica del fluido

Si $Re \leq 2000$, quiere decir que dominan las fuerzas viscosas en el flujo y el flujo será laminar. Si $Re > 4000$, significa que las fuerzas inerciales dominan en el flujo y éste será turbulento. Si Re se encuentra entre los 2000 y los 4000, el flujo es de transición y cualquier modo puede presentarse.

El número de Reynolds es una muy buena guía del tipo de flujo que se puede esperar sin embargo éste es calculado usando principalmente propiedades del fluido y no toma en cuenta factores importantes tales como la rugosidad del tubo, curvas y válvulas que afectan las características del flujo.

La velocidad del fluido a través de la sección transversal del tubo no es constante y depende del tipo de fluido.

En el flujo laminar, el perfil de la velocidad es parabólico debido a las grandes fuerzas viscosas, que provocan que el fluido se mueva más lento cercano a las paredes del tubo.

Bajo las mismas circunstancias la velocidad en el centro del tubo es el doble de la velocidad promedio a través de la sección transversal del tubo.

El flujo laminar no se ve afectado por la rugosidad de las paredes del tubo.

En el flujo turbulento dominan las fuerzas inerciales, por lo que los efectos de las paredes del tubo son menores, y el perfil de velocidad del flujo es mas parejo, con la velocidad en el centro siendo solo un 1.2 de la velocidad media.

El perfil exacto de un flujo turbulento depende de las paredes del tubo y del número de Reynolds.

Para ilustrar mejor lo anterior se muestra la figura 2.7 donde podemos apreciar gráficamente la diferencia entre el flujo laminar y el flujo turbulento, así como la diferencia de velocidades cerca de las paredes y al centro.

Figura 2.7 Diferencias entre el flujo turbulento y flujo laminar.

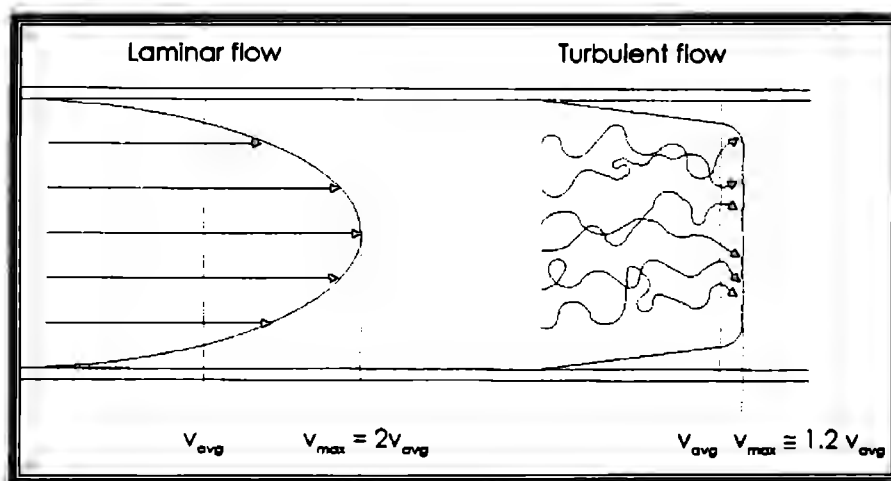


Imagen Extraída de:

John G. Webster, "The Measurement, instrumentation, and sensors handbook", CRC Press & IEEE Press. 1999.

Ecuación de Bernoulli

Otro aspecto muy importante que debemos conocer cuando hablamos acerca de fluidos es la ecuación de Bernoulli, que define la relación entre la velocidad del fluido (v), la presión del fluido (p) y la altura, alrededor de un punto fijo de un fluido fluyendo a través de un tubo de sección transversal variable.

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + z = cte$$

Donde:

V = velocidad del fluido en la sección considerada.

g = aceleración gravitatoria.

z = altura en la dirección de la gravedad desde un punto de referencia

P = Presión en la línea de corriente.

ρ = densidad del fluido

Existe una teoría muy extensa acerca de ésta ecuación pero para fines del proyecto no es necesario conocerla así que limitamos a dar a conocer la ecuación.

Ahora bien ya que tenemos una noción acerca de los fluidos podemos darnos cuenta que no es cosa fácil trabajar con ellos.

Para realizar ésta medición se investigaron varios métodos, como los son los medidores de flujo y los medidores de volumen, dentro de los cuales se encontraron bastantes métodos muy útiles para el proyecto.

Algunos consideraban el número de Reynolds, otros no, algunos la ecuación de Bernoulli era importante, según el método que utilizaban para determinar el caudal.

Dentro de la búsqueda de métodos se puso especial atención en un método de medición de flujo de caudal másico, debido a su simplicidad.

Un medidor de caudal masa, lo que hace es calcular la cantidad de masa que atraviesa una cierta área transversal, nos dice el gasto (Q) en términos de la masa, y se expresa como kg/s.

El medidor de coriolis es un método el cual cuenta con muchas ventajas sobre otros métodos y en específico para éste proyecto cuenta con características muy especiales por las cuales fue el elegido:

1. Es uno de los mejores, ya que mide directamente la cantidad de caudal de másico.
2. Tiene una de las mejores precisiones que es de $\pm 0.5\%$
3. Independiente de presión, temperatura y densidad
4. Obtención de la densidad como medida indirecta con una precisión del 0.2%
5. Se obtiene los dos datos necesarios con un solo método.

Tomado en cuenta los aspectos enlistados anteriormente, se decidió tomar al medidor de coriolis como la vía por la cual podremos llegar a nuestros objetivos.

A continuación se muestra la teoría de funcionamiento de los medidores coriolis.

Medidor Coriolis:

El teorema de Coriolis fue desarrollado y bautizado así gracias a su descubridor, un matemático francés de nombre Gaspard-Gustave de Coriolis quien observó que un objeto de masa (m) que se desplaza con una velocidad lineal (V) a través de una superficie giratoria con velocidad angular (w) constante, experimenta una velocidad tangencial cada vez mayor mientras más se aleja del centro.

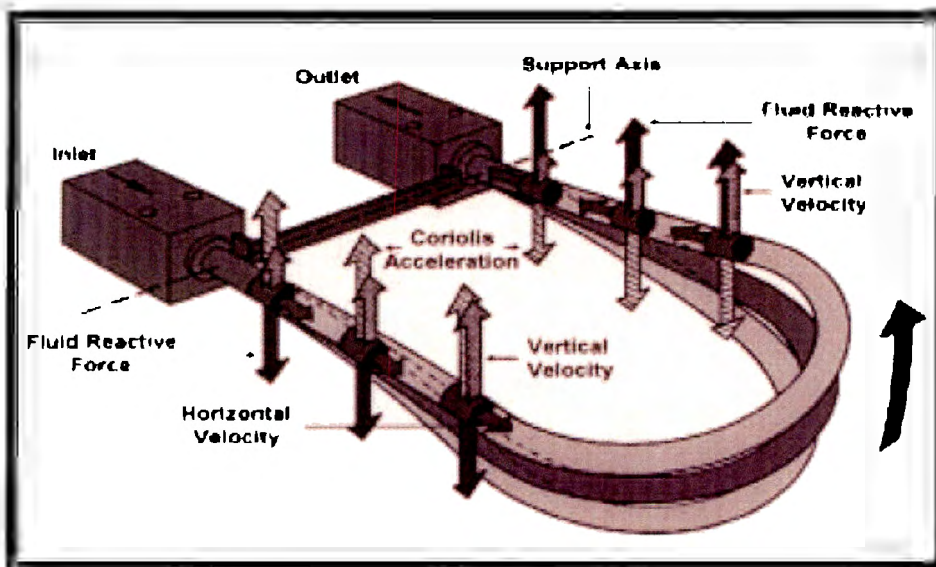
El famoso péndulo de Foucault demuestra éste fenómeno, pudiéndose observar que un péndulo de éste tipo en el ecuador de la tierra no rota, mientras que uno situado en alguno de los polos rota una vez al día, mientras que en cualquier otro punto de la Tierra rota a una velocidad que es inversamente proporcional al seno de la latitud.

Para fines de éste proyecto se describe a continuación los principios basados en el teorema de Coriolis:

Cuando un fluido se encuentra viajando a través de un tubo en forma de U éste entra con una velocidad lineal en un sentido y termina saliendo con velocidad en sentido contrario. Esto genera una vibración perpendicular al sentido del desplazamiento del fluido, la cual crea una fuerza de aceleración en la entrada del tubo y una fuerza de desaceleración a la salida del mismo, generando a su vez un par cuyo sentido cambia de acuerdo a la vibración y ángulo de torsión del tubo. Éste par es proporcional a la masa instantánea de fluido circulante.

Esto se puede visualizar mejor en la figura 2.8:

Figura 2.8 Principio de funcionamiento del medidor Coriolis



La fuerza de coriolis esta definida como:

$$F = 2mw \cdot V$$

Donde:

F = Fuerza de Coriolis
 m = masa del fluido contenida en el tubo recto de longitud L .
 w = velocidad angular alrededor del eje del tubo en U .
 V = velocidad lineal del fluido.

El par creado alrededor del eje del tubo es:

$$M = 2Fr = 4wrm \times V = 4wrQ$$

Donde:

Q = Caudal másico (kg/s).

Por otro lado, tomando en cuenta la constante de elasticidad del tubo K_s y θ el ángulo de torsión del mismo, el par creado respecto al eje del tubo también puede ser visto como:

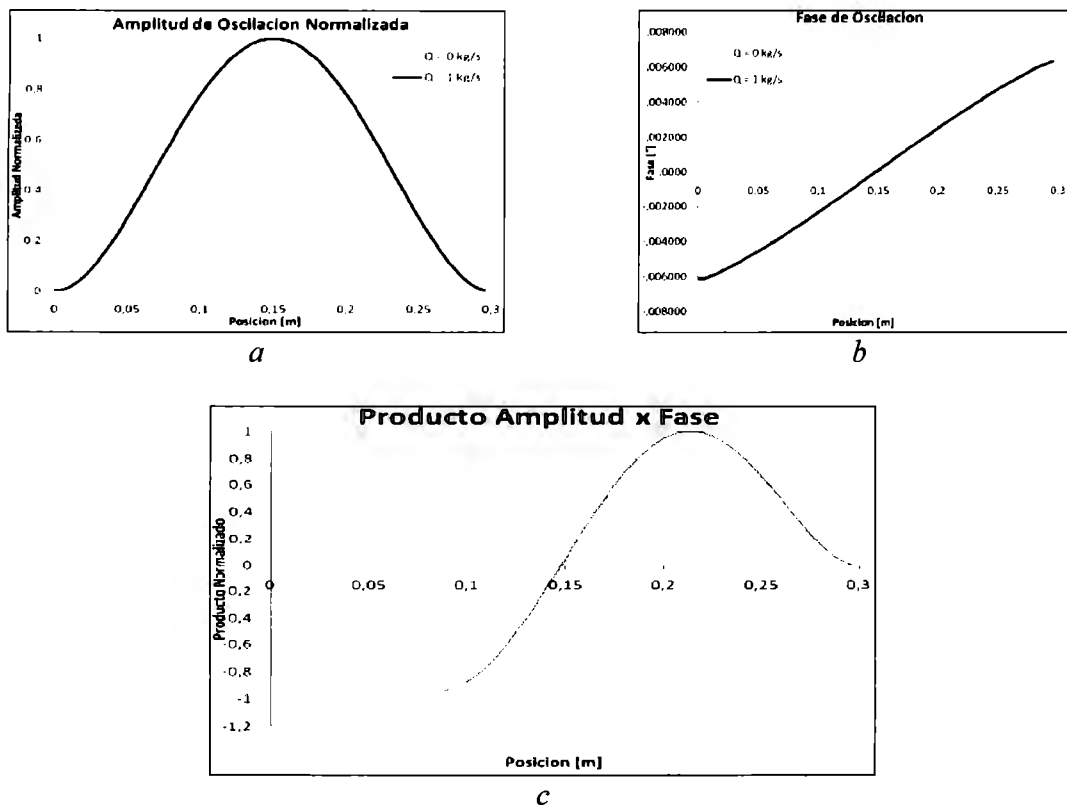
$$T = K_s \theta$$

Si igualamos ambos pares $T = M$

$$Q = \frac{K_s \theta}{4wr}$$

Los sensores deben estar situados a una distancia de $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de la longitud del tubo, con respecto a uno de sus extremos.

Figura 2.9 Amplitud y fase de oscilación en el tubo del medidor Coriolis.



La figura 2.9a muestra la oscilación normalizada del tubo, a su frecuencia de resonancia, por lo que la amplitud a la distancia media del tubo es máxima, de igual forma la figura 2.9b muestra la fase de oscilación del tubo sobre toda la longitud del tubo.

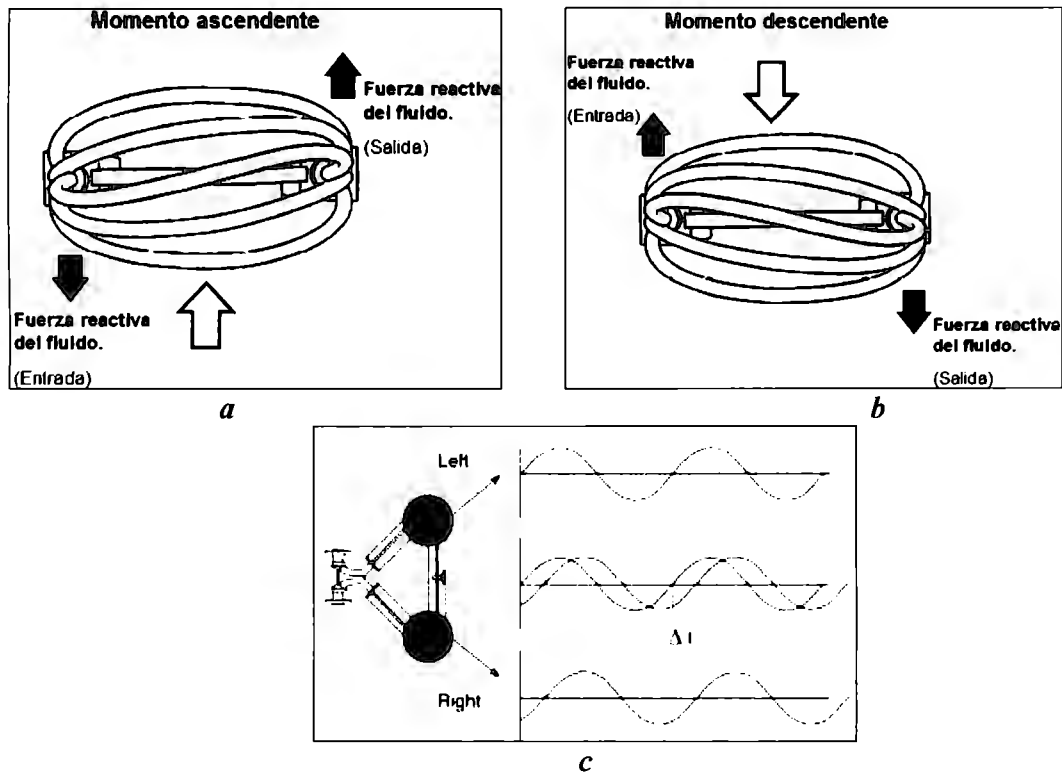
Al multiplicar ambas gráficas (2.9a y 2.9b), se obtiene el resultado mostrado en la figura 2.9c, donde se puede apreciar que los sensores deben ir puestos, efectivamente a $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de

la longitud del tubo que es donde mayor amplitud de oscilación se obtiene, por lo tanto los sensores podrán captar mejor la oscilación.

En el sensor de entrada se tomara primero en cuenta el movimiento hacia abajo y en el de salida el movimiento hacia arriba, debido a la forma en que se deforma el tubo cuando fluye el líquido, lo cual se puede observar en la figura 2.10a.

En la figura 2.10b se observa el efecto de subida del tubo.

Figura 2.10 *Movimiento y desfase de las vibraciones en el tubo al circular un fluido.*



En la figura 2.10c, se puede apreciar el desfase que existe entre ambas señales de entrada y salida.

Éste tiempo Δt , esta relacionada con el ángulo θ y la velocidad V_i del tubo en su punto medio, de la siguiente forma:

$$\tan \theta = \frac{V_i}{2r} \Delta t$$

Como el ángulo θ es pequeño, entonces:

$$\theta = \frac{Lw}{2r} \Delta t$$

Por lo tanto podemos redefinir a Q como:

$$Q = \frac{K_s L}{8r^2} \Delta t$$

Lo cual nos deja un mejor resultado ya que el caudal sólo depende de las constantes del tubo y el intervalo de tiempo Δt .

Entonces para el diseño de un medidor que nos permita calcular gastos grandes, debemos enfocarnos a las características del tubo.

Ahora bien, éste método nos permite calcular la masa de forma directa independiente mente de la presión, temperatura y densidad.

Pero donde si debemos hacer un ajuste de acuerdo a la temperatura es en el tubo ya que este presenta expansión térmica y su constante de elasticidad de cambia por lo que debemos programar los factores de ajuste en el microcontrolador y son los siguientes:

$$1. \quad K_s = S_k(20^\circ C)(1 + S_{kt} \times (t - 20^\circ C))$$

Donde:

S_{kt} = coeficiente de corrección de temperatura del material.

$S_k(20^\circ C)$ = Constante del sensor a $20^\circ C$.

t = temperatura.

Que es una fórmula análoga a:

$$V_{cmv} = [V_{20} + L_c + K_c](1 + a(T - 20^\circ C))$$

Que es la fórmula de factor de corrección, que se presenta en la sección 2.1.2

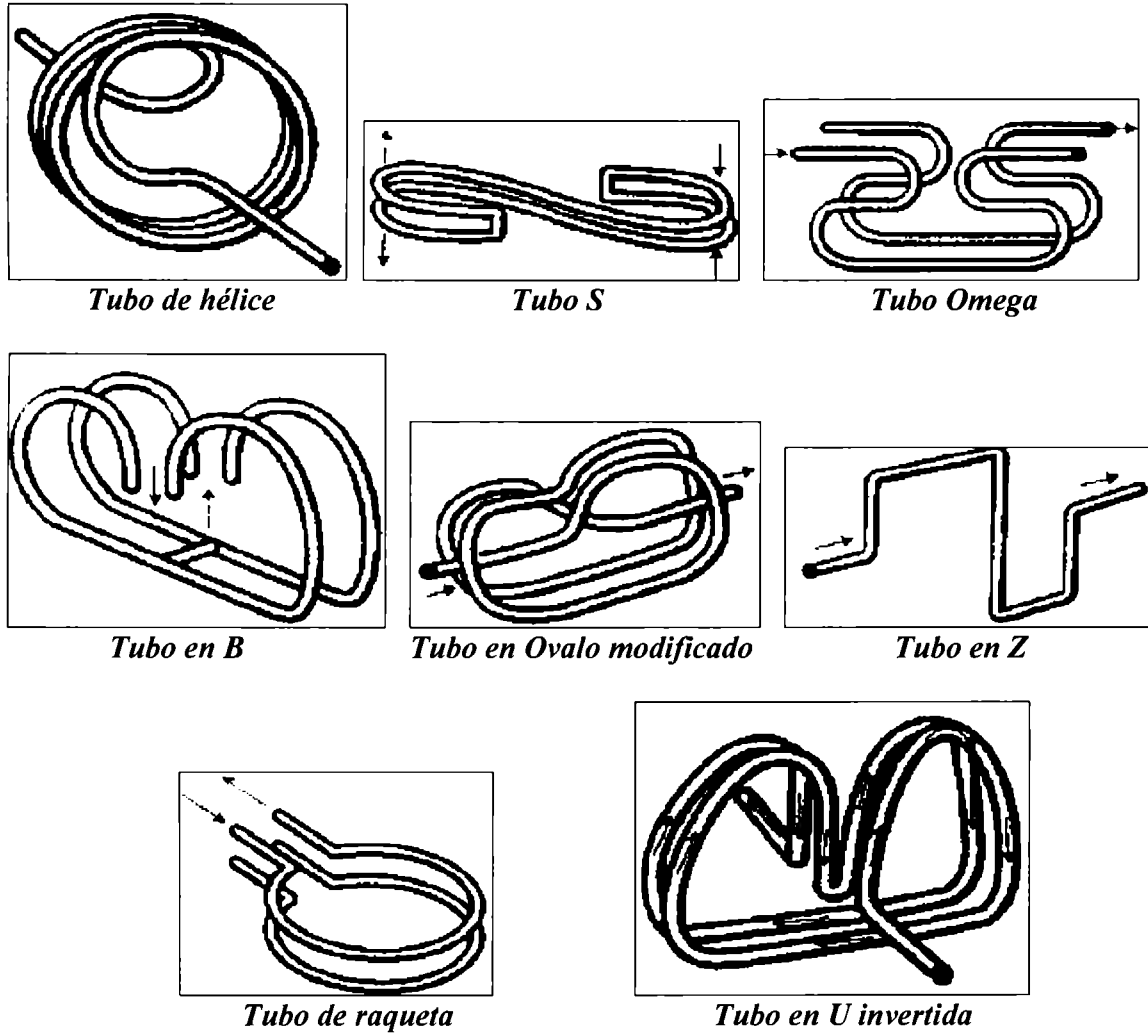
Entonces con un sensor de temperatura para monitorear el proceso que nos de la temperatura a la cual se lleva acabo la medición, y dos constantes proporcionadas por los fabricantes uno del sensor y otro del tubo de acero.

La única desventaja que se plantea para éste tipo de medidores es el alto precio que manejan los fabricantes.

Formas del medidor Coriolis:

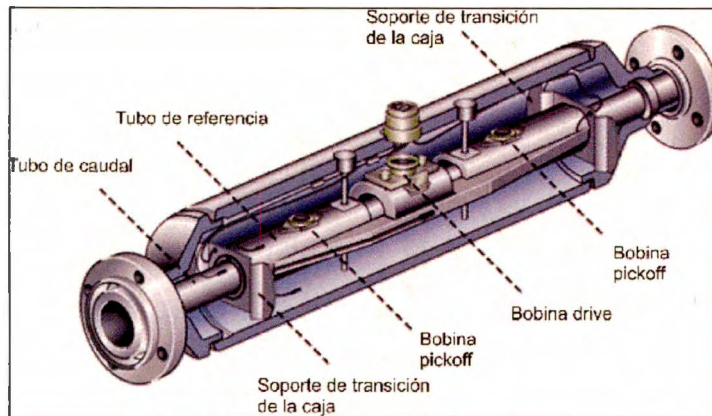
El medidor coriolis mostrado en las figuras anteriores es en forma de U, sin embargo esta es sólo uno de los diferentes arreglos que existen para éste tipo de medidores.

Figura 2.11 Diferentes geometrías del tubo del medidor Coriolis.



Otra geometría existente es de tubo recto, mostrada en la figura 2.12. Esta geometría fue la elegida para el proyecto debido a que las geometrías mostradas anteriormente pueden retrasar el flujo que entra al tanque de gasolina y ocasionar que la pistola que suministra la gasolina active el sistema de seguridad y detenga el flujo.

Figura 2.12 Geometría recta y componentes de un medidor Coriolis.



Emerson Process Management.

http://www.emersonprocess.com/MicroMotion/tutor/spanish/35_flowoperatingprincipalST.htm

La imagen muestra los elementos que deben conformar al medidor coriolis, y son los siguientes:

- Tubo de caudal: tubo por donde pasará el fluido a ser medido.
- Tubo de referencia: utilizado para montar los sensores y logren captar el movimiento relativo entre el tubo de referencia y el tubo de caudal.
- Bobina excitadora (Bobina drive): utilizada para hacer vibrar al tubo caudal a su frecuencia de resonancia.
- Sensores (bobina pickoff): son los encargados de detectar las vibraciones al momento de la entrada del fluido en el tubo y a la salida.

Para fines del proyecto algunos de los elementos mostrados en la figura 2.12, serán sustituidos por algunos otros, mostrados en el capítulo 3, con el fin de reducir el costo del medidor prototipo.

2.2.1.2 Medición de Densidad

La densidad es una propiedad de la materia muy importante, la cual se define como la masa en determinado volumen, a determinadas condiciones.

Éstas mediciones deben ser muy cuidadosas ya que la densidad varía dependiendo de la presión y temperatura, que para nuestro caso son factores muy importantes ya que la gasolina es una sustancia muy volátil la cual se evapora con mucha facilidad.

Por lo tanto no existe un método universal para medir la densidad, se emplearán distintos métodos dependiendo de la sustancia o material que se esté estudiando, aunque en muchos casos la densidad es normalizada bajo condiciones de referencia.

El cálculo de ésta propiedad se realiza por dos razones muy importantes:

1. Determinar la masa y volumen de sustancias.
2. La calidad de algún producto. En muchas aplicaciones industriales, la medición de la densidad comprueba la calidad del producto.

Ésta medición se puede calcular de forma directa de dos formas:

- Mediciones de densidad estáticas.
- Mediciones de densidad dinámicas.

O bien se puede calcular de forma indirecta por algún otro método.

Densidad de Fluidos

Específicamente para los fluidos el determinar la densidad es bastante complejo y existen muchas técnicas, debido a que la variación de densidad, durante el proceso y otras características propias de las sustancias y los procesos.

Existen procedimientos, principios y técnicas que pueden ser utilizadas para diferentes sustancias y productos y también existen procedimientos específicos para ciertas sustancias exclusivamente.

Como ya lo mencionábamos para determinar la densidad se utilizará el mismo medidor coriolis y se hará de la siguiente forma:

Considerando las características de la vibración en el tubo:

- w = frecuencia angular
- f = frecuencia
- T = periodo
- K = constante de elasticidad
- m = masa
- m_f = masa del fluido
- m_c = masa del medidor
- V = volumen interno del tubo sensor.

Entonces $m = m_f + m_c$

La frecuencia angular es:

$$\omega = 2\pi f \sqrt{\frac{K}{\rho V + m_c}}$$

Despejando ρ :

$$\rho = \frac{KT^2}{4\pi^2 V} - \frac{m_c}{V} = k_1(t_c) \cdot T^2 - k_2$$

Donde t_c es la corrección de temperatura sobre el módulo de elasticidad del tubo.

Si utilizamos dos fluidos de densidad conocida resulta que:

$$\rho_a = k_1(t_{ca}) \cdot T_a^2 - k_2$$

$$\rho_b = k_1(t_{cb}) \cdot T_b^2 - k_2$$

Haciendo una serie de operaciones, podemos calcular la densidad (ρ) de cierto fluido con periodo T y temperatura t , conociendo los periodos (T_a y T_b) de los dos fluidos con densidad conocida, a una temperatura conocida, con la fórmula.

$$\rho = (\rho_b - \rho_a) - \left(\frac{t_c T^2 - t_{ca} T_a^2}{t_{cb} T_b^2 - t_{ca} T_a^2} \right) + \rho_a$$

Por lo tanto, se deben hacer las pruebas previas con dos elementos conocidos y así programar los datos en el microcontrolador para poder saber la densidad de cualquier otra sustancia.

2.3 Descripción del funcionamiento

Ya desarrollada la parte teórica en la sección anterior, ésta parte irá enfocada a la descripción del proyecto.

El dispositivo será un elemento intermedio entre la pistola de gasolina y la entrada al tanque de gasolina del automóvil.

Éste será portátil para poder ser llevada en el automóvil como cualquier accesorio mas (gato, fantasmas, herramientas etc.).

El diseño del dispositivo pretende ser una especie de embudo que constará de dos partes:

1. La primera parte será donde irá todo el sistema electrónico, llamada parte de mando, y será una pieza desmontable.

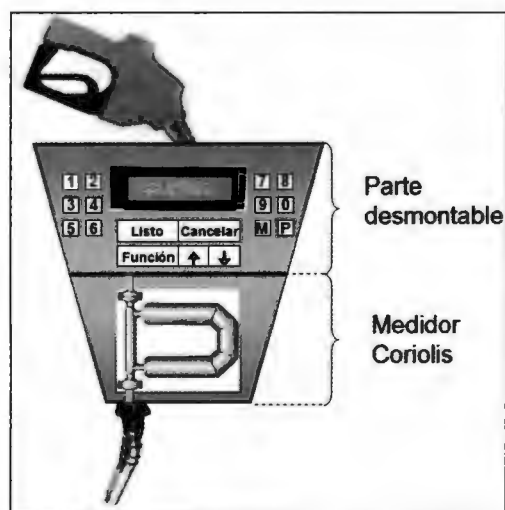
Al ser desmontable se pretende que ésta parte sea una dispositivo aparte para aislar la parte electrónica de la parte que estará en contacto con la gasolina.

2. La segunda parte será el medidor coriolis así como el arreglo sensores que captarán las vibraciones del medidor.

La primera parte (desmontable), se comunicará con la segunda parte (medidor) por medio de un bus de datos conectado al microcontrolador y a los sensores, el flujo de datos ira de los sensores al microcontrolador, para que éste pueda hacer los cálculos necesarios y mandar los datos al display.

Un diagrama a bloques se muestra en la figura 2.13, donde podemos ver los componentes de los que se hablaba:

Figura 2.13 Partes del dispositivo



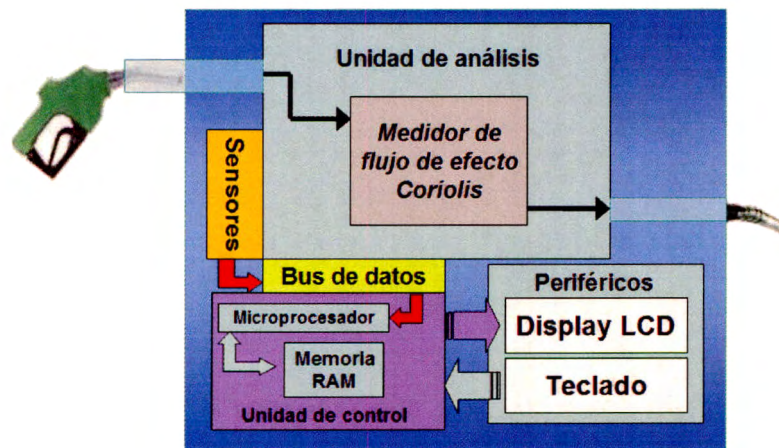
El dispositivo pretende tener varias características que son las siguientes:

- Veloz, debe entregar los resultado en el tiempo de recarga del automovilista.
- Debe entregar datos reproducibles y repetibles, con el menor rango de error posible.
- Medidas de seguridad aptas para el manejo de sustancias inflamables como la gasolina.
- Hacer la corroboración de los datos ofrecidos por las máquinas expendedoras en términos de precio, volumen, de forma fidedigna.

Diagrama a Bloques

La figura 2.14 muestra un diagrama a bloques más detallado que el de la sección anterior del dispositivo, el cual será una interfaz entre la máquina expendedora de gasolina y el automóvil.

Figura 2.14 Diagrama a bloques del dispositivo.



El proyecto como se muestra en la figura 2.14 va a constar de una sola etapa de medición. De ésta etapa se van a sacar los dos resultados que buscamos que es la medición de flujo y la calidad.

CAPITULO 3

DESARROLLO Y DISEÑO DEL DISPOSITIVO

Para el diseño, el proyecto se va a dividir en 3 bloques:

3.1 Mecánica

3.1.1 Medidor Coriolis

3.1.2 Sensores

3.1.3 Bobina excitadora

3.2 Electrónica Analógica

3.2.1 Amplificador de Carga

3.2.2 Detector de cruce por cero

3.2.3 Filtro Notch

3.3 Electrónica Digital

3.3.1 Interfaz

3.4 Diagramas del prototipo.

3.1 Mecánica

3.1.1 Tubo del medidor Coriolis

Para el diseño del medidor se deben tomar en cuenta varios factores.

Primero, que se va a tratar con una sustancia altamente corrosiva, por lo que investigando se encontró que el material ideal para una tubería que transporte gasolina debe ser de acero inoxidable tipo 304, 316 o bien manguera de caucho especial para productos petrolíferos.

Para fines del proyecto que pretende ser un dispositivo de bajo costo, se eligió la manguera, ya que tiene un costo menor al del tubo de acero. En la tabla 3.1 podemos ver una tabla comparativa de los precios.

Tabla 3.1 Comparativa de precios del tubo

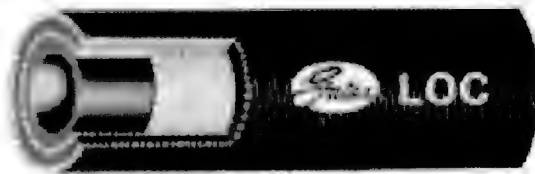
Material	Precio x metro (pesos)	Precio de la sección (20cm)	Diámetro Interno (cm)	Diámetro externo (cm)
Manguera de caucho	320	64	2	3.2
Tubo de acero	672	134.4	1.905	2.54

El tubo de acero se vende por Kg, y según la tabla del vendedor, cada barra de las características necesarias, tiene un peso aproximado de 4.2Kg por metro, por lo tanto, es más costoso que la manguera por lo que la manguera fue elegida.

La manguera es de marca gates de la línea LOC (Lock-on) con las siguientes características:

- Tubo: Negro de hule sintético, resistente a los petrolíferos.
- Refuerzo intermedio: Trenza de fibra
- Cubierta: Trenza de textil resistente al aceite y al enmohecimiento.
- Rango de temperatura: Para fluidos hidráulicos de -40°C a 100°C.

Figura 3.1 Figura en capas de la manguera a utilizar.



La figura 3.1 muestra una imagen de las capas de la manguera, las cuales ayudan a soportar deformaciones y hacerla mas resistente a la intemperie y uso rudo.

Otro aspecto importante, dado por el fabricante, es la tabla 3.2 donde se puede ver las medidas y presiones máximas a las que puede ser sometida la manguera para buen funcionamiento y durabilidad. La manguera es de medida 12LOC de ¾.

Tabla 3.2 *Tabla de especificaciones de la manguera*

ESPECIFICACIONES									
Descripción	No. Parte Longitud 50'	No. Parte Caja Granel	No. de Producto Caja Granel	Mang. D.I. (Pulg.)	Mang. D.E. (Pulg.)	Presión Trabajo (psi)	Presión Mín. Ruptura (psi)	Radio Min. de Curvatura (Pulg.)	Longitud Aproximada Caja (Pies)
4LOC	86691	70030	4319-0025	1/4	.52	300	1,200	3.0	575
6LOC	86692	70031	4319-0037	3/8	.64	300	1,200	3.0	600
8LOC	86693	70032	4319-0050	1/2	.80	300	1,200	5.0	335
10LOC	—	70033	4319-0062	5/8	.90	300	1,200	6.0	260
12LOC	—	70034	4319-0075	3/4	1.00	300	1,200	7.0	220

3.1.2 Sensores

Elección y Justificación

Generalmente, los medidores coriolis utilizan sensores de efecto Hall para detectar las vibraciones, los cuales son más costosos que los sensores piezoeléctricos.

Como se puede apreciar en la tabla 3.3 un sensor de efecto Hall cuesta en promedio más del doble que un sensor piezoeléctrico.

Los sensores de efecto Hall pueden costar hasta \$30 dls, aunque existen algunos menos costosos de \$1.7 dls, dependiendo de las características que se deseen. Por otro lado el más costoso de los sensores piezoeléctricos cuesta \$8 dls y el más barato, como el elegido para el dispositivo, cuesta \$0.75 dls.

Tabla 3.3 *Tabla comparativa de precios*

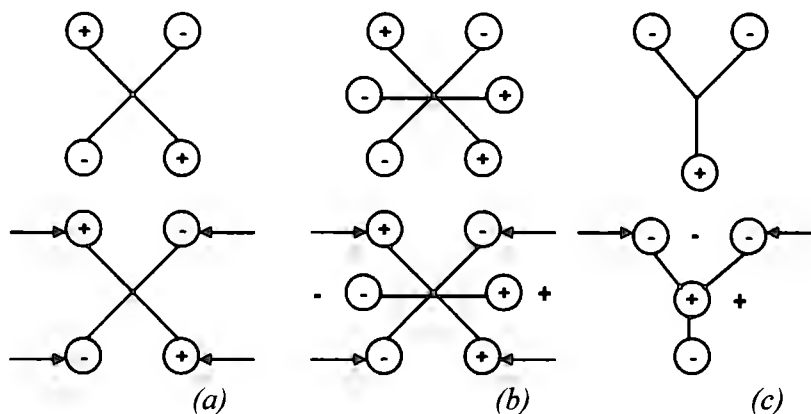
Promedio de precios (dls)	
Piezoeléctricos	Efecto Hall
3.25	7.195

La tabla 3.3 muestra el promedio de precios de ambas tecnologías de sensores, extraídas del catalogo del proveedor Digikey (www.digikey.com).

Principio de funcionamiento

Los sensores piezoeléctricos funcionan bajo el principio de polarización, al deformarlos por medio de una fuerza externa, estos se polarizan creando una diferencia de potencial, el cual puede ser utilizado con fines de censar algún tipo de variable mecánica. Éste es un efecto reversible, es decir que al dejar de aplicar la fuerza y que retoman su forma original dejan de estar polarizados.

Figura 3.2 Simetrías moleculares de los materiales piezoeléctricos.



La estructura de los materiales piezoeléctricos se relaciona con la estructura molecular de los cristales, dependiendo de la simetría. Por ejemplo la figura 3.2 muestra diferentes simetrías, la mostrada en la figura 3.2a, simetría central, al ejercer la fuerza como muestran las flechas, se puede apreciar que no existe polarización, mientras que la polarización paralela (3.2b) y la polarización perpendicular (3.2c), llevan su nombre debido a que la polarización es paralela o perpendicular a la fuerza ejercida.

Existen diferentes materiales naturales que tienen estas características como el cuarzo y la turmalina.

Incluso, existen algunos materiales llamados ferro eléctricos los cuales pueden volverse piezoeléctricos al someterse a una polarización, como el tantalio de litio, nitrato de litio, cerámicas y polímeros. Cabe resaltar que todos los materiales ferro eléctricos son piezoeléctricos.

También existe el fenómeno piezoeléctrico inverso, que es el efecto de aplicar una diferencia de potencial a éste tipo de materiales para que oscilen, utilizados para osciladores de computadoras y relojes.

Unas de las desventajas de estos materiales son:

- No tienen respuesta en corriente directa (C.D.)
- Funcionan por debajo de la frecuencia de resonancia del material
- Son susceptibles a la temperatura (Cuarzo 260°C, turmalina 700°C)

Elección de sensores:

Los sensores que se utilizarán serán los siguientes:

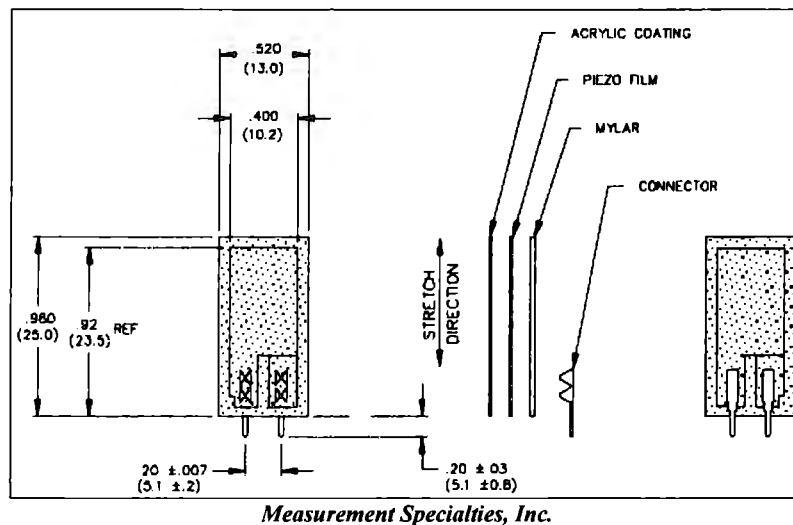
- 2 Sensores: Sensores Piezoeléctricos LDT0-028k de Measurement Specialties Inc.

Estos sensores especialmente son laminados lo cual les da una mayor sensibilidad a las vibraciones.

Al momento de soldarlos debemos tener cuidado ya que se pueden dañar a temperaturas mayores a los 80°C.

En la figura 3.3 se muestra un pequeño diagrama del sensor extraído de las hojas de especificación del fabricante.

Figura 3.3 Medidas del sensor piezoeléctrico.



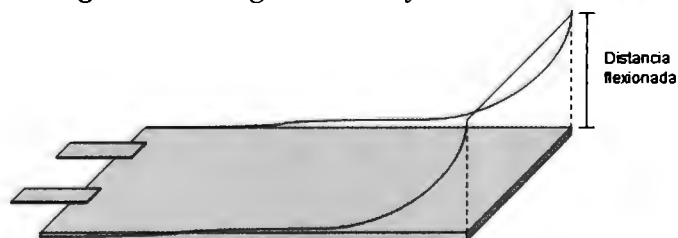
Los sensores usados LDT0, funcionan de acuerdo a la tabla 3.4

Tabla 3.4 Características de salida del sensor

<i>Distancia de deflexión</i>	<i>Carga de salida</i>	<i>Voltaje de salida</i>
2 mm	3.4 nC	7 V
5 mm	7.2 nC	15 V
10 mm	10 – 12 nC	20 – 25 V
(Máx) 90°	> 30 nC	> 70 V

Como se puede apreciar en la tabla anterior, hay una relación lineal entre el voltaje entregado y la carga entregada, según flexionemos el sensor.

Figura 3.4 Diagrama de la flexión del sensor.



La figura 3.4 muestra como se debe flexionar el sensor para que éste entregue una carga proporcional según la tabla 3.2

Como esta carga no puede ser propiamente leída por ningún circuito integrado es necesario acoplar el sensor por medio de un amplificador de carga, para que convierta la carga en un voltaje que pueda ser visto por los dispositivos electrónicos. El diseño del amplificador de carga se realiza en la sección 3.2.1.

3.1.3 Bobina Excitadora

La bobina excitadora dentro del medidor Coriolis, es la encargada de hacer que el tubo oscile, para que dicha vibración sea adquirida por medio de los sensores y posteriormente después de una serie de acoplamientos de la señal, poder ser procesada e interpretada por el microcontrolador.

La bobina debe ser un excitador mecánico, por lo que existen diversas opciones, desde usar una bocina, hasta usar un electroimán, que básicamente actúan bajo el mismo principio de funcionamiento.

Un electroimán es un dispositivo eléctrico que se rige bajo las leyes del electromagnetismo. A grandes rasgos la descripción del funcionamiento de un electroimán es la siguiente:

Cuando se hace circular una corriente eléctrica a través de una bobina o solenoide que tiene como núcleo un elemento ferromagnético (figura 3.5), como el hierro, la corriente genera un campo magnético paralelo a su eje, que atraviesa al núcleo. Este campo magnético al interactuar con el núcleo de hierro, hace que los dominios formados de las partículas del material (3.6a) se comiencen a alinear en dirección del campo magnético según la intensidad del mismo. Si la intensidad del campo magnético es suficiente para lograr alinear a todas las partículas como se muestra en la figura 3.6b, entonces se logra polarizar el núcleo, formando un polo positivo y uno negativo, justo como un imán.

Figura 3.5 Esquema de un electroimán

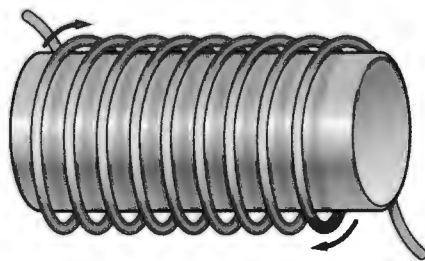
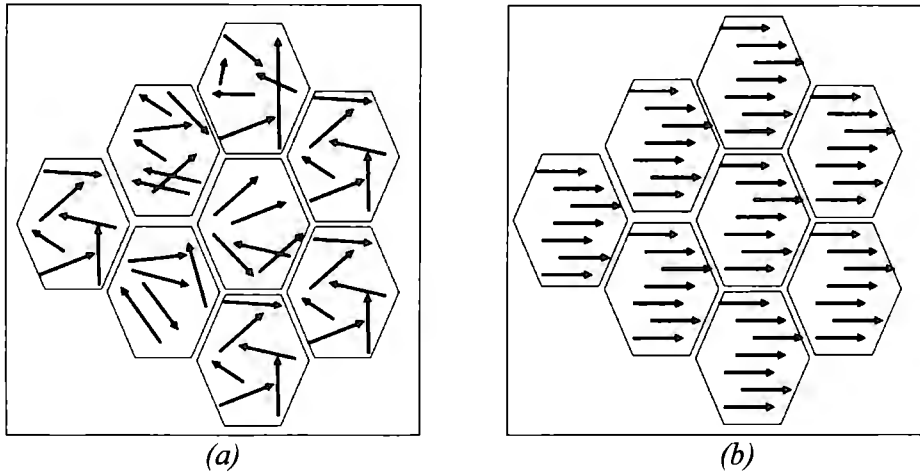


Figura 3.6 Dominios moleculares del material ferromagnético



La fuerza generada por un electroimán, no es fácil de calcular, sin embargo se puede tener una muy buena aproximación utilizando análisis de elementos finitos, sin embargo una buena aproximación esta dada por la fórmula:

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0} [N]$$

Para condiciones de que el campo magnético esta confinado en un material de alta permeabilidad, y en donde:

B = Campo magnético [T]

A = Área transversal de los polos [m²]

μ_0 = Permeabilidad del espacio libre.

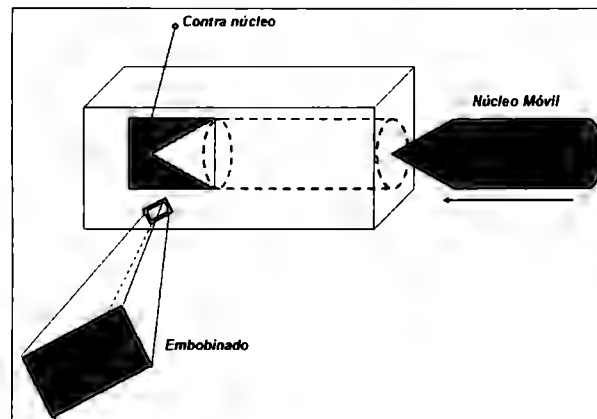
Ahora bien, dentro del campo de los electroimanes existen muchos tipos, como los usados en chicharras o timbres eléctricos, los usados en cerraduras eléctricas, grúas de carga, etc.

En específico, para el dispositivo se eligió el usado en cerraduras eléctricas, como el mostrado en la figura 3.7

Figura 3.7 Electroimán



Figura 3.8 Diagrama del funcionamiento del electroimán



La figura 3.8 muestra el diagrama del electroimán, éste funciona cuando el embobinado que rodea al contra núcleo es alimentado con corriente directa, en ese momento el contra núcleo actúa como electroimán atrayendo al núcleo móvil que es la otra parte del núcleo que complementa al contra núcleo. En el momento que la corriente deja de circular por el embobinado el contra núcleo deja de ejercer fuerza y el núcleo móvil puede ser alejado nuevamente, por alguna fuerza regenerativa como la de un resorte, regresando a su posición inicial.

3.2 Electrónica Analógica

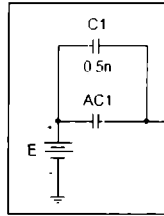
3.2.1 Amplificador de Carga

Éste tipo de amplificadores son usados para cierto tipo de transductores tales como micrófonos capacitivos, acelerómetros o sensores piezoeléctricos, los cuales funcionan bajo el principio de entregar una carga proporcional a la variable que se encargan de medir. Por lo tanto, los amplificadores de carga son circuitos eléctricos diseñados con amplificadores operacionales, encargados de convertir la carga entregada por los sensores piezoeléctricos en un voltaje proporcional.

Para nuestro caso nos conviene tener la mayor sensibilidad posible para poder detectar bien las vibraciones del tubo las cuales serán muy pequeñas, por lo tanto se diseñará el amplificador de carga para que entregue 9 V para una deflexión de 1mm.

El circuito eléctrico equivalente del sensor es el siguiente:

Figura 3.9 Diagrama eléctrico del sensor piezoeléctrico



En estado de reposo, el sensor sólo es una fuente de voltaje en serie con un capacitor C_1 de 0.5 nF, cuando nosotros flexionamos el sensor el voltaje E se va a incrementar, y ΔC_1 va a cambiar proporcionalmente, dando a la salida una carga proporcional al voltaje y el cambio de capacitancia representado por ΔC_1 , el cual matemáticamente se expresa como:

$$\Delta q = \Delta C_1 E$$

En éste momento es donde interviene el amplificador de carga, ya que si conectamos el circuito anterior al amplificador de carga como en la figura 3.10, podemos ver como la carga de salida del sensor es convertida a un voltaje proporcional con una ganancia deseada.

Para nuestro caso queremos que cada milímetro flexionado nos entregue 9 V.

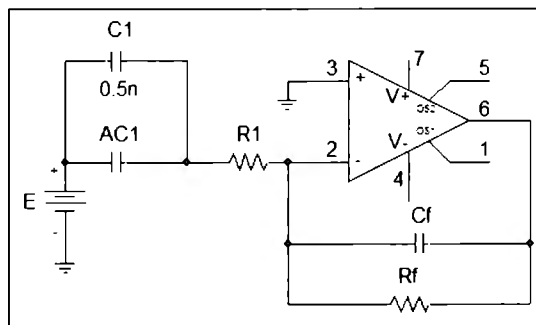
El amplificador de carga sin ganancia entregaría:

$$1mm \rightarrow 1.7nC \rightarrow 3.5V$$

Por lo tanto, la ganancia para satisfacer 9V por milímetro, debe ser de:

$$G = \frac{V_{sal}}{V_{ent}} = \frac{9V}{3.5V} = 2.57$$

Figura 3.10 Diagrama eléctrico del amplificador de carga



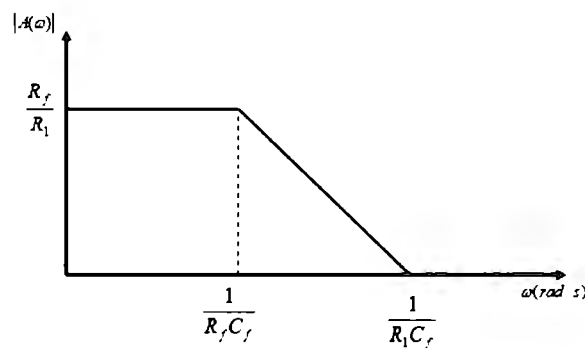
De la figura 3.10 podemos ver que la carga del sensor fluye a través del capacitor C_f la cual produce un voltaje de salida:

$$V_{sal} = -\Delta C_1 \frac{E}{C_f}$$

Como podemos ver, el circuito en sí es un circuito integrador el cual actúa como un filtro pasa-bajas, y por fines de estabilidad del circuito, para reducir los efectos de la corriente de polarización y el voltaje de corrimiento se introduce una resistencia R_f , ya que sin ella el capacitor C_f se cargaría hasta que el amplificador se saturará.

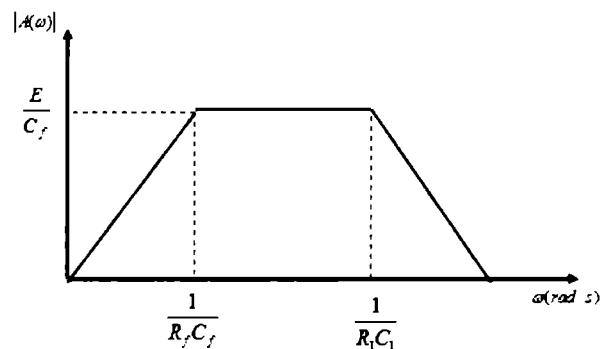
La siguiente figura muestra la respuesta en frecuencia del amplificador de carga.

Figura 3.11 Respuesta en frecuencia de un circuito integrador



Sin embargo, esa sería la respuesta en frecuencia solamente del amplificador de carga, pero una vez que se conecta el sensor ésta cambia, y se convierte en una especie de filtro pasa banda con la siguiente respuesta en frecuencia:

Figura 3.12 Respuesta en frecuencia del amplificador de carga



Como se puede apreciar de la figura 3.12 el capacitor C_f y la resistencia R_f dan la frecuencia de corte inferior, mientras que la capacitancia del sensor C_1 y la resistencia R_1 , dan la frecuencia de corte superior, en tanto que la ganancia en la banda de paso como se puede apreciar esta dada por la expresión:

$$\frac{E}{C_f} = \frac{V_{sal}}{\Delta C_1}$$

Por lo tanto, la ganancia del amplificador de carga va a depender de C_f , ya que E y ΔC_1 son variables del sensor que van a depender de la deflexión, y el voltaje de salida va a ser la variable deseada, siendo el valor de C_f el que determine la ganancia del amplificador.

Entonces, de la tabla 3.4 sabemos que por cada milímetro que flexionemos el sensor, la carga de salida aumenta 0.5 nC y el voltaje E es de 3.5 V y queremos que sea de 9 V, si despejamos a C_f de la ecuación anterior, obtenemos un valor de:

$$C_f = \frac{\Delta C_1 \cdot E}{V_{sal}} = \frac{(0.5nF) \cdot (3.5V)}{9V} = 0.194nF \approx 0.22nF$$

Se toma el valor mas cercano al capacitor comercial que es de 0.22 nF.

Ahora para calcular R_1 se propone una frecuencia de corte superior, de 20 kHz, debido al rango de frecuencia de resonancia de los tubos y para que la resistencia no sea de un valor muy grande, ya que el capacitor C_1 es de 0.5nF, entonces se despeja R_1 de la ecuación para la frecuencia de corte superior, resultando:

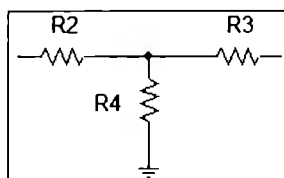
$$R_1 = \frac{1}{f_{cs} C_1} = \frac{1}{(20kHz) \cdot (0.5nF)} = 100k\Omega$$

Ahora sólo resta calcular la resistencia R_f la cual la podemos despejar de la ecuación de frecuencia de corte inferior:

$$R_f = \frac{1}{f_{ci} C_f} = \frac{1}{(10Hz) \cdot (0.22nF)} = 454.55M\Omega \approx 500M\Omega$$

Se escogió una frecuencia de 10 Hz ya que la frecuencia de resonancia del tubo puede ser de valores bajos de frecuencia. Al redondear el valor de la resistencia a 500MΩ la frecuencia de corte baja a los 9.1 Hz lo cual no afecta, sin embargo, lo que si afecta es el valor tan grande de R_f ya que valores muy grandes de resistencias resultan menos estables, por lo que en vez de usar una resistencia de 500MΩ se va a utilizar un arreglo de resistencias como el mostrado en la figura 3.13

Figura 3.13 Arreglo de resistencias.



Por medio del arreglo de resistencias mostrado en la figura 3.13 se puede obtener un valor de resistencia mayor por medio de la siguiente expresión:

$$R_f = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}$$

Proponiendo los valores:

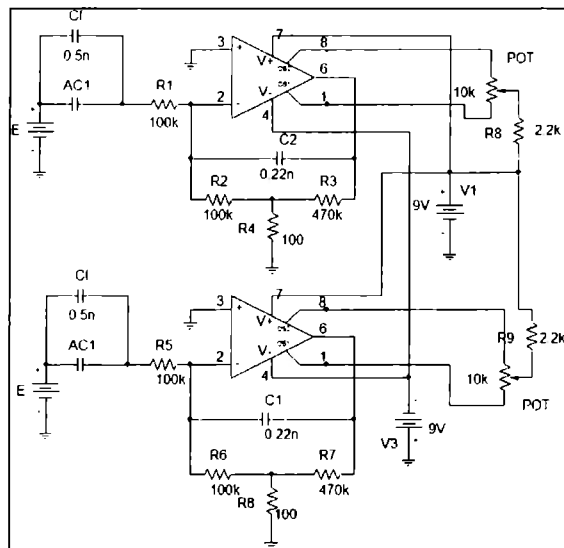
- $R_3 = 470 \text{ k}\Omega$
- $R_4 = 100 \text{ }\Omega$

Despejamos R_2 :

$$R_2 = \frac{R_f - R_3}{\left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right)} = \frac{500 \text{ M}\Omega - 470 \text{ k}\Omega}{\left(1 + \frac{470 \text{ k}\Omega}{100 \text{ }\Omega}\right)} = 106.26 \text{ k}\Omega \approx 100 \text{ k}\Omega$$

Ya con todos los valores calculados el circuito completo quedaría como el mostrado en la figura 3.14

Figura 3.14 Diagrama eléctrico de los amplificadores de carga



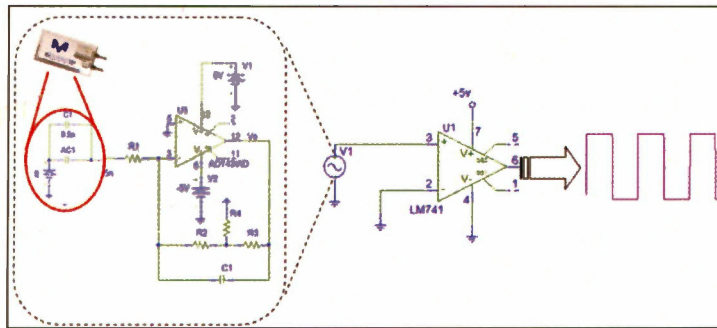
La figura 3.14 muestra la conexión de ambos sensores con su respectivo amplificador de carga, y con el circuito de control de offset que va conectado a los pines 1 y 5 del integrado, ya que se escogió el amplificador operacional de bajo ruido TL071.

3.2.2 Detector de cruce por cero

El detector de cruce por cero a diferencia del amplificador de carga es mucho más fácil de diseñar ya que no requiere de componentes, mas que el amplificador operacional, por lo que se utilizará el TL071.

La salida del amplificador de carga se conectará a la entrada de detector de cruce por cero como lo muestra la figura 3.15.

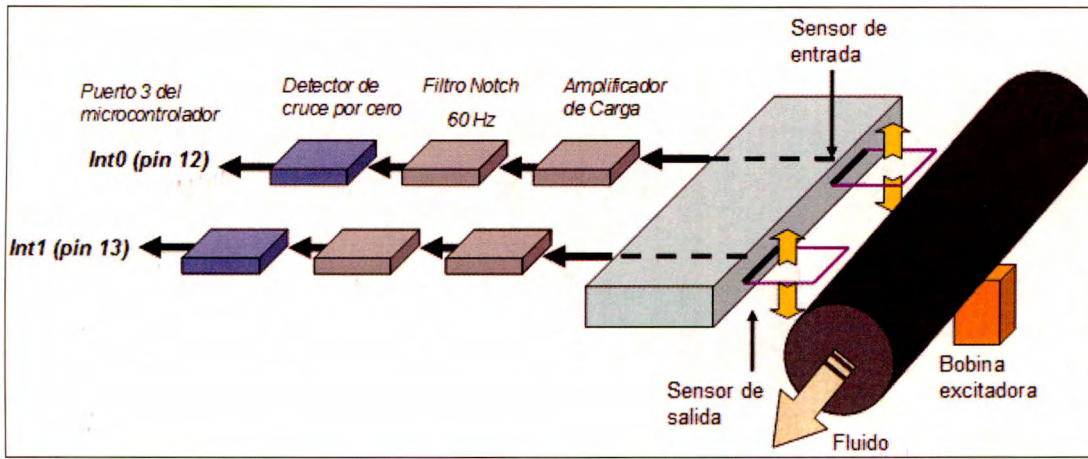
Figura 3.15 Diagrama eléctrico del detector de cruce por cero.



Como se puede apreciar en la figura 3.15 el detector va alimentado por una fuente de 5 V en la alimentación positiva mientras que la alimentación negativa va a tierra, esto con el fin de que la salida sea una señal lógica (1 y 0), para que pueda ser conectado a las entradas de interrupción externa del microcontrolador, la salida del detector será de 5 V permanentemente hasta el instante de que los sensores sean flexionados por la vibración del tubo, en ese momento la señales de los amplificadores de carga van a cruzar por cero cada cierto periodo y existirá un desfase entre las señales de los sensores, éste desfase (tiempo) será registrado por el microcontrolador y se procesará junto con los demás datos del tubo para dar el caudal másico que pasa por el tubo.

Cada que el microcontrolador ve un 0 en los pines 12 o 13, éste llama a la interrupción externa 0 o 1 respectivamente, lo que hace que cada periodo de oscilación del tubo detectado por los sensores va a mandar un 0 al microcontrolador, éste proceso se puede apreciar en el diagrama de bloques de la figura 3.16

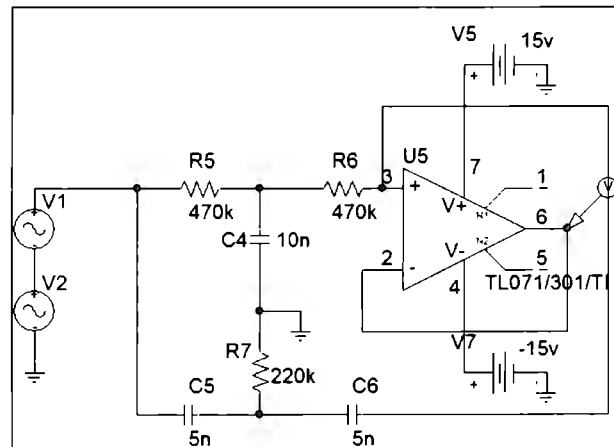
Figura 3.16 Diagrama del proceso de adquisición de la vibración del tubo.



3.2.3 Filtro Notch

Para fines de eliminar el ruido de línea, se introdujo un filtro notch de 60 Hz (figura 3.17), a la salida del amplificador de carga.

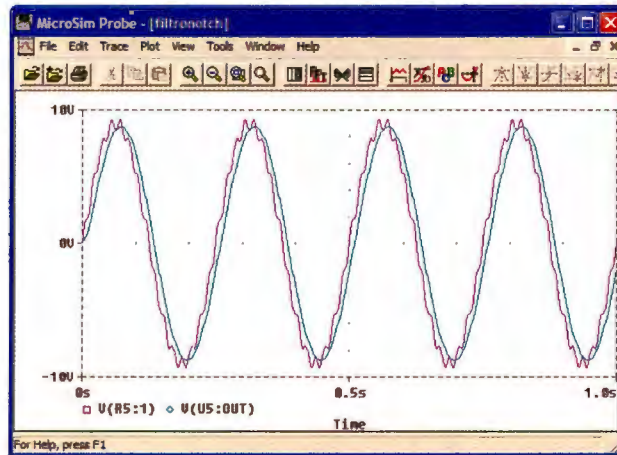
Figura 3.17 Circuito eléctrico del filtro notch



La figura 3.17 muestra el circuito eléctrico simulado, utilizando el software PSpice, en el cual se puso una fuente V1 de 9 volts de amplitud y 4 Hz de frecuencia para simular la salida de los amplificadores de carga. En serie con la fuente V1, se puso otra V2 con 0.5 volts de amplitud y frecuencia de 60Hz, para que se sume con la fuente V1 simulando ruido de línea.

La salida y la entrada al filtro se graficaron y los resultados se muestran en la figura 3.18.

Figura 3.18 Simulación de la salida y entrada del filtro notch.

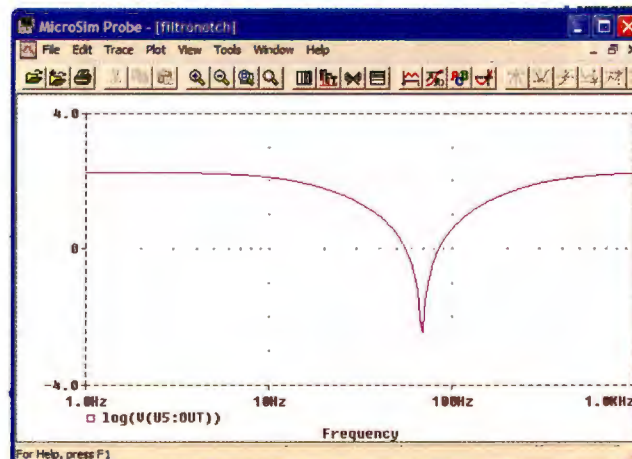


En la figura anterior se puede observar en color morado la señal de entrada (señal ruidosa), y la señal de salida de color azul.

Claramente se puede observar como la señal de 60 Hz fue eliminada por completo.

En la figura 3.19 se puede observar la respuesta en frecuencia del filtro notch, donde se puede ver que efectivamente tiene una atenuación de -3dB a los 60 Hz. Siendo más precisos, la mayor atenuación (-3dB) se encuentra a los 64 Hz, mientras que a los 60 Hz tiene una atenuación de -1.8 dB, suficiente para eliminar el ruido de la línea.

Figura 3.19 Respuesta en frecuencia del filtro notch



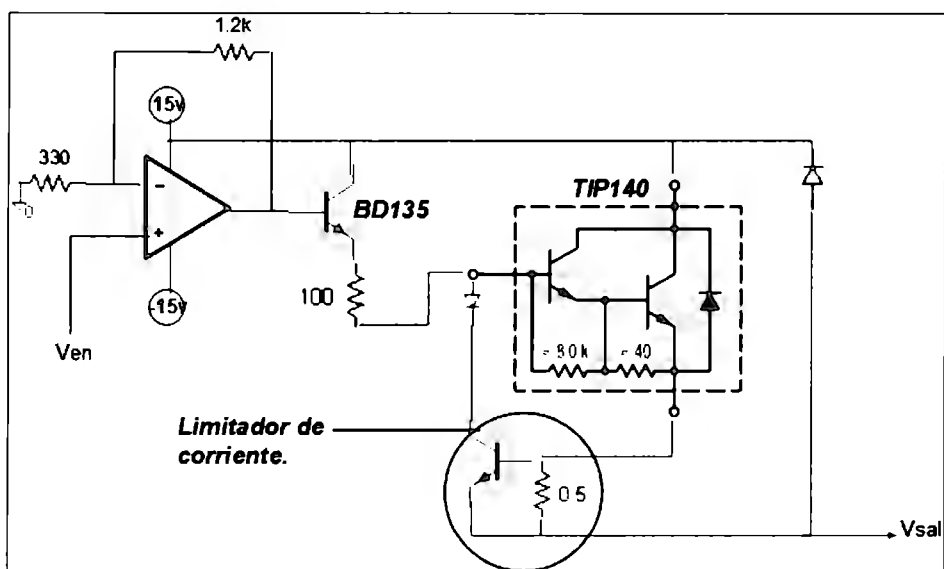
3.2.4 Etapa de potencia

Para lograr excitar al electroimán (bobina excitadora), que requiere un voltaje de 15 Volts y una corriente de 1.2 Amperes, fue necesario utilizar una etapa de potencia para poder utilizar la salida de un pin del microcontrolador (P2.0) que entrega 5 Volts y 10 μ A.

La etapa de potencia cuenta a la entrada, con un amplificador con ganancia de 3 para llegar a los 15 Volts, y posteriormente una configuración Darlington entre un transistor BD135 y un TIP140 para lograr llegar a los parámetros nominales del electroimán.

La figura 3.20 muestra el diagrama eléctrico de las conexiones entre los componentes.

Figura 3.20 Diagrama electrónico de la etapa de potencia



La figura muestra los elementos usados para la etapa de potencia, dentro de los cuales existe un transistor 2N3904 que actúa como limitador de corriente.

Cuando la corriente que circula por el emisor del TIP140 es mayor a la corriente deseada (1.2A), entonces se debe activar el mecanismo, que en este caso es cuando el voltaje en la resistencia de 0.5 Ω sobre pasa la barrera de 0.7V del transistor, y comienza a circular corriente por el colector del 2N3904, limitando así la salida del transistor TIP140.

Para calcular el valor de la resistencia que va de la base al emisor del limitador (2N3904), se realiza con ley de Ohm.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{0.7V}{1.2A} = 0.58\Omega \approx 0.5\Omega$$

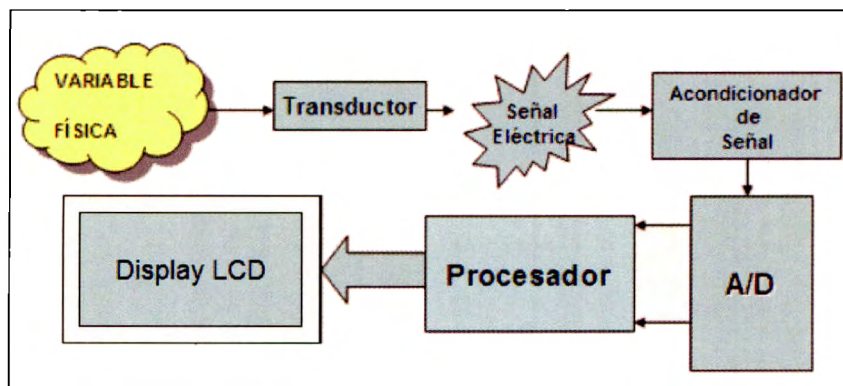
Como el valor de la resistencia no es un valor comercial, entonces se decidió truncar el valor de la resistencia al primer decimal, para de esta forma lograr obtenerlo de una combinación en paralelo de dos resistencias de 1 Ω . Así, de esta forma se logra mantener la corriente de salida deseada para no dañar ningún componente.

3.3 Electrónica Digital

3.3.1 Interfaz

El proceso general para la adquisición de una señal analógica se puede apreciar en el diagrama de bloques en la figura 3.21.

Figura 3.21 Proceso general para adquirir una señal analógica



Dentro del proceso mostrado por la figura anterior, ya se han desarrollado los primeros puntos, que es la adquisición de la variable física que en nuestro caso es la vibración del tubo, por medio de nuestro transductor que es un sensor de vibración piezoeléctrico. Posteriormente, fue convertido en una señal eléctrica (voltaje) por medio del amplificador de carga, después fue acondicionada por medio de un filtro notch de 60 Hz para eliminar el ruido y posteriormente acondicionada por medio de un detector de cruce por cero para volverla una señal TTL para que pueda ser interpretada por el microcontrolador. En nuestro caso no hubo necesidad de utilizar un convertidor digital analógico como tal, ya que el detector de cruce por cero actúa como uno.

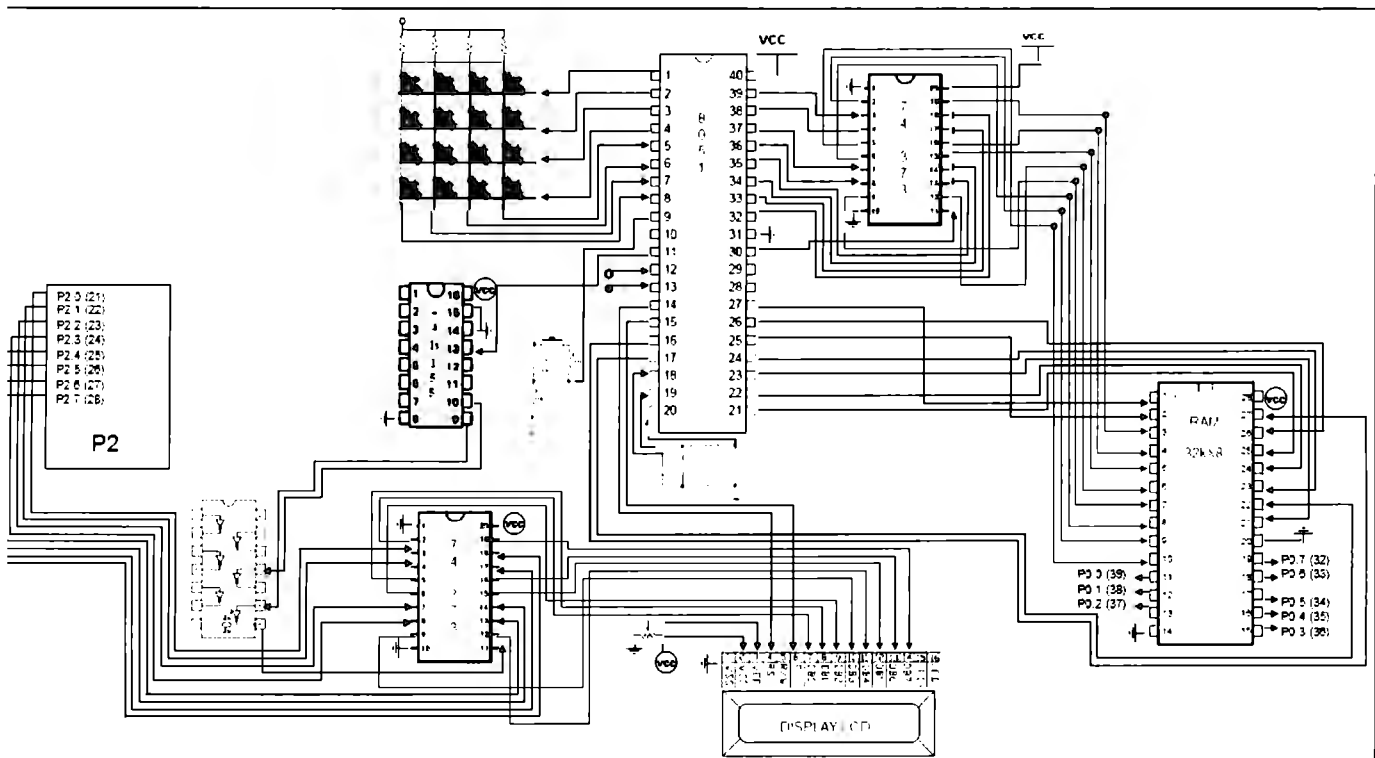
Para el diseño de la interfaz digital, se eligieron los siguientes elementos:

- Microcontrolador AT89c51: es el cerebro de la interfaz, encargado de realizar las operaciones aritméticas y lógicas del proceso de medición.
- Memoria RAM (HM62256ALP): almacena los tiempos registrados entre el desfase de los sensores.
- Teclado matricial 4x4: periférico de entrada encargado de recibir los datos del usuario.
- Pantalla de caracteres LCD (16x4): periférico de salida encargado de mostrar mensajes al usuario para indicarle la operación que debe realizar así como para mostrarle los resultados.
- Latch de 8 entradas (74ls373): Para poder utilizar el puerto 0 como entrada y salida para lectura y escritura de memoria RAM.
- Inversor lógico (74ls04)
- Decodificador (74ls155)

Estos dispositivos fueron elegidos ya que cumplían con los requisitos mínimos para el procesamiento de las señales.

A continuación se muestra la figura 3.22 que muestra todo el mapa de conexiones pin a pin de la interfaz digital, con todos los componentes mencionados anteriormente.

Figura 3.22 Diagrama de conexiones de la interfaz digital



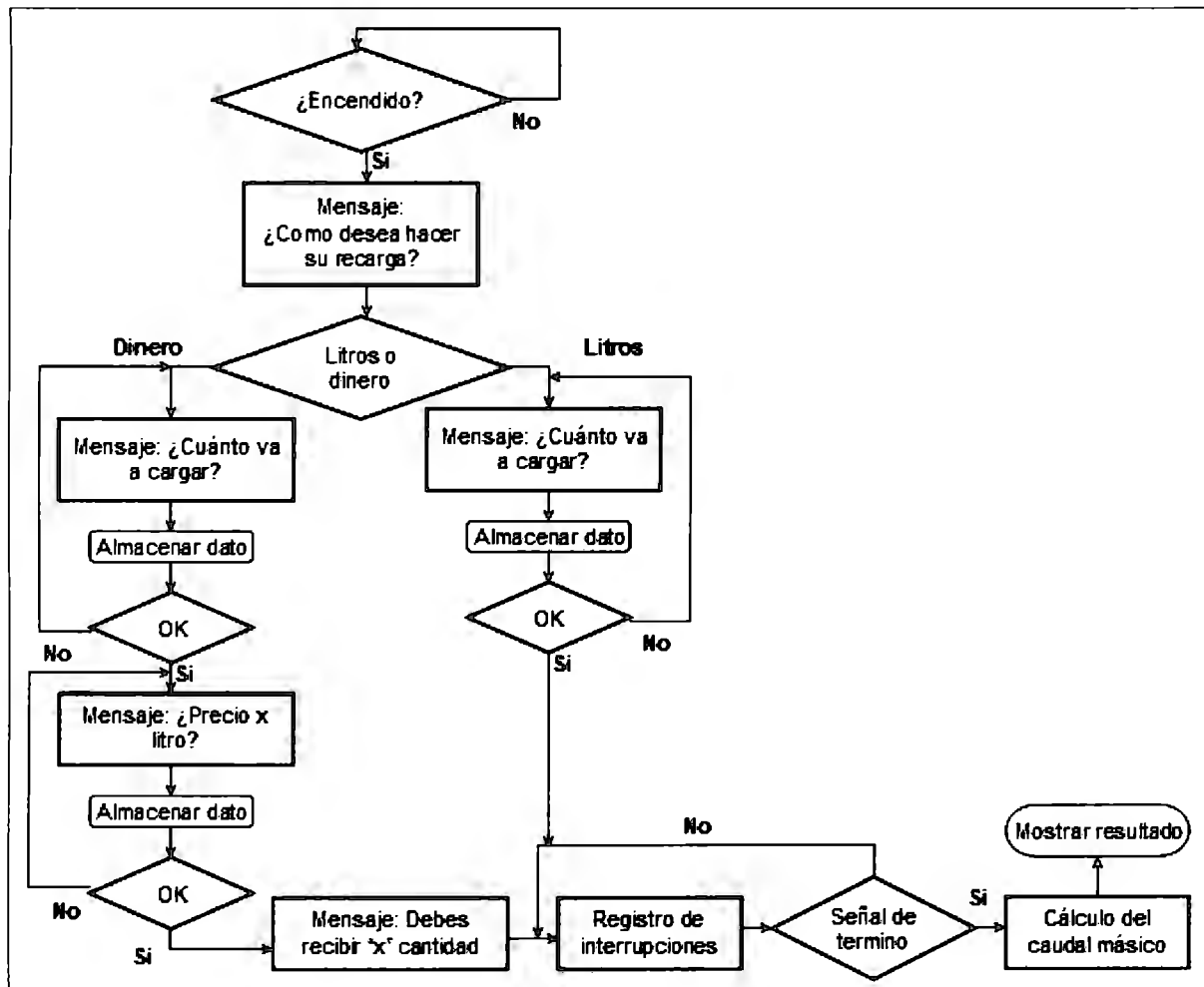
La figura 3.23 describe en forma de diagrama de flujo, el algoritmo utilizado para llevar a cabo la medición del caudal másico.

La descripción paso a paso se muestra a continuación:

- a) Espera a que se encienda el dispositivo
- b) Una vez encendido, despliega el mensaje: “Bienvenido, como va a ser tu carga? 1. \$ 2. ltrs”
- c) Si se escoge la opción 1, despliega el mensaje: “Cuanto vas a cargar?”. Registra los valores que el usuario vaya introduciendo hasta que presione la tecla “ok”. Se deben introducir forzosamente 3 dígitos, si la carga que se desea hacer es menor a 100, entonces se debe introducir el 0 antes del número. Ejemplo 078.
- d) Una vez presionado “ok”, se despliega el siguiente mensaje: “Precio x litro?”. Registra los valores que el usuario vaya introduciendo hasta que presione la tecla “ok”. Se deben introducir forzosamente 3 dígitos.

- e) Una vez presionada la tecla “ok”, se realiza la operación para calcular la cantidad de gasolina que se debe recibir y se despliega el mensaje: “Debes recibir: <cantidad calculada>”
- f) Una vez desplegado el mensaje el sistema se queda en espera, para recibir las interrupciones.
- g) Una vez que fueron detectadas todas las interrupciones el sistema debe mandar una señal de paro, que en este caso como no se incluyo ningún sensor para hacerlo, se debe hacer manual por medio de una tecla.
- h) Cuando se recibe la señal, el sistema comienza a realizar el cálculo del caudal másico.
- i) Una vez terminado el cálculo, se despliega el valor.
- j) Fin del proceso.

Figura 3.23 Diagrama de flujo del proceso de medición del caudal másico



3.4 Diagramas del prototipo.

En esta sección se muestran modelos 3D de los prototipos del dispositivo y las tarjetas de islas perforadas que contienen los elementos electrónicos.

Hay dos tarjetas:

❖ **Tarjeta 1: Contiene todos los elementos de la electrónica analógica.**

- **Fuente DC ± 15 V.**
 - 2 Transformadores reductores (127V-18V).
 - Puente de diodos (2A), como rectificador de onda completa.
 - Capacitor electrolítico (4700 μ F), conversión a corriente directa.
 - Reguladores de voltaje: LM7815 y LM7915.

- **Amplificador de carga**
 - Amplificador Operacional: TL071
 - Capacitor 0.22nF
 - Resistencias:
 - 100 K Ω (2)
 - 470 K Ω
 - 100 Ω
 - Alimentación: \pm 15V

- **Filtro Notch**
 - Amplificador Operacional: TL071
 - Capacitores:
 - 10nF
 - 0.47nF (2)
 - Resistencias:
 - 470 K Ω (2)
 - 220 K Ω
 - Frecuencia central: 60 Hz
 - Alimentación: ± 15 V

- **Etapas de potencia**
 - Amplificador Operacional: TL071
 - Transistores:
 - BD135
 - TIP140
 - 2N3904
 - Resistencias:
 - 100 Ω
 - 330 Ω

❖ **Tarjeta 2: Contiene los elementos de la electrónica digital (interfaz)**

- **Microcontrolador**
 - AT89c51
- **Detector de cruce por cero**
 - Comparador: LM393
 - Alimentación: 5V, GND
- **Latch transparente (2)**
 - 8 bits
 - 3 estados
- **Memoria RAM Estática (32 KB)**
 - HM62256ALP
- **Decodificador dual 1 a 4**
 - 74LS155
- **Inversor lógico cuádruple**
 - 74LS04
- **Oscilador de Cuarzo**
 - 12 MHz
- **Regulador de voltaje**
 - LM7805
- **Pantalla LCD**
 - 16x4 caracteres
- **Regulador de contraste de la pantalla**
 - Potenciómetro de 10 K Ω
- **Switch ON/OFF**
 - Mini switch 2 posiciones.

❖ **Base de los sensores**

- Base de madera
- Sensores Piezoeléctricos (2)

❖ **Base de la bobina excitadora**

- Base de madera
- Electroimán

❖ **Base del tubo**

- Base de madera
- Tubo de caucho

Figura 3.24 Esquema 3D de la tarjeta 1.

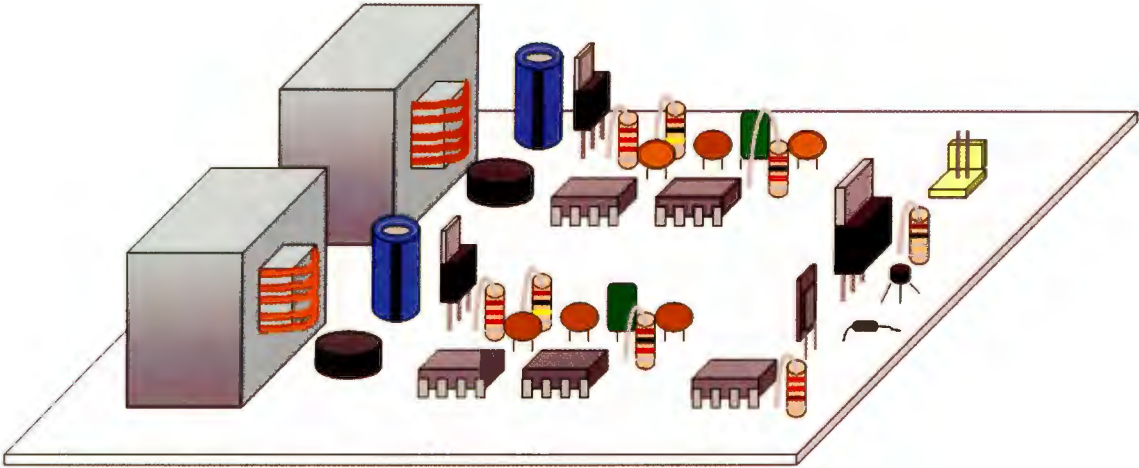


Figura 3.25 Esquema 3D de la tarjeta 1, con nombre de los componentes.

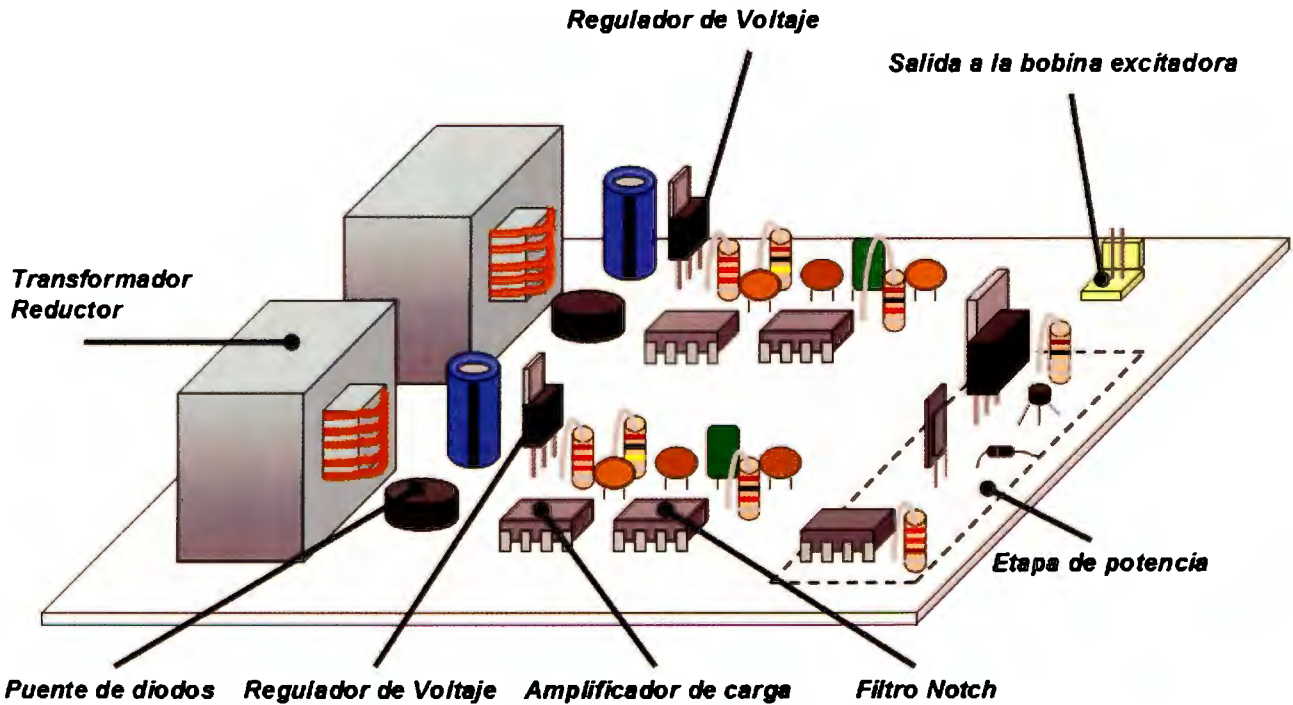


Figura 3.26 Esquema 3D de la tarjeta 2

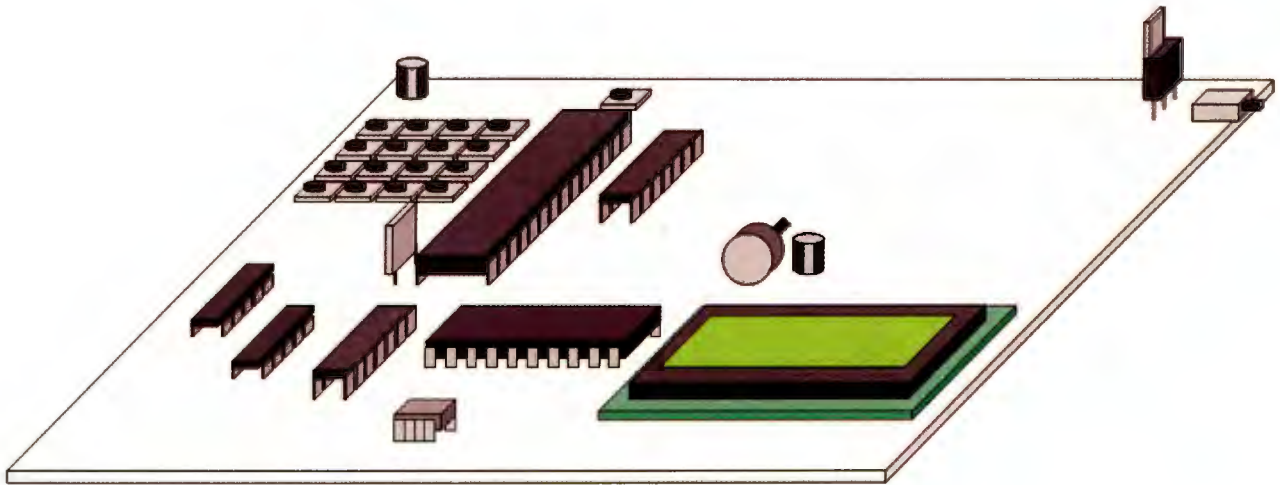


Figura 3.27 Esquema 3D de la tarjeta 2, con nombre de los componentes.

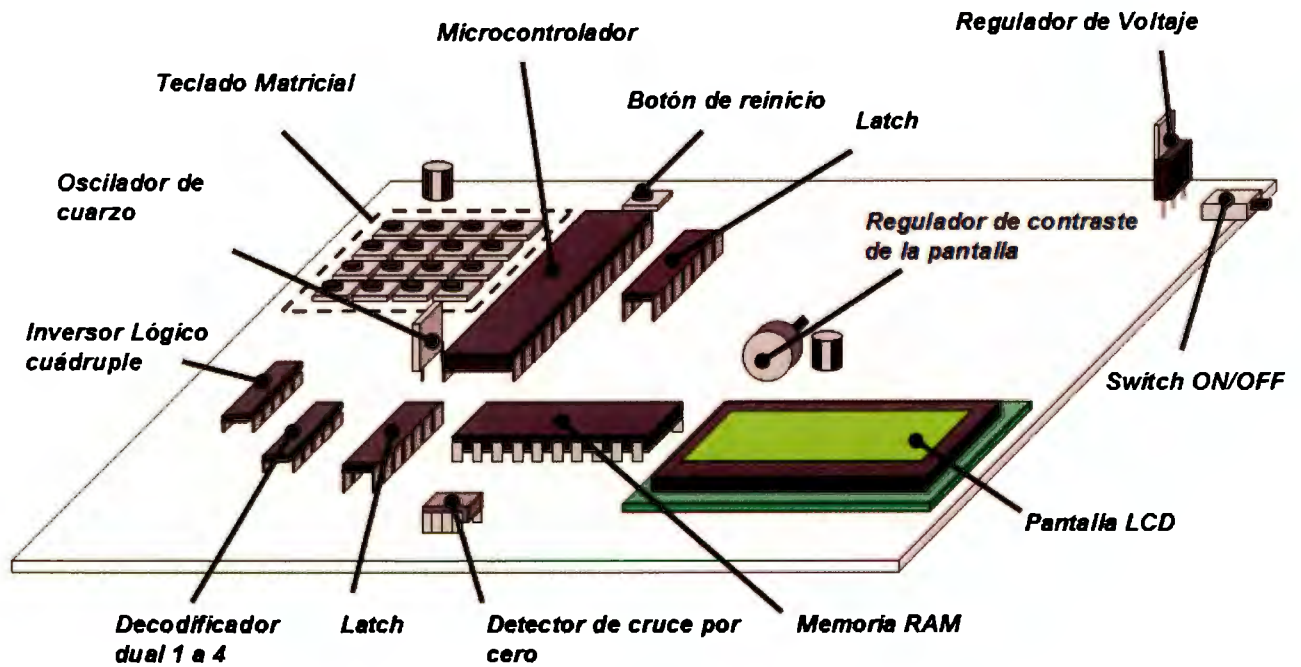


Figura 3.28 Esquema 3D del medidor Coriolis

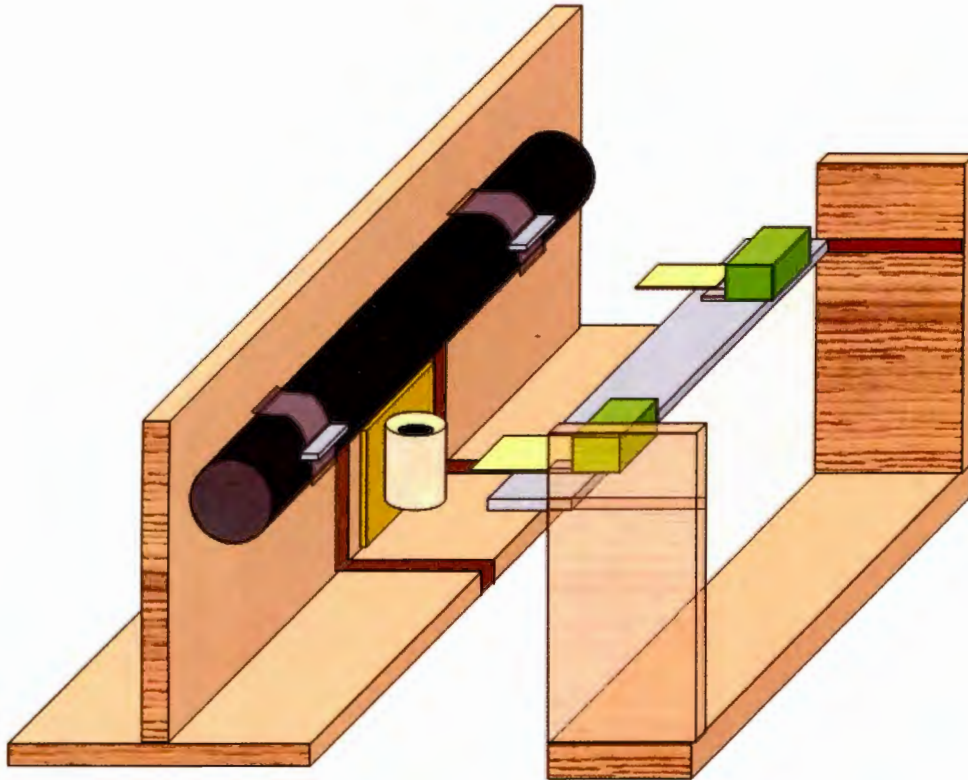


Figura 3.29 Esquema 3D de la base de los sensores.

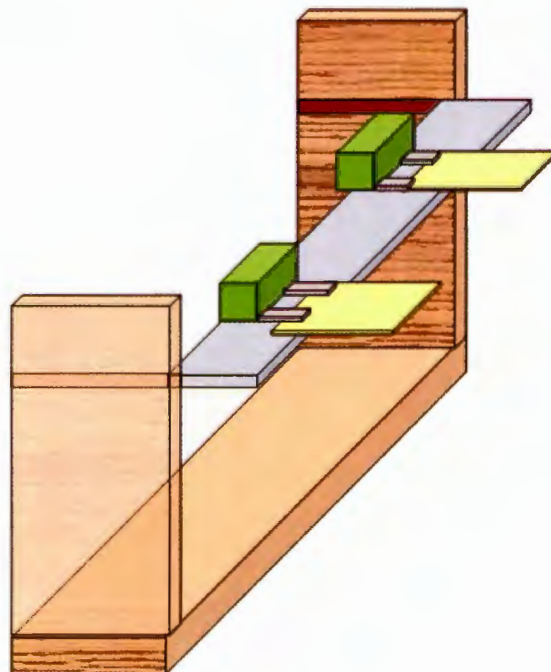
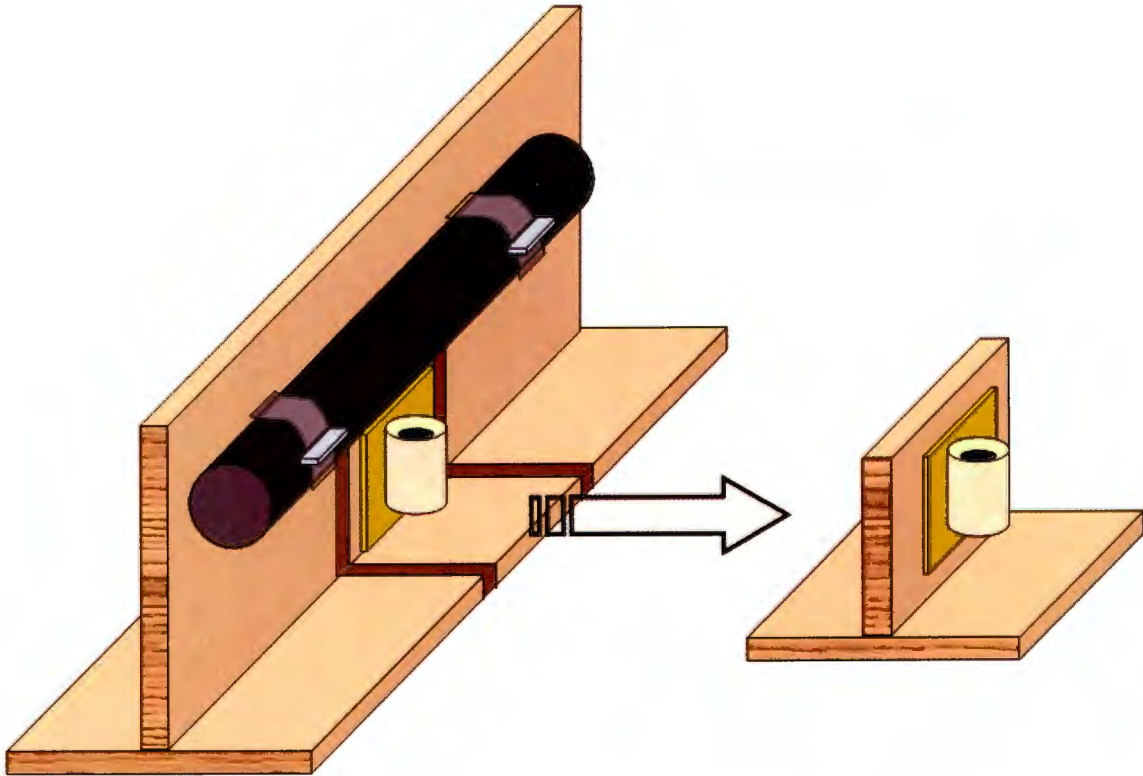
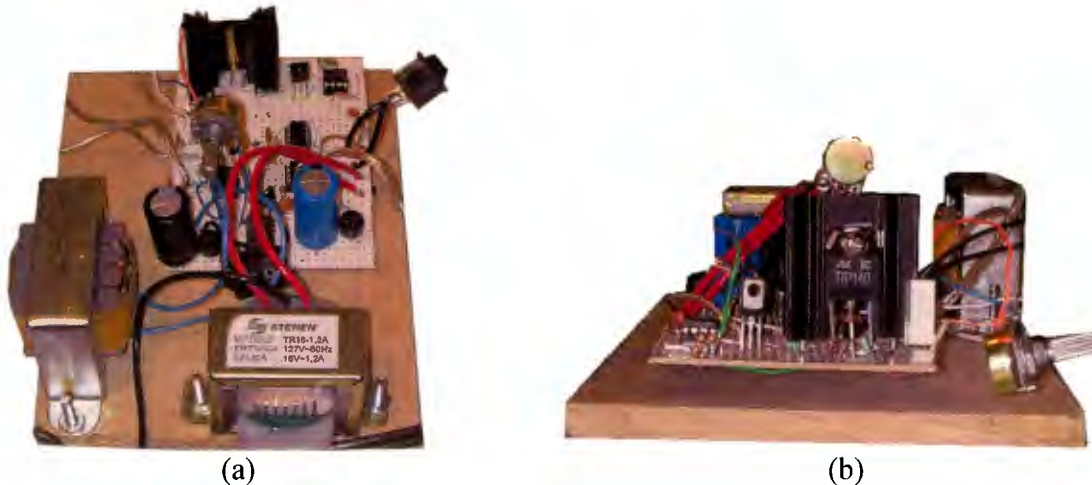


Figura 3.30 Esquema 3D de la base de la bobina excitadora y la base del tubo.



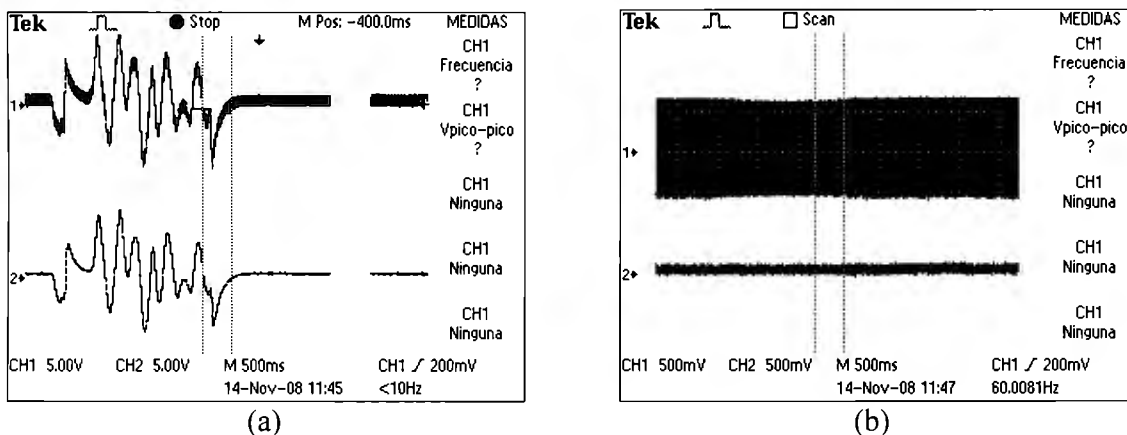
4. Pruebas y Resultados

Figura 4.1 Tarjeta 1: Electrónica Analógica.



La figura 4.1 muestra la imagen de la tarjeta 1, que contiene todos los componentes de la electrónica analógica, desde la reducción del voltaje por medio de los transformadores, rectificación de onda completa y su paso a corriente directa. También contiene los amplificadores de carga, los filtros Notch y la etapa de potencia para la salida hacia el electroimán.

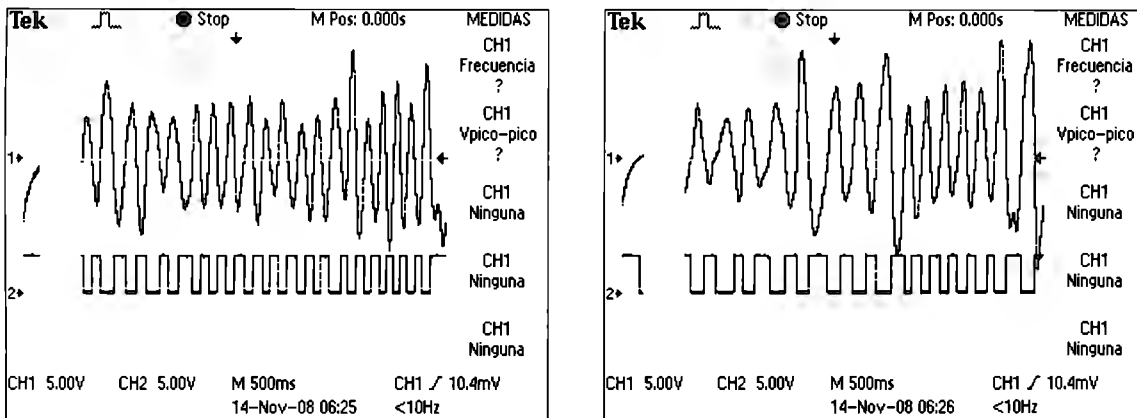
Figura 4.2 Señales de salida del Amplificador de carga y del filtro Notch.



Como se puede apreciar en la figura 4.2a, donde se muestra la señal de salida del amplificador de carga, por el canal 1 del osciloscopio (parte superior), el amplificador de carga funciona muy bien a la respuesta de las vibraciones, sin embargo es una señal muy ruidosa, lo que le da un aspecto grueso. El ruido es proveniente de la línea, por lo tanto se requirió un filtro rechaza-banda (Notch) con frecuencia central en los 60Hz, y el resultado se puede apreciar en la misma figura (4.2a, parte baja) con una señal de salida más delgada gracias a que se eliminó la componente de frecuencia de la línea. En la figura 4.2b se

amplió la escala vertical del osciloscopio para poder apreciar mejor los efectos del filtro. La señal de la parte superior (Ch1) es la señal ruidosa y se puede ver que la amplitud del ruido sobrepasa 1 V_{p-p}, mientras que la señal ya filtrada difícilmente alcanza los 250 mV_{p-p}.

Figura 4.3 Señales de salida del filtro y del detector de cruce por cero.

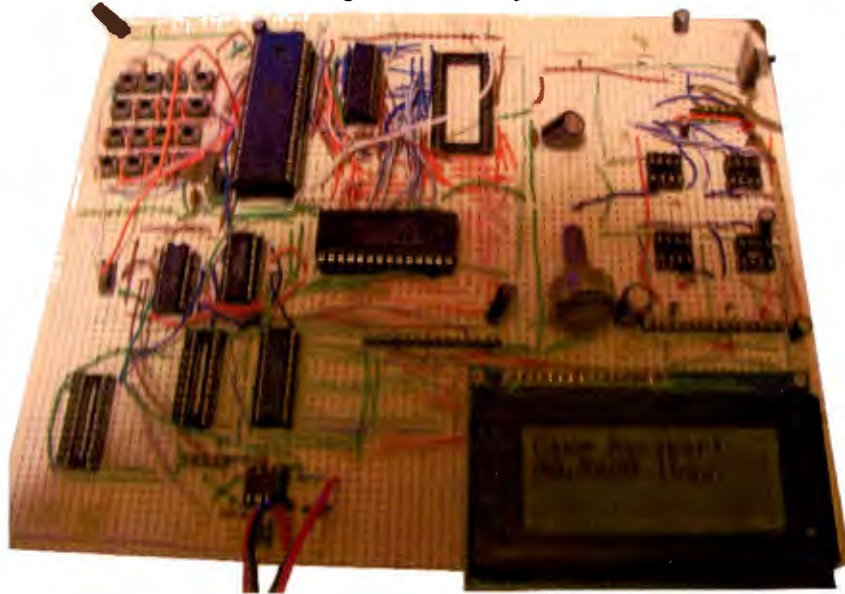


La figura 4.3a, muestra, en la parte superior la salida del filtro Notch, conectada a la entrada del detector. La señal de la parte inferior de la misma figura (4.3a) no es propiamente la salida del detector de cruce por cero, sino que la salida del detector fue pasada por un inversor lógico, para lograr mantener la salida normalmente en alto y cuando la señal de entrada (salida del filtro) cruce por cero, genere un pulso negativo, que conectado al pin de interrupción externa del microcontrolador, activará dicha interrupción.

Ambas figuras (4.3a y 4.3b) representan el mismo procedimiento descrito, solamente muestran respectivamente el proceso para el sensor 1 y 2.

Este proceso es, básicamente, un proceso muy simple de digitalización de una señal analógica. Ya que los amplificadores de carga son capaces de “leer” a los sensores y entregar una señal de voltaje, el filtro es sólo un intermediario para acondicionar la señal. Por último el detector de cruce por cero, vuelve a la señal, una señal TTL, capaz de ser interpretada por el microcontrolador.

Figura 4.4 Interfaz



La figura 4.4 muestra la imagen de la interfaz armada y funcionando completamente. En ella se encuentran todos los elementos de la electrónica digital, incluyendo los detectores de cruce por cero.

A continuación en la figura 4.5, se muestran los mensajes desplegados por el sistema a través de la pantalla, en los cuales se puede visualizar el proceso de adquisición de datos introducidos por el usuario.

Todos los datos que se introducen se utilizan para calcular la cantidad de gasolina que se debe suministrar, para posteriormente compararla con la calculada por el sistema.

Figura 4.5 Mensajes de guía al usuario.





Como se puede apreciar en los mensajes, el sistema va preguntando al usuario la información necesaria, para realizar el cálculo. La interfaz después de desplegar por la pantalla la cantidad que debe se recibida, queda en espera de las señales de interrupción para calcular el tiempo entre las señales y almacenarlo en memoria RAM, para posteriormente sumarlas y multiplicarlas por las constantes del tubo y así obtener el resultado.

Figura 4.6 Sensores, bobina excitadora y tubo con bases.

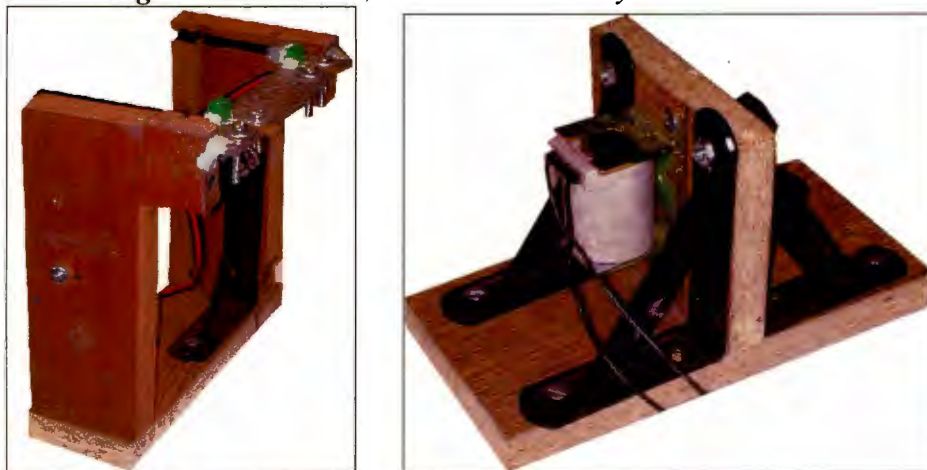
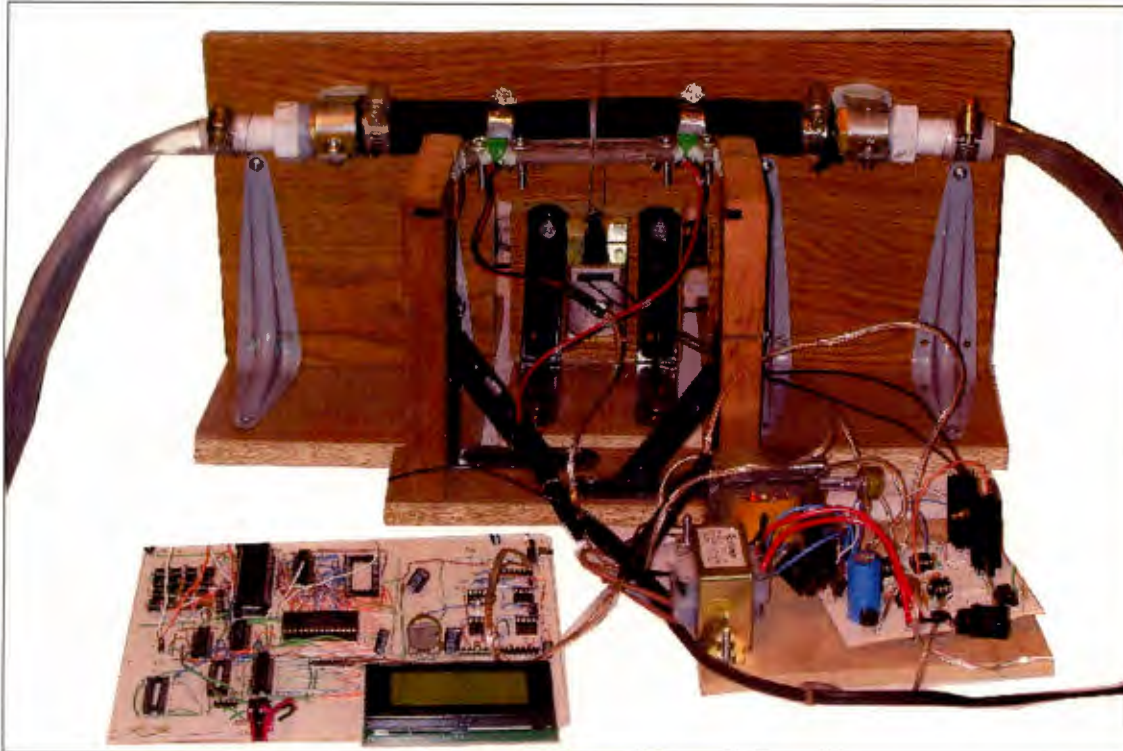


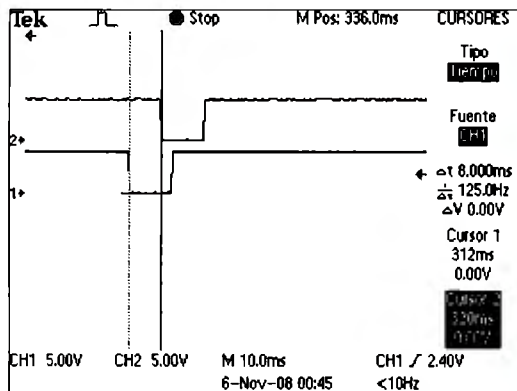
Figura 4.7 Medidor Coriolis con todos los componentes integrados y funcionando.



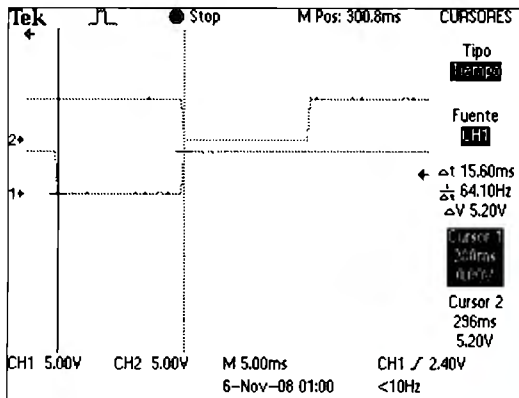
La figura 4.6 muestra las bases con sus respectivos componentes, de forma individual, mientras que la figura 4.7 muestra todos los componentes integrados, incluyendo la tarjeta 1, tarjeta 2, bobina excitadora, tubo y sensores con sus respectivas bases.

El sistema ya funciona completamente detectando de forma adecuada los tiempos entre interrupciones, para lo cual se realizaron pruebas con pulsos desfasados, y los resultados se muestran en la figura 4.8

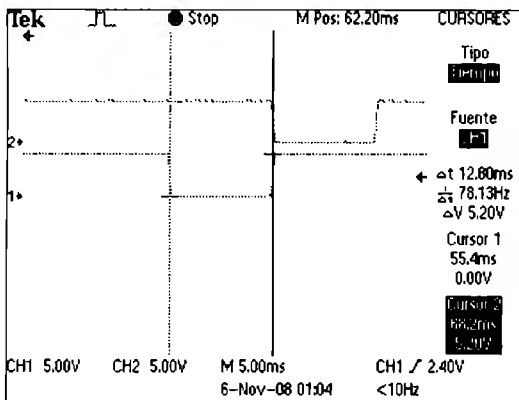
Figura 4.8 Pruebas de desfasamiento.



(a)



(b)



(c)

La figura 4.8 muestra el tiempo de desfase visto por el osciloscopio y el visto por el sistema.

El error en este caso, depende mucho de la medición que se haga con el osciloscopio, por lo tanto el error es debido al error humano de medición y no tanto por que el sistema no lo detecte a tiempo. Por lo tanto, lo importante es notar como los tiempos del sistema concuerdan con los vistos por el osciloscopio.

El programa que se hizo para desplegar los tiempos es tomar la parte alta (th_0) y baja (tl_0) del timer 0, y cada uno pasarlo a decimal para desplegarlo. Entonces la primera cifra que aparece en la pantalla es el valor decimal de la parte alta del timer, y separado por un espacio se muestra después el valor de la parte baja del timer. Por lo tanto se pasa el primer y segundo valor desplegados a su equivalente decimal para poder tomarlo como un numero completote 16 bits.

Para la figura 4.8a

$$\begin{aligned}
 &31_d \ 123_d \\
 &1F_h \ 7B_h = 8059 \\
 &8059 * 1\mu s = 8.059 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

$$\epsilon_r = \frac{8.059 \text{ ms} - 8 \text{ ms}}{8 \text{ ms}} \times 100\% = 0.7375\%$$

Como podemos ver, el error es del 0.74 %.

$$\begin{aligned} \text{Para la figura 4.8b} \quad & 60_d \quad 102_d \\ & 3C_h \quad 66_h = 15462 \\ & 15462 * 1\mu s = 15.462ms \end{aligned}$$

$$\varepsilon_r = \frac{15.462ms - 15.6ms}{15.6ms} \times 100\% = -0.8846\%$$

$$\begin{aligned} \text{Para la figura 4.8c} \quad & 49_d \quad 236_d \\ & 31_h \quad EE_h = 12782 \\ & 15462 * 1\mu s = 12.782ms \end{aligned}$$

$$\varepsilon_r = \frac{12.782ms - 12.8ms}{12.8ms} \times 100\% = -0.1406\%$$

Como podemos ver el error da negativo ya que las mediciones con el osciloscopio no son precisas, pero sirven como referencia para saber que el proceso de detección del desfase funciona bien.

Por ultimo, para poder calcular el caudal másico (Q), ya tenemos todos los datos necesarios:

$$Q = \frac{K_s L}{8r^2} \Delta t$$

Donde:

$$K_s = 300 \text{ PSI}$$

$$L = 0.2 \text{ m}$$

$$r = 0.01905 \text{ m}$$

Δt = Es calculado como en la figura 4.8.

Sustituyendo valores:

K_s de be estar dada en Pa $\left[\frac{N}{m^2} \right]$ y sabemos que:

$$300 \text{ PSI} = 2.07 \text{ MPa}$$

Entonces:

$$Q = \frac{2.07M \left[\frac{N}{m^2} \right] \cdot 0.2[m]}{8 \cdot (0.0195[m])^2} \Delta t$$

$$Q = \frac{414 \times 10^3 \left[\frac{N}{m} \right]}{3.042 \times 10^{-3} [m^2]} \Delta t$$

$$Q = 136.095 \times 10^6 \left[\frac{N}{m^3} \right] \Delta t$$

$$Q = 136.095 \times 10^6 \left[\frac{Kg \cdot m}{\frac{s^2}{m^3}} \right] \Delta t$$

$$Q = 136.095 \times 10^6 \Delta t \left[\frac{Kg}{s \cdot m^2} \right]$$

En este punto no encontramos con la limitación de utilizar un microcontrolador que sólo maneja números enteros. Al no poder utilizar decimales los números se vuelven más grandes mientras mayor precisión deseamos y como la precisión es un aspecto muy importante para el proyecto, debemos manejar numero muy grandes que para un microcontrolador de 8 bits se vuelve bastante complejo.

Pruebas de densidad

Figura 4.8 Ubicación de los expendios de gasolina.

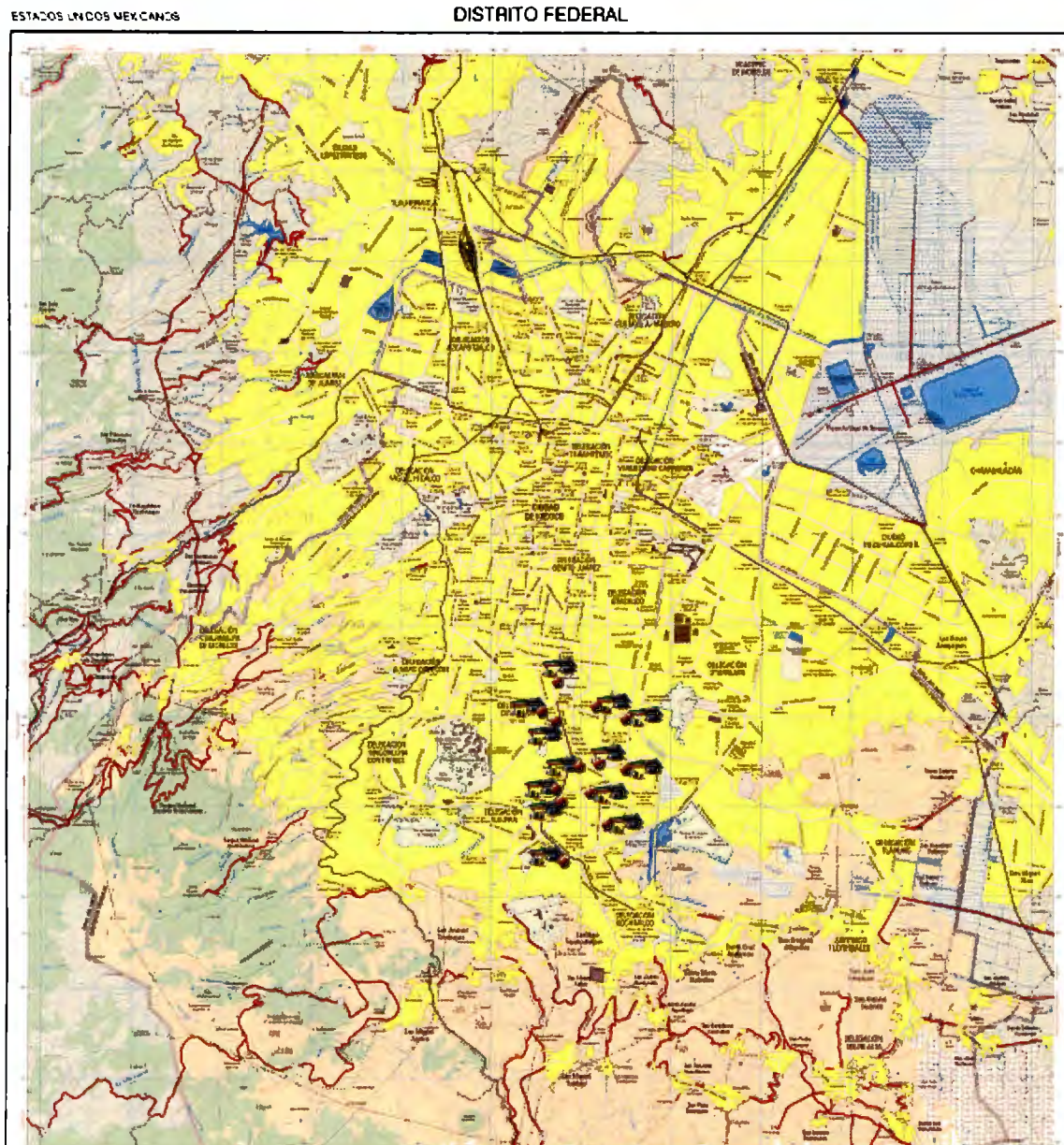


Imagen extraída de la página del INEGI.

La imagen anterior muestra un mapa del Distrito Federal, en la cual se ubicaron los expendios de gasolina de donde se extrajeron las muestras para determinar su densidad. En todos los expendios se pidió la cantidad de 2 litros, y se registraron los valores que dio la máquina expendedora para posteriormente también corroborar en el laboratorio la cantidad que se recibió.

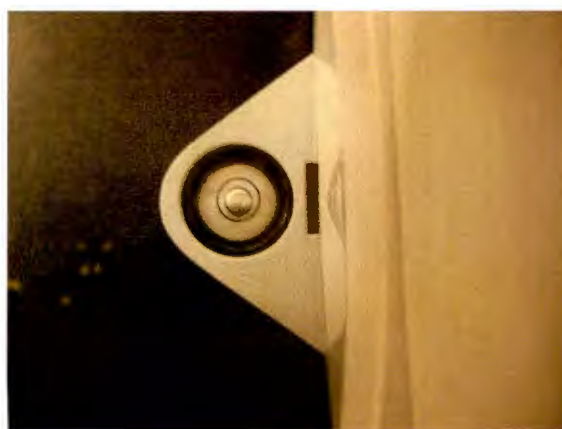
Figura 4.10 *Báscula electrónica de precisión y picnómetro*



Las figuras 4.10a y 410b, muestran los dos instrumentos utilizados para poder determinar la densidad de la gasolina, la báscula electrónica (0.1mg de precisión) y el picnómetro (9.673 ml), respectivamente. El picnómetro cuenta con termómetro y tapadera, para monitorearla temperatura y evitar que hubiese fugas de la gasolina, por evaporación, que pudieran afectar las mediciones.

Antes de comenzar las mediciones, fue necesario calibrar la báscula por medio de un nivel de burbuja, situado en la parte posterior de la báscula, mostrado en la figura 4.11.

Figura 4.11 *Nivel de burbuja*



Para que esté bien calibrado, la burbuja tiene que estar justo en el centro del círculo, como muestra la figura. Para poder obtener resultados exactos y precisos, es necesario que la báscula se encuentre sobre una superficie plana y firme.

Una vez listos los instrumentos, se realizaron las mediciones de las muestras.

Para cada muestra se realizaron tres veces la misma prueba, de esta forma se sacó el promedio y es el valor de densidad que se muestra en la tabla 4.1.

En la misma tabla se muestran otros datos como el porcentaje de variación (% Variación) que es el porcentaje que se desvía la densidad de la muestra, con respecto al valor estándar de 0.73 g/ml según la tabla 4.2.

Otro dato importante de la tabla 4.1 es la columna con los valores del volumen pedido registrado, que es la cantidad que se mostró en la pantalla de las máquinas expendedoras de gasolina. Todas las muestras pedidas fueron de 2 litros, sin embargo el corte no fue exacto y en todos los casos la cantidad marcada fue mayor. En contraparte se encuentra la columna con los valores de volumen medido, que fueron los valores medidos, en el laboratorio, de todas las muestras de 2 litros que se pidieron. Como se puede apreciar la cantidad real medida siempre fue menor a la registrada por las máquinas.

La columna más importante es la última que nos dice el porcentaje de error máximo permitido que tienen las franquicias Pemex, y según la columna de porcentaje faltante en todos los casos el error es pasado, y por mucho

Tabla 4.1 Resultados obtenidos

Muestra	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)	% Variación	Volumen pedido registrado (Lts.)	Volumen medido (Lts.)	% faltante	% Error máximo tolerado
1	24.2	0.7243	0.7759	2.0400	1.8800	7.8431	1.3804
2	25.6	0.7235	0.8920	2.0100	1.9000	5.4726	1.3950
3	25.2	0.7224	1.0351	2.0140	1.8900	6.1569	1.3930
4	23.4	0.7112	2.5815	2.0170	1.9400	3.8176	1.3916
5	23.7	0.7131	2.3125	2.0100	1.8400	8.4577	1.3950
6	23.6	0.7170	1.7743	2.0320	1.9700	3.0512	1.3843
7	23.9	0.7088	2.9073	2.0000	1.9500	2.5000	1.4000
8	24	0.7159	1.9359	2.0100	1.9100	4.9751	1.3950
9	24.3	0.7226	1.0180	2.0200	1.8100	10.3960	1.3901
10	24.4	0.7230	0.9590	2.0170	1.9600	2.8260	1.3916
11	23.8	0.7245	0.7550	2.0170	1.9800	1.8344	1.3916
12	23.8	0.7096	2.8000	2.0440	1.9700	3.6204	1.3785
13	24.8	0.7085	2.9503	2.1950	2.0970	4.4647	1.3112
14	20.6	0.7191	1.4932	2.0300	1.8800	7.3892	1.3852
15	20.3	0.7176	1.6986	2.0100	1.9300	3.9801	1.3950
PROMEDIOS	23.7067	0.7168	1.8075	2.0311	1.9271	5.1172	1.3852

Como se puede apreciar en la última fila de la tabla 4.1, la densidad promedio de las muestras fue de 0.7168 g/ml, que es un 1.8% menor al valor estándar.

La tabla 4.2 fue extraída de un boletín de Measurement Canada, donde especifica la densidad estándar para los diferentes tipos de combustibles, así como el rango en el que puede caer según la época del año.

Tabla 4.2 Densidades de los diferentes combustibles.

TABLE 1: Selection of Volume Correction Factor Table for Some Common Products			
Product Name Note: This list is not exhaustive.	Standard Density (kg/m ³) @ 15°C	Density Range (kg/m ³) @ 15°C	Volume Correction Factor Reference Table
LPGs Propane Butane	510 580	495-520 564-585	ASTM-IP, Table 54
Gasoline Premium Gasoline Clear Gasoline Unleaded Gasoline Low Lead Gas.	730	640-780	API Chapter 11.1, Table 54B
Gasoline: Alcohol Blends (15% alcohol max)	730	653-780	
Aviation Fuels - (Kerosine based) Jet A. A1. Jet Kerosine Turbine Fuel	800	780-840	
Aviation Gasoline	710	654-727	
Diesel Fuels Fuel Oils Stove Oils	840	780-1074 830-900	

Measurement Canada. <http://www.ic.gc.ca>

Para poder realizar la corrección de la densidad respecto a la temperatura se utilizó otra tabla (tabla 4.3) de Measurement Canada donde vienen los coeficientes de corrección para cada temperatura con pasos de 0.1 °C.

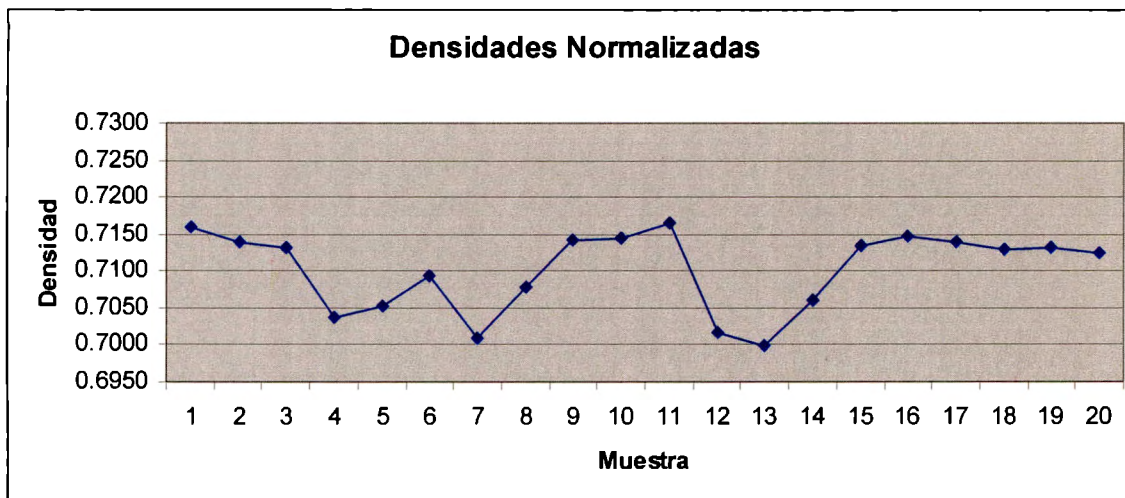
Tomamos como referencia los valores de las tablas de los boletines de Canadá, debido a que no existe esta información para los combustibles de México.

Tabla 4.3 Coeficientes de corrección

VOLUME CORRECTION FACTORS to 15°C / CORRECTION VOLUME À 15°C Density at 15°C = 730 Kg/m ³ / MASSE VOLUMIQUE À 15°C = 730 kg/m ³										
For use with ALL GRADES of GASOLINE and GASOLINE ETHANOL BLENDS / Pour l'usage avec toutes les catégories d'essence et avec les mélange d'essence et d'éthanol (15% Max. Ethanol - Refer Bulletin V-18 / 15% Max. éthanol - Référez-vous Bulletin V-18)										
Temp.	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
19.00	0.9950	0.9949	0.9948	0.9946	0.9945	0.9944	0.9943	0.9941	0.9940	0.9938
20.00	0.9937	0.9936	0.9935	0.9933	0.9932	0.9931	0.9930	0.9929	0.9927	0.9926
21.00	0.9925	0.9924	0.9922	0.9921	0.9919	0.9918	0.9917	0.9916	0.9914	0.9913
22.00	0.9912	0.9911	0.9910	0.9908	0.9907	0.9906	0.9905	0.9904	0.9902	0.9901
23.00	0.9900	0.9899	0.9897	0.9896	0.9894	0.9893	0.9892	0.9891	0.9889	0.9888
24.00	0.9887	0.9886	0.9885	0.9883	0.9882	0.9881	0.9880	0.9878	0.9877	0.9875
25.00	0.9874	0.9873	0.9872	0.9870	0.9869	0.9868	0.9867	0.9866	0.9864	0.9863
26.00	0.9862	0.9861	0.9860	0.9858	0.9857	0.9856	0.9855	0.9853	0.9852	0.9850
27.00	0.9849	0.9848	0.9847	0.9845	0.9844	0.9843	0.9843	0.9841	0.9838	0.9838
28.00	0.9837	0.9836	0.9834	0.9833	0.9831	0.9830	0.9829	0.9828	0.9826	0.9825
29.00	0.9824	0.9823	0.9822	0.9820	0.9819	0.9818	0.9817	0.9815	0.9814	0.9812
30.00	0.9811									

Measurement Canada. [http://www.ic.gc.ca/epic/site/mc-mc.nsf/vwapj/Gas%20@%20730%20-%20VCFs%20-%20Bilingual.pdf/\\$FILE/Gas%20@%20730%20-%20VCFs%20-%20Bilingual.pdf](http://www.ic.gc.ca/epic/site/mc-mc.nsf/vwapj/Gas%20@%20730%20-%20VCFs%20-%20Bilingual.pdf/$FILE/Gas%20@%20730%20-%20VCFs%20-%20Bilingual.pdf)

Figura 4.12 Densidades con factor de corrección.



Como se puede apreciar en la figura 4.12 la variación de las densidades ya es menor con respecto a las mostradas en la tabla 4.1, ya que fueron multiplicadas por un factor de corrección (tabla 4.3) según la temperatura con que se tomaron, para tener todas las densidades a una temperatura estándar de 15 °C.

La variación de la densidad se debe a varios factores, tales como la composición según la época del año, que como ya sabemos en el Distrito Federal no es un factor a considerar ya que no cambia. Otros factores son la fuente de donde fue extraído el petróleo, el proceso de refinado y los componentes que se le agregan a la gasolina para ajustar el octanaje [Progress Report].

La otra parte de las pruebas que se realizaron, fue el rebajar gasolina Pemex Magna con Diesel de Pemex, donde éste segundo es más barato.

Para estas pruebas se tomaron dos muestras de diesel y dos muestras de gasolina de diferentes expendios (tabla 4.4), y se realizaron las combinaciones de todas ellas en diferentes proporciones como se muestra en la tabla 4.5

Tabla 4.4 Densidades de las muestras de diesel y gasolina.

Combustible	Densidad (g/ml)	Temperatura (°C)	Densidad Normalizada (g/ml)	Temperatura (°C)
Diesel 1	0.814604225	22.2	0.7908	15
Diesel 2	0.820841518	21.3	0.7996	15
Gasolina 1	0.719080602	20.7	0.6915	15
Gasolina 2	0.717564354	20.3	0.6918	15

Tabla 4.5 Disolución de diesel y gasolina.

Combinación	% de gasolina	Diesel (ml)	Gasolina (ml)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)	Costo real	Ganancia x litro
diesel 1- gasolina 2	16.67%	5	1	18.6	0.7647	7.1216663	0.4583337
	33.33%	4	2	19.4	0.7567	7.21333315	0.36666685
	50.00%	3	3	21	0.7387	7.305	0.275
	66.67%	2	4	20.8	0.7130	7.396663	0.183337
	83.33%	1	5	19.2	0.7165	7.4883315	0.0916685
diesel 1- gasolina 1	16.67%	5	1	18.9	0.7645		
	33.33%	4	2	19.4	0.7660		
	50.00%	3	3	19.2	0.7392		
	66.67%	2	4	19.2	0.7237		
	83.33%	1	5	21.2	0.7117		
diesel 2 - gasolina1	16.67%	5	1	19.5	0.7840		
	33.33%	4	2	19.2	0.7735		
	50.00%	3	3	19.2	0.7540		
	66.67%	2	4	19.1	0.7423		
	83.33%	1	5	19.9	0.7200		
diesel 2 - gasolina 2	16.67%	5	1	19.6	0.7698		
	33.33%	4	2	19.6	0.7595		
	50.00%	3	3	20	0.7468		
	66.67%	2	4	20	0.7415		
	83.33%	1	5	19.9	0.7202		

De la tabla 4.5 se puede sacar importantes deducciones en cuanto a la adulteración de la gasolina.

Tomando como referencia los precios del diesel y la gasolina del día de hoy:

- Diesel: \$7.03 pesos
- Gasolina Magna: \$ 7.58 pesos

Podemos apreciar en las ultimas dos columnas de la tabla 4.5, el costo real y ganancia por litro, estas son precisamente las ganancias que obtendría el dueño de la gasolinera si rebajara la gasolina según el porcentaje indicado en la segunda columna. Es lógico que cuando se tiene un 83.33% de diesel (16.67% de gasolina) las ganancias son máximas. Ahora bien, se escogieron esos valores de porcentaje de solución y soluto de forma arbitraria, sin embargo nos dan una idea de las proporciones y ganancias que se podrían obtener.

Supongamos que la gasolina es rebajada en un 33.33% con diesel (66.67% de gasolina), entonces se obtendría una ganancia 0.18 centavos, por cada litro, lo que representa un 2.37% del valor de la gasolina que si se lo sumamos al 5.12% que se obtuvo de la venta de litros incompletos obtenemos un gran total de 7.5%.

Supongamos que queremos llenar nuestro tanque de 40 litros que se encuentra ya en reserva, implica un gasto de \$303 pesos, lo cual implica una perdida de \$23 pesos.

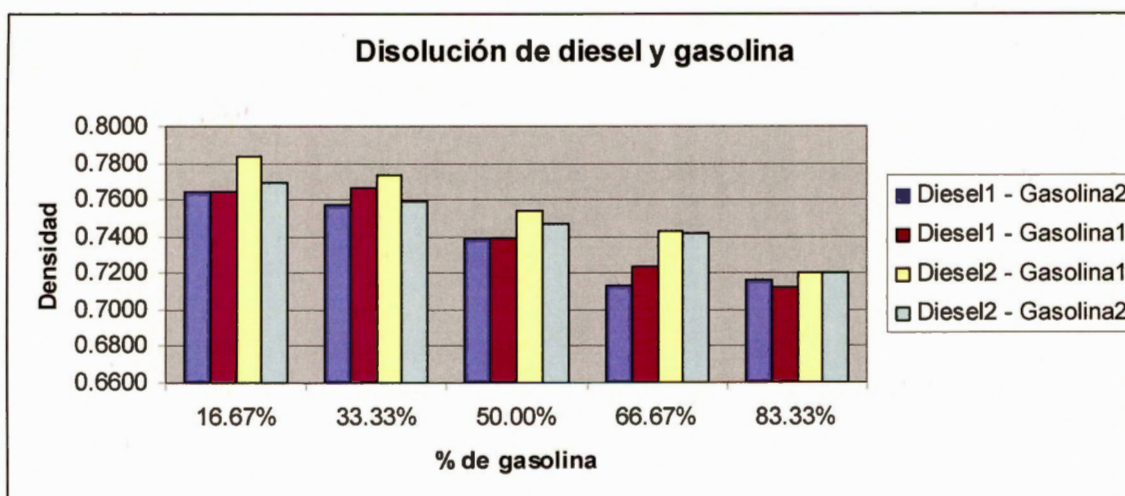
Sí una persona consume un tanque por semana, entonces, al mes estaremos pagando aproximadamente \$91 pesos, que si los multiplicamos por todo el parque vehicular de México que es de 17.5 millones de automóviles, según cifras del INEGI, asumiendo que todos cargan 40 litros a la semana, entonces, **el monto de dinero robado asciende hasta 1,590.75 millones de pesos** ¡en un mes!

Si lo multiplicamos por 12 para tener las cifras de un año, la cifra se va hasta los **\$19,089 millones de pesos**, solamente con rebajar la gasolina con un 33.33% de diesel.

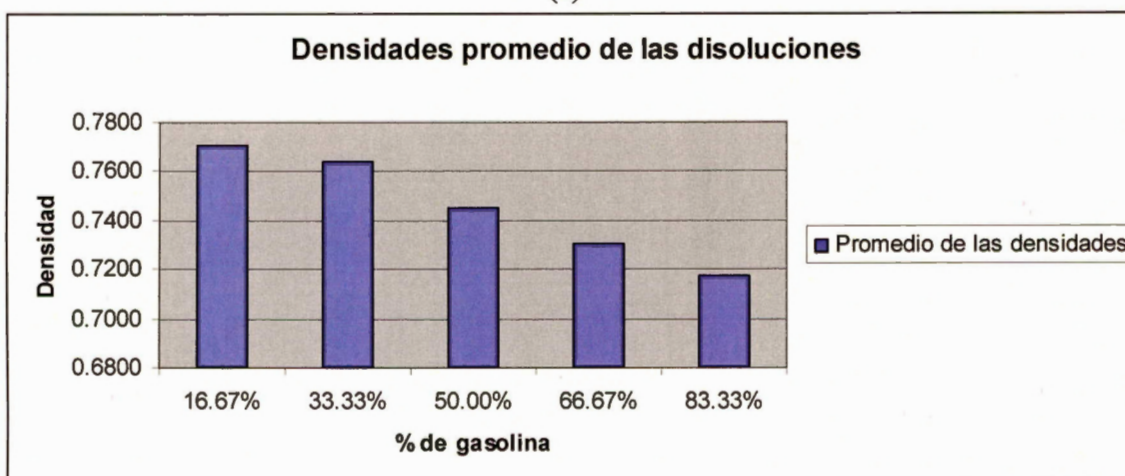
Ahora bien, todos los cálculos anteriores se basan en asumir las cantidades ya que no se tiene datos concretos de la sustancia con que se llevan a cabo las adulteraciones ni en que proporción, sin embargo, la cifra como plan de negocios es bastante atractiva.

Ahora bien para poder ofrecer una solución en caso de que esto sea realidad, se realizaron los análisis de densidad a las muestras donde se ve una tendencia bastante interesante, mostrada en las siguientes figuras.

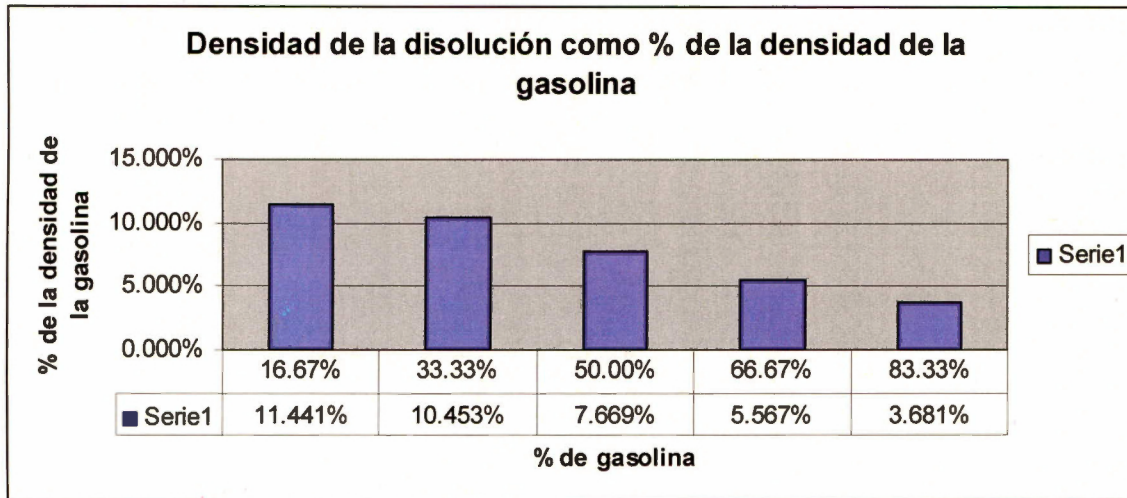
Figura 4.13 Impacto de la adulteración con diesel en la densidad de la gasolina magna



(a)



(b)



(c)

En la figura 4.13a, podemos apreciar como la densidad aumenta en medida que la cantidad de gasolina disminuye, para cada una de las combinaciones de las 4 muestras. La densidad aumenta debido a que la densidad del diesel es mayor a la de la gasolina y al existir mayor cantidad de diesel entonces la densidad crece.

Promediando todas las densidades para un mismo porcentaje de disolución, se obtiene la gráfica mostrada en la figura 4.13b, donde se puede apreciar de forma más clara, la tendencia de la densidad a aumentar conforme mayor cantidad de diesel hay.

Por último la grafica 4.13c, nos permite ver como aumenta la densidad de la gasolina como un porcentaje de su propia densidad, en el caso de tener un 16.67% de gasolina y el resto de diesel, la densidad de la gasolina aumenta un 11.44%, mientras que a menores porciones llega hasta el 3.68%.

Estas características pueden ser aprovechadas para poder determinar si una gasolina está adulterada con diesel, por medio de la densidad, sin embargo no es suficientes y deben ser respaldadas por algún otro método, ya que como vimos la densidad de la gasolina varía, sin embargo no sabemos si es por que fue adulterada o por algún otro motivo.

4.1 Trabajo a Futuro

El proyecto se avanzó hasta donde las posibilidades del hardware utilizado lo permitieron.

El trabajo a futuro se enlista en seguida:

- Realizar el programa que despliegue el resultado final del caudal másico.
- Lograr encontrar la frecuencia de resonancia para la gasolina, que es distinta para las pruebas en vacío y con agua.
- Hacer pruebas de adulteración con percloro y gasolina magna (para premium) y ver su efecto en la densidad.
- Hacer las pruebas de densidad y adulteración para gasolina Premium.
- Lograr hallar una correlación con algún otro método, que respalde las pruebas de densidad, como parámetro para determinar la calidad de la gasolina.
- Hacer programas y pruebas para la medición de la densidad con el medidor Coriolis.

4.2 Conclusiones

Como se puede observar el proyecto es a base de dos grandes bloques. El primero fue el diseño y construcción del medidor coriolis, que conlleva la elección de dispositivos y tecnologías apropiadas para lograr los objetivos planteados.

En éste caso uno de los objetivos era lograr realizar un medidor coriolis con el menor presupuesto posible, para lo cual se eligieron los materiales que permitieran un buen desempeño a un bajo costo, como el tubo de caucho y los sensores piezoeléctricos, que fue donde se logró el mayor ahorro. El prototipo armado tubo un costo aproximado de \$1,345 pesos, lo cual representa un costo bajo, tomando en cuenta que un medidor coriolis barato cuesta unos \$3,000 dólares. Sin embargo no tiene funcionalidad completa, ya que faltó realizar el último programa que da el resultado final y que es parte muy importante del proyecto, sin embargo tanto la interfaz como el medidor están listos únicamente para desarrollar el programa y desplegar el resultado final.

Para finalizar con la parte del medidor coriolis es importante resaltar que, la aplicación requiere de mucha precisión ya que el robo realizado en las estaciones es muy pequeño considerando las cargas de gasolina por sí solas, una a una, sin embargo el problema visto desde una perspectiva más amplia considerando a todos los posibles blancos, se vuelve un problema de gran magnitud que como es repartido entre una inmensa cantidad de personas, el golpe que recibe cada afectado es muchas veces imperceptible.

Por lo tanto al requerir de mucha precisión, es posible que este tipo de medidores no sean una buena opción debido a que al final de cada carga existen flujos muy bajos que el medidor puede no ser capaz de percibir, y ese error es suficiente como para no permitir determinar de forma precisa la cantidad de la gasolina. Para esto sería mejor digitalizar el tablero del automóvil para poder ver en dígitos la cantidad de gasolina existente antes y después de la recarga, con este sistema y un medidor eficiente dentro del tanque de gasolina sería la solución perfecta al mal.

Por otra parte, el otro gran bloque del proyecto, donde se desea tomar a la densidad como parámetro de calidad, nos pudimos dar cuenta que efectivamente la densidad se ve afectada al rebajar la gasolina con el diesel, y en cuya disolución no hubo problemas por separación, ya que se hizo una mezcla perfectamente homogénea. Lo que se puede concluir en este aspecto es el hecho de que la densidad si es un parámetro que se afecta al adulterar una gasolina, sin embargo las adulteraciones no son lo único que hace que cambie la densidad, por lo tanto debe existir un estándar o referencia nacional para la densidad de las diferentes gasolinas, y que los productores de la gasolina, en las diferentes refinerías, tengan que respetar éste parámetro y no excederlo de ciertos rangos tal y como se hace en Canadá, y Estados Unidos. Con estas medidas de calidad, se podría perfectamente tomar a la densidad como parámetro de calidad pro si sólo. Aun así la densidad como ya vimos, si nos indica si existió adulteración, sólo necesita otro método para ser respaldada la investigación.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, ESPECIFICACIONES DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL, [http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SEMARNAT/Normas/Oficiales/2006/30012006\(1\).pdf](http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SEMARNAT/Normas/Oficiales/2006/30012006(1).pdf) Consultada el 25 de febrero del 2008.

Estudio de Evaluación Socio económica del proyecto integral de calidad de combustibles: Reducción de azufre en gasolina y Diesel. http://www.ine.gob.mx/dgicur/calair/descargas/azufre_comb_est_costo_bene_2006.pdf Consultada el 25 de febrero del 2008.

Hacen octanos rendir al motor

Humberto Barba. Mural. Guadalajara, Mexico: Jul 20, 2002. pg. 8

Daniel Márquez, “Hasta 25% de los combustibles está adulterado” *El Economista*, miércoles 19 de septiembre del 2007. <http://noticias-de-aviacion-aguirreharris.blogspot.com/2007/09/hasta-25-de-los-combustibles-est.html> Consultada el 26 de febrero del 2008.

Guillermina Guillen, “Revelan que la gasolina adulterada causa cáncer”, *El Universal*, Sábado 29 de mayo de 2004, http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_notas=225488&tabla=notas Consultada el 27 de febrero del 2008.

Nicolás Ramírez, “Las características de los combustibles y su comportamiento en la altura experiencia de la ciudad de México”, PDF, 2005. http://www.swisscontact.org.pe/PRAL/09_nicolas_rodriguez.pdf Consultada el 27 de febrero del 2008.

Norma Oficial Mexicana NOM-005-SCFI-2005, Instrumentos de medición-Sistema para medición y despacho de gasolina y otros combustibles líquidos – Especificaciones, métodos de prueba y verificación. Publicada el martes 27 de septiembre del 2005.

Copyright 2004 Colorado Department of Labor and Employment <http://oil.cdle.state.co.us/OIL/Inspectors/Lab/Motor%20gas%20analysis%20and%20specs.asp> Consultada el lunes 11 de marzo del 2008.

Marco jurídico de la Franquicia Pemex. http://www.ref.pemex.com/files/content/Cap1_Marco_juridico.pdf
Consultada el 25 de febrero del 2008.

CONAPO, “En 2007 la población del país llegara a los 105.9 millones”,
<http://www.conapo.gob.mx/prensa/2006/532006bol.pdf>
Visitada el 25 de febrero del 2008.

John G. Webstern, “The Measurement, instrumentation, and sensors handbook”, CRC Press & IEEE Press.
1999.

Measurements Specialties Inc. “LDT0 Solid State Switch/Vibration Sensor” Application Note
111398. 13 Nov 2007. Rev0.

Gates Rubber de México, “Línea Hidraulica”. www.gates.com

Elaskar A. Sergio, Pilotta Elvio, et al. “Caudalimetro másico de efecto Coriolis diseño e
implementación” Octubre 2007.

Actaris metering systems. “Medidores Masicos” Archivo PDF.
Progress Report (Enero, 2008). “Automatic Temperatura Compensation Steering Committee”.
Presentación Poer Point.

ANEXO A

PROGRAMA DEL SISTEMA EN ENSAMBLADOR

```

;LOS PROGRAMAS LLAMADOS MUL16, DIV16 Y
DIV32 FUERON EXTRAIDOS DE LA PÁGINA DE
INTERNET "ALL CODE FREE":
http://69.49.234.48/8051/
RS EQU P3.4
E EQU P3.5
BB EQU P3.0
AA EQU P3.1
q1 equ 5ch
q0 equ 5dh
conta equ 11h
conta1 equ 5ch

org 0
jmp main

org 03h
jmp sensor1

org 013h
jmp sensor2

MAIN: mov SP, #70h; mover el SP a otra direccion
lejana
      mov dptr,#0; direccion de RAM
externa para almacenar tiempos
      setb AA
      setb bb
      clr 20h.5
      setb it0
      setb it1 ; arranca por frente las int externas
      setb 20h.0 ; bandera 0
      clr 20h.1 ; bandera 1
      setb 20h.3
      clr 20h.7
      setb rs0
      clr rs1
      mov r0,#33h
      mov r1,#43h
      mov 30h,#0
      clr rs0
      mov ie, #10000101b ; habilitacion de int externas
      mov tmod, #00010001b ; timers en modo 1
      mov th0, #0
      mov tl0, #0 ; cargar constantes en el timer
      CALL INITLCD ; inicializa el

disp      call msgini1 ; muestra mensaje de
bienvenida
RECONOCE1: CALL TECLADO
          CALL RECTECLA
          mov a, #1
          cjne a, 30h, ltrss
          jmp reconocee

ltrss: mov a,#2

reconocee:call msgini

mov 30h, #0
clr 20h.7
clr 20h.1
clr 20h.5
setb 20h.3
call reconoce
call limpia
call litros
call sacarltrs
call dspl
call clean
call limpiaram
mov dptr, #0

nuev:      call teclado
          call rectecla
          ;jb 20h.5, tiempo
          setb p2.0
          call retardo5ms
          clr p2.0
          call retardo5ms
          jb 20h.7, ultimo
          jmp nuev

tiempo: jb tf0, paratimer

paratimer: mov th0, #0

int2:      mov a, conta

ultimo: mov dptr,#0

dnuev: mov r0, #5ah

mov t10, #0
setb tr0
inc conta
jnb 20h.5, int2
jmp tiempo

movx @dptr, a
inc dptr
mov conta, #1
jmp nuev

mov conta1, #31h

call limpia
clr 20h.4
movx a, @dptr
mov 6ah, a
inc dptr
movx a, @dptr
mov 6bh, a

inc dptr
;movx a, @dptr
;mov 6ch, a
;inc dptr
call tiempotrans
mov r4, 6bh

call medi
mov a, #' '
call escribe
mov r4, 6ah
call medi
;mov a, 6ch

```

```

;call cambioren3
;call identifica
inc conta1
vadr:    jb 20h.4,dnuev
         call teclado
         call rectecla
         jmp vadr
fue:     jmp $

retardo2hms:
MOV r1,#25
CICCLO2:  MOV r2,#50
CICCLO1:  DJNZ r2,CICCLO1
DJNZ r1,CICCLO2
ret
RECONOCE: call teclado
         call rectecla
         jb 20h.1,sig
         call oper
         jb 20h.0, reconoce; espera
a que presione OK
         setb rs0
         clr rs1
         dec 31h
         dec r0
         clr rs0
         setb 20h.0 ; ya se
presiono ok y sigue el programa
         call limpia
         call precio
sig:     lcall oper2
         jb 20h.0, reconoce
         dec 41h
         setb rs0
         clr rs1
         dec r1
         clr rs1
         setb 20h.0
ret
limpiaram: mov a, #0
mov r7, #255
mov dptr, #0
mov r6, #255
clin:    movx @dptr, a
         inc dptr
         djnz r6, clin
         mov r6, #255
         djnz r7, clin
         ret
tiempotrans: mov a, #'T'
         call escribe
         mov a, #'i'
         call escribe
         mov a, #'e'
         call escribe
         mov a, #'m'
         call escribe
         mov a, #'p'
         call escribe
         mov a, #'o'

call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, conta1
call escribe
mov a, #3dh
call escribe
call cambioren2
ret

medi:    mov a, r4
         mov b, #10
         clr c
         subb a,b
         jnc mayoradiez
         mov a, r4
         call identifica
         jmp last

mayoradiez: mov a, r4
         mov b, #100
         clr c
         subb a, b
         jnc mayoracien
         mov b, #10
         mov a, r4
         div ab
         call identifica
         mov a, b
         call identifica
         jmp last

mayoracien: mov a, r4
         mov b, #100
         div ab
         call identifica
         mov a,b
         mov b, #10
         div ab
         call identifica
         mov a, b
         call identifica
         jmp last

last:    ret

identifica:
cjne a, #0, uno1
mov r6, #30h
uno1:   cjne a, #1, dos2
mov r6, #31h
dos2:   cjne a, #2, tres3
mov r6, #32h
tres3:  cjne a, #3, cuatro4
mov r6, #33h
cuatro4: cjne a, #4, cinco5
mov r6, #34h
cinco5:  cjne a, #5, seis6
mov r6, #35h
seis6:  cjne a, #6, siete7
mov r6, #36h
siete7:  cjne a, #7, ocho8
mov r6, #37h

```

```

ocho8: cjne a, #8, nueve9
mov r6, #38h
nueve9: cjne a, #9, fuera
mov r6, #39h
fuera: mov a, r6
call escribe

```

```
ret
```

```
clean:
```

```

mov 33h, #0
mov 34h, #0
mov 35h, #0
mov 43h, #0
mov 44h, #0
mov 45h, #0
mov 50h, #0
mov 51h, #0
mov 52h, #0
mov 53h, #0
mov 12h, #0
mov 13h, #0
mov 14h, #0
mov 15h, #0

```

```

mov 17h, #0
mov 30h, #0
ret

```

```
dspl:
```

```

mov a, #'D'
call escribe
mov a, #'e'
call escribe
mov a, #'b'
call escribe
mov a, #'e'
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'R'
call escribe
mov a, #'e'
call escribe
mov a, #'c'
call escribe
mov a, #'i'
call escribe
mov a, #'b'
call escribe
mov a, #'i'
call escribe
mov a, #'r'
call escribe
mov a, #'.'
call escribe
call cambioren2

```

```

mov a, 12h
call escribe
mov a, 13h
call escribe
mov a, #2eh

```

```

call escribe
mov a, 14h
call escribe
mov a, 15h
call escribe
mov a, 16h
call escribe
mov a, 17h
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'l'
call escribe
mov a, #'t'
call escribe
mov a, #'s'
call escribe
ret

```

```
sacarlrs:
```

```

;setb rsl
;setb rs0
mov r5, #3
mov r0, #50h
mov r1, #12h; puntero de direcciones
princ: mov r4, #2
mov a, @r0
inc r0
mov b, #10
div ab ; a se queda con el cociente y b con el residuo
f2: cjne a, #0, uno
mov r6, #30h
uno: cjne a, #1, dos
mov r6, #31h
dos: cjne a, #2, tres
mov r6, #32h
tres: cjne a, #3, cuatro
mov r6, #33h
cuatro: cjne a, #4, cinco
mov r6, #34h
cinco: cjne a, #5, seis
mov r6, #35h
seis: cjne a, #6, siete
mov r6, #36h
siete: cjne a, #7, ocho
mov r6, #37h
ocho: cjne a, #8, nueve
mov r6, #38h
nueve: cjne a, #9, fuera
mov r6, #39h
fuera: mov a, r6
mov @r1, a
inc r1
mov a, b
djnz r4, f2
djnz r5, princ
;clr rs0
;clr rsl
ret

```

```
Teclado: Mov R5,#4
```

```
;contador de filas
```

Mov R6,#0fEh	;Codigo de barrido de	mov 30h, #2
filas		MOV A,#'2'
Mov R7,#03	;Valor mayor de la 1ra	CALL ESCRIBE
fila		
otra:		AL3: CJNE R7, #3,AL4
		clr 20h.3
Mov P1,R6	;	mov 30h, #1
sacar codigo		MOV A,#'1'
Mov A,P1	; Leer columnas	CALL ESCRIBE
ORL A,#0fh		
CJNE A, #0ffh,ver_tecla	;Si hubo tecla	AL4: CJNE R7, #4, AL5
oprimida		clr 20h.7
Mov A, R6	;No hubo tecla oprimida	AL5: CJNE R7, #5, AL6
RL A	;rotar codigo para siguiente	clr 20h.3
fila		mov 30h, #6
Mov R6,A		MOV A,#'6'
Mov A, R7		CALL ESCRIBE
ADD A,#4	; valor mayor de la fila	
siguiente		AL6: CJNE R7, #6,AL7
Mov R7,A		clr 20h.3
DJNZ R5, otra	; repetir para fila	mov 30h, #5
siguiente		MOV A,#'5'
Mov R7, #0ffh	; Devuelve FFh si no	CALL ESCRIBE
hay tecla oprimida		
RET		AL7: CJNE R7, #7,AL8
ver_tecla:Call retardo10ms	;eliminar rebote	clr 20h.3
		mov 30h, #4
Mov A, P1		MOV A,#'4'
ORL A,#0Fh		CALL ESCRIBE
CJNE A, #0ffh, sigue	;la tecla sigue	AL8: CJNE R7, #8, AL9
oprimida		setb 20h.7
Mov R7,#0ffh	; no hay tecla oprimida	AL9: CJNE R7, #9, AL10
RET		clr 20h.3
sigue: RLC A	;Encontrar valor de la	mov 30h, #9
tecla oprimida		MOV A,#'9'
JNC soltar		CALL ESCRIBE
DEC R7		
JMP sigue		AL10: CJNE R7, #10, AL11
soltar:		clr 20h.3
Mov A, P1	;	mov 30h, #8
Esperar que se suelte la tecla		MOV A,#'8'
ORL A,#0fh		CALL ESCRIBE
CJNE A,#0ffh, soltar		
Call retardo10ms		AL11: CJNE R7, #11, AL12
RET		clr 20h.3
		mov 30h, #7
		MOV A,#'7'
		CALL ESCRIBE
RECTECLA:		AL12: CJNE R7, #12, AL13
CJNE R7, #0, AL1	;ok	setb 20h.4
clr 20h.0		AL13: CJNE R7, #13, AL14
AL1: CJNE R7, #1, AL2		SETB E
mov 30h, #3		CALL RETARDO10MS
clr 20h.3		CLR RS
MOV A,#'3'		clr AA
CALL ESCRIBE		clr BB
AL2: CJNE R7, #2, AL3		MOV P2,#00010000b
clr 20h.3		setb BB
		setb AA
		CLR E

```

CALL RETARDO10MS
mov a, #' '
call escribe
ret
AL14: CJNE R7, #14, AL15
clr 20h.3
mov 30h, #0
mov a, #'0'
call escribe

AL15: CJNE R7, #15, AL16
mov 30h, #2eh
clr 20h.3
MOV A, #'.'
CALL ESCRIBE

AL16: JMP FIN

FIN:RET
oper: setb rs0
clr rs1
jnb 20h.0, fin1
jb 20h.3, fin1
mov a, #02eh
cjne a, 30h, s0
jmp fin1
s0: mov @r0, 30h; los valores de la carga empiezan
desde la 33h - 40h
inc r0
fin1: setb 20h.3
clr rs0
ret

oper2:setb rs0
clr rs1
jnb 20h.0, fin2
jb 20h.3, fin2
mov a, #02eh
cjne a, 30h, ss
jmp fin2
ss: mov @r1, 30h
inc r1
fin2: setb 20h.3
clr rs0
ret

INITLCD:
SETB E
CALL RETARDO10MS
CLR RS
clr AA
clr BB
MOV P2,#00111000B
setb BB
setb AA
CLR E
CALL RETARDO10MS

SETB E
CALL RETARDO10MS
CLR RS

```

DISPLAY ON

DE ENTRADA

EL DISPLAY

ESCRIBE:

LIMPIA:

EL DISPLAY

```

clr AA
clr BB
MOV P2,#00001111B ;

```

```

setb BB
setb AA
CLR E
CALL RETARDO10MS

```

```

SETB E
CALL RETARDO10MS
CLR RS
clr AA
clr BB
MOV P2,#06H ;MODO

```

```

setb BB
setb AA
CLR E
CALL RETARDO10MS

```

```

SETB E
CALL RETARDO10MS
CLR RS
clr AA
clr BB
MOV P2,#01H ; LIMPIA

```

```

setb BB
setb AA
CLR E
CALL RETARDO10MS
RET

```

SETB E

```

SETB RS
clr AA
clr BB
MOV P2,A
setb BB
setb AA
CALL RETARDO10MS
CLR E
RET

```

```

SETB E
CALL RETARDO10MS
CLR RS
clr AA
clr BB
MOV P2,#01H ; LIMPIA

```

```

setb BB
setb AA
CLR E
CALL RETARDO10MS
RET

```

RETARDO5MS:setb rs1

R3,#100

R3,CICLO111

clr rs1

RETARDO10MS:setb rs1

R1,CICLO1

clr rs1

msgini1:

```

call cambioren1
mov a, #' '
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'B'
call escribe
mov a, #'i'
call escribe
mov a, #'e'
call escribe
mov a, #'n'
call escribe
mov a, #'v'
call escribe
mov a, #'e'
call escribe
mov a, #'n'
call escribe
mov a, #'i'
call escribe
mov a, #'d'
call escribe
mov a, #'o'
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'n'
call escribe
mov a, #'i'
call escribe
mov a, #'d'
call escribe
mov a, #'o'
call escribe
mov a, #'m'
call escribe

```

```

clr rs0
MOV R2,#200
CICLO222: MOV
CICLO111: DJNZ
DJNZ R0,CICLO222
RET

```

```

clr rs0
MOV R0,#25
CICLO2: MOV R1,#200
CICLO1: DJNZ
DJNZ R0,CICLO2
RET

```

```

mov a, #'o'
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'v'
call escribe
mov a, #'a'
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'a'
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'s'
call escribe
mov a, #'e'
call escribe
mov a, #'r'
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'t'
call escribe
mov a, #'u'
call escribe
call cambioren3
mov a, #'C'
call escribe
mov a, #'a'
call escribe
mov a, #'r'
call escribe
mov a, #'g'
call escribe
mov a, #'a'
call escribe
mov a, #'?'
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #31h
call escribe
mov a, #2eh
call escribe
mov a, #24h
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #32h
call escribe
mov a, #2eh
call escribe
mov a, #'l'
call escribe
mov a, #'t'
call escribe
mov a, #'s'
call escribe
ret

```

msgini:

call limpia

```

mov a, #'H'
call escribe
mov a, #'o'
call escribe
mov a, #'l'
call escribe
mov a, #'a'
call escribe
mov a, #02ch
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'C'
call escribe
mov a, #'u'
call escribe
mov a, #'a'
call escribe
mov a, #'n'
call escribe
mov a, #'t'
call escribe
mov a, #'o'
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'v'
call escribe
mov a, #'a'
call escribe
mov a, #'s'
call escribe
call cambioren2
mov a, #'a'
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'C'
call escribe
mov a, #'a'
call escribe
mov a, #'r'
call escribe
mov a, #'g'
call escribe
mov a, #'a'
call escribe
mov a, #'r'
call escribe
mov a, #03fh
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #028h
call escribe
mov a, #024h
call escribe
mov a, #029h
call escribe
call cambioren3
ret

```

precio: setb 20h.1; se activa bandera para no pasar de nuevo por el primer ok

```

call cambioren1
mov a, #'P'
call escribe
mov a, #'r'
call escribe
mov a, #'e'
call escribe
mov a, #'c'
call escribe
mov a, #'i'
call escribe
mov a, #'o'
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'X'
call escribe
mov a, #' '
call escribe
mov a, #'L'
call escribe
mov a, #'i'
call escribe
mov a, #'t'
call escribe
mov a, #'r'
call escribe
mov a, #'o'
call escribe
mov a, #03fh
call escribe
call cambioren2
mov a, #24h
ret

```

cambioren1:

```

SETB E
CALL RETARDO10MS
CLR RS
clr AA
clr BB
MOV P2,#01h
setb BB
setb AA
CLR E
CALL RETARDO10MS

```

ret

cambioren2:

```

SETB E
CALL RETARDO10MS
CLR RS
clr AA
clr BB
MOV P2,#0C0h
setb BB
setb AA
CLR E
CALL RETARDO10MS

```

ret


```

cambiore3:
    SETB E
    CALL RETARDO10MS
    CLR RS
    clr AA
    clr BB
    MOV P2,#090h
    setb BB
    setb AA
    CLR E
    CALL RETARDO10MS
    ret

sensor1:push Acc
push psw
setb tr0
setb 20h.5
pop psw
pop acc
reti

sensor2: push acc
push psw
jnb 20h.5, incomp
clr tr0
mov a, t10
movx @dptr, a
mov a, th0
inc dptr
movx @dptr, a
mov th0, #0
mov t10, #0
inc dptr
clr 20h.5

incomp:
    pop psw
    pop acc
    reti

litros:
mov a, 33h
mov b, #100
mul ab;
mov 65h, a; A-->LSB
mov 66h, b ; B-->MSB
mov a, 34h
mov b, #10
mul ab;
add a, 35h
clr c
add a,65h
jc excede
mov 65h, a
jmp tt
excede:
call exx
jmp tt
tt: mov a, 43h
mov b, #100
mul ab; mov 67h, a; A-->LSB
mov 68h, b ; B-->MSB
mov a, 44h
mov b, #10
mul ab
add a, 45h
add a,67h
mov 67h, a
call division
ret
exx: mov b,#10
mov a, 34h
mul ab
add a, 35h
cjne a, #56, a57
mov a, #0
a57: cjne a, #57, a58
mov a, #1
a58: cjne a, #58, a59
mov a, #2
a59: cjne a, #59, a60
mov a, #3
a60: cjne a, #60, a61
mov a, #4
a61: cjne a, #61, a62
mov a, #5
a62: cjne a, #62, a63
mov a, #6
a63: cjne a, #63, a64
mov a, #7
a64: cjne a, #64, a65
mov a, #8
a65: cjne a, #65, a66
mov a, #9
a66: cjne a, #66, a67
mov a, #10
a67: cjne a, #67, a68
mov a, #11
a68: cjne a, #68, a69
mov a, #12
a69: cjne a, #69, a70
mov a, #13
a70: cjne a, #70, a71
mov a, #14
a71: cjne a, #71, a72
mov a, #15
a72: cjne a, #72, a73
mov a, #16
a73: cjne a, #73, a74
mov a, #17
a74: cjne a, #74, a75
mov a, #18
a75: cjne a, #75, a76
mov a, #19
a76: cjne a, #76, a77
mov a, #20
a77: cjne a, #77, a78
mov a, #21
a78: cjne a, #78, a79
mov a, #22
a79: cjne a, #79, a80
mov a, #23
a80: cjne a, #80, a81
mov a, #24

```

```

a81:cjne a, #81, a82
mov a, #25
a82:cjne a, #82, a83
mov a, #26
a83:cjne a, #83, a84
mov a, #27
a84:cjne a, #84, a85
mov a, #28
a85:cjne a, #85, a86
mov a, #29
a86:cjne a, #86, a87
mov a, #30
a87:cjne a, #87, a88
mov a, #31
a88:cjne a, #88, a89
mov a, #32
a89:cjne a, #89, a90
mov a, #33
a90:cjne a, #90, a91
mov a, #34
a91:cjne a, #91, a92
mov a, #35
a92:cjne a, #92, a93
mov a, #36
a93:cjne a, #93, a94
mov a, #37
a94:cjne a, #94, a95
mov a, #38
a95:cjne a, #95, a96
mov a, #39
a96:cjne a, #96, a97
mov a, #40
a97:cjne a, #97, a98
mov a, #41
a98:cjne a, #98, a99
mov a, #42
a99: cjne a, #99, oout
mov a, #43
oout:
mov 66h, #1
mov 65h, a
ret

```

```

division:
mov r5, 66h
mov r4, 65h
mov r1, 68h
mov r0, 67h
mov a, r4
mov b, #100
mul ab
mov 60h, a
mov 61h, b
mov a, r5
mov b, #100
mul ab
add a, 61h
mov r5, a
mov a, 60h
mov r4, a
call DIV16U
mov 50h, r4 ; parte baja del cociente

```

```

call decimal
mov 51h, r4
call decimal
mov 52h, r4
call decimal
mov 53h, r4
ret

```

```

DIV16U:
clr a
mov r2,a
mov r3,a
;
;b counts the number of places+1 the divisor was
initially
; shifted left to align its ms bit set with the ms bit set
; in the dividend
;
mov b,#1
;
;Make an error return if trying to divide by zero
;
mov a,r1
orl a,r0
jz dua920
;
;Just return with quotient and remainder zero if
dividend is zero
;
mov a,r5
orl a,r4
jnz dua200
mov r7,a
mov r6,a
jmp dua910 ;Make a normal return
;
;Align the msb set in the demoninator with the msb set
in the
; numerator. Increment the shift count in b each time a
shift left
; is performed.
;
dua200:
mov a,r1 ;Stop if MSB set
rlc a
jc dua600
clr c
mov a,r5 ;Compare r1 & r5
subb a,r1
jc dua600 ; jump if r1>r5
jnz dua240 ; jump if r1<r5
mov a,r4 ;r1=r5, so compare r0 & r4
subb a,r0
jc dua600 ; jump if r0>r4
dua240:
clr c ;Now shift the denominator
mov a,r0 ; left 1 bit position
rlc a
mov r0,a
mov a,r1
rlc a
mov r1,a

```

```

    inc b      ;Increment b counter and
    sjmp dua200 ; continue
;
;Compare the shifted divisor with the remainder (what's
; left of the dividend)
;
dua600:
    clr c
    mov a,r5
    subb a,r1
    jc dua720 ;jump if r1>r5
    jnz dua700 ;jump if r1<r5
    mov a,r4
    subb a,r0
    jc dua720 ;jump if r0>r4
;
;Divisor is equal or smaller, so subtract it off and
; get a 1 for the quotient
;
dua700:
    mov a,r4
    clr c
    subb a,r0
    mov r4,a
    mov a,r5
    subb a,r1
    mov r5,a
    clr c
    cpl c      ;Get a 1 for the quotient
    sjmp dua730
;
;Divisor is greater, get a 0 for the quotient
;
dua720:
    clr c
;
;Shift 0 or 1 into quotient
;
dua730:
    mov a,r2
    rlc a
    mov r2,a
    mov a,r3
    rlc a      ;Test for overflow removed here
because
    mov r3,a   ; it can't happen when dividing 16
by 16
;
;Now shift the denominator right 1, decrement the
counter
; in b until b = 0
;
dua740:
    clr c
    mov a,r1
    rrc a
    mov r1,a
    mov a,r0
    rrc a
    mov r0,a
    djnz b,dua600
;

```

```

;Move quotient and remainder so that quotient is
returned in the same
; registers as the dividend. This makes it easier to divide
repeatedly
; by the same number as you would do when converting
to a new radix.
;
    mov a,r5
    mov r7,a
    mov a,r4
    mov r6,a
    mov a,r3
    mov r5,a
    mov a,r2
    mov r4,a
;
;Make the normal return
;
dua910:
    clr c
    ret
;
;Make the error return
;
dua920:
    clr c
    cpl c
    ret
;End of DIV16U
decimal: mov 59h, r6
mov 58h, r7
mov 5bh, #100
mov 5ah, #0; Se cargan en memoria los valores a
multiplicar 58-59 primer #, 60-61 segundo#
mov r0, #58h
mov r1, #5ah
call MUL16U
mov r0, 67h
mov r1, 68h
call div32u
ret

MUL16U:
;Form the term f1*s1 for 2**0 and 2**8 position
;
    inc r0
    inc r1
    mov b,@r0
    mov a,@r1
    mul ab
    mov r4,a ;set 2**0
    mov r5,b ;set 2**8
;
;Form the term f1*s2 for 2**8 and 2**16 position
;
    mov b,@r0
    dec r1 ;r1 => msb's
    mov a,@r1
    mul ab
    add a,r5 ;c set
    mov r5,a ;update 2**8
    mov a,b

```

```

    addc a,#0    ;c set
    mov r6,a    ;set 2**16
    clr a
    addc a,#0
    mov r7,a
;
;Form the term f2*s1 for 2**8 and 2**16 position
;
    dec r0      ;r0 => msb's
    mov b,@r0
    inc r1      ;r1 => lsb's
    mov a,@r1
    mul ab
    add a,r5    ;c set
    mov r5,a    ;update 2**8
    clr a
    addc a,r6   ;c set
    mov r6,a
    clr a
    addc a,r7
    mov r7,a
    mov a,b
    addc a,r6   ;set c
    mov r6,a    ;set 2**16
    clr a
    addc a,r7
    mov r7,a
;
;Form the term f2*s2 for 2**16 and 2**24 position
;
    mov b,@r0
    dec r1      ;r1 => msb's
    mov a,@r1
    mul ab
    add a,r6   ;set c
    mov r6,a    ;set 2**16
    mov a,b
    addc a,r7
    mov r7,a
;
;Return to caller with r0 and r1 set to original value
;
    ret
;end of MUL16U
DIV32U
;
;Clear the working quotient
;
    clr a
    mov q1,a
    mov q0,a
;
;Clear the msb's of a 32-bit working divisor (r3,r2,r1,r0)
;
    mov r3,a
    mov r2,a
;
; b counts the number of places+1 the divisor was
initially
; shifted left to align its ms bit set with the ms bit set
; in the dividend
;
    mov b,#1
;
;Make an error return if trying to divide by zero
;
    mov a,r1
    orl a,r0
    jnz du100
    ljmp du920 ;Make the error return
;
;Just return with quotient and remainder zero if
dividend is zero
;
du100:
    mov a,r7
    orl a,r6
    orl a,r5
    orl a,r4
    jnz du200
    mov r7,a
    mov r6,a
    jmp du910 ;Make a normal return
;
;Align the msb set in the demoninator with the msb set
in the
; numerator. Increment the shift count in b each time a
shift left
; is performed.
;
du200:
    mov a,r3    ;Stop if msb set
    clr c
    rlc a
    jc du600
    subb a,r7   ;Compare r3 & r7, (c clear)
    jz du210   ;jump if r3=r7
    jnc du600  ;jump if r3>r7
    sjmp du240 ; r3<r7
du210:
    mov a,r6   ;r3=r7, so compare r2 & r6
    subb a,r2
    jc du600   ;jump if r2>r6
    jnz du240  ;jump if r2<r6
    mov a,r5   ;r2=r6, so compare r1 & r5
    subb a,r1
    jc du600   ;jump if r1>r5
    jnz du240  ;jump if r1<r5
    mov a,r4   ;r1=r5, so compare r0 & r4
    subb a,r0
    jc du600   ;jump if r0>r4
du240:
    clr c      ;Now shift the denominator
    mov a,r0   ; left 1 bit position
    rlc a
    mov r0,a
    mov a,r1
    rlc a
    mov r1,a
    mov a,r2
    rlc a
    mov r2,a
    mov a,r3
    rlc a

```

```

mov r3,a
inc b ;Increment b counter and
sjmp du200 ; continue
;
;Compare the shifted divisor with the remainder (what's
; left of the dividend)
;
du600:
mov a,r7
clr c
subb a,r3
jc du720 ;jump if r3>r7
jnz du700 ;jump if r3<r7
mov a,r6
subb a,r2
jc du720 ;jump if r2>r6
jnz du700 ;jump if r2<r6
mov a,r5
subb a,r1
jc du720 ;jump if r1>r5
jnz du700 ;jump if r1<r5
mov a,r4
subb a,r0
jc du720 ;jump if r0>r4
;
;Divisor is equal or smaller, so subtract it off and
; get a 1 for the quotient
;
du700:
mov a,r4
clr c
subb a,r0
mov r4,a
mov a,r5
subb a,r1
mov r5,a
mov a,r6
subb a,r2
mov r6,a
mov a,r7
subb a,r3
mov r7,a
clr c
cpl c ;Get a 1 for the quotient
sjmp du730
;
;Divisor is greater, get a 0 for the quotient
;
du720:
clr c
;
;Shift 0 or 1 into quotient
;
du730:
mov a,q0
rlc a
mov q0,a
mov a,q1
rlc a
mov q1,a
jc du920 ;overflow - make the error return
;
;Now shift the denominator right 1, decrement the
counter
; in b until b = 0
;
du740:
clr c
mov a,r3
rrc a
mov r3,a
mov a,r2
rrc a
mov r2,a
mov a,r1
rrc a
mov r1,a
mov a,r0
rrc a
mov r0,a
djnz b,du600
;
;Move quotient and remainder
;
mov a,r5
mov r7,a
mov a,r4
mov r6,a
mov a,q1
mov r5,a
mov a,q0
mov r4,a
;
;Make the normal return
;
du910:
clr c
ret
;
;Make the error return
;
du920:
clr c
cpl c
ret
;End of DIV32U

```

END