



300617  
20  
2001  
**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA  
INCORPORADA A LA U. N. A. M.**

**DESARROLLO DE UN MEDIDOR ELECTRONICO PARA  
TANQUE ESTACIONARIO DE GAS L. P.**

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
DAVID ALBERTO LEVINE ARANGO

México, D. F.

1990

**FALLA DE ORIGEN**



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

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

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

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

## INDICE.

	Pág.
Introducción.	4
Capítulo I: Generalidades sobre el gas L.P de uso doméstico.	7
1.0 Introducción.	8
1.1 Algunas propiedades físicas.	8
1.1.1 Definiciones.	8
1.1.2 Clasificación y composición.	9
1.1.3 Densidad.	10
1.1.4 Punto de ebullición.	11
1.1.5 Relación de expansión de líquido a vapor.	12
1.1.6 Límites de inflamabilidad.	12
1.1.7 Temperatura de encendido.	14
1.1.8 Presión de vapor.	15
1.1.9 Coeficiente de dilatación.	16
1.2 Conclusiones sobre el capítulo.	18
Capítulo II: Conceptos fundamentales de la protección contra explosión.	19
2.0 Introducción.	20
2.1 La explosión.	20
2.1.1 Definición.	21
2.1.2 Peligro de explosión.	21
2.1.3 Atmósferas potencialmente explosivas. Clasificación.	22
2.1.4 Límites de explosión/concentración.	24
2.1.5 Presión máxima de explosión.	25
2.1.6 Velocidad de reacción.	26
2.1.7 Capacidad de propagación.	27
2.2 La seguridad contra la explosión.	28
2.2.1 Protección primaria.	28
2.2.2 Protección secundaria.	29
2.2.2.1 Clasificación.	29

	Pág.
2.3 Equipo eléctrico para atmósferas explosivas.	31
2.3.1.1 Temperatura de ignición.	31
2.3.1.2 Intersticio máximo de seguridad.	31
2.3.1.3 Corriente mínima de ignición.	31
2.3.2 Clasificación.	33
2.3.3 Tipos de protección.	34
2.3.3.1 Envoltente antideflagrante.	34
2.3.3.2 Seguridad aumentada "e".	36
2.3.3.3 Gabinete presurizado "p".	38
2.3.3.4 Inmersión en ambiente pulverulento "q".	39
2.3.3.5 Seguridad intrínseca "i".	39
2.3.3.6 Inmersión en aceite "o".	41
2.3.4 Requerimientos para la construcción de estos equipos.	41
2.4 Normas.	42
2.5 Conclusiones y aplicación del presente capítulo al desarrollo del instrumento.	47
Capítulo III: Medición del gas L.P. en la actualidad.	50
3.0 Introducción.	51
3.1 La medición del gas L.P.	51
3.1.1 La medición del nivel en un tanque presurizado.	55
3.1.1.1 La medición del nivel por flotador.	56
3.1.1.2 Medición de nivel a base de radiación gama.	65
3.1.1.3 Medición de nivel mediante ondas ultrasónicas.	67
3.1.2 La medición del gas L.P. en un tanque doméstico.	68
3.2 Componentes de un tanque estacionario de gas L.P.	72
3.2.1 El tanque presurizado.	72
3.2.2 El medidor.	76
3.2.3 El regulador.	77
3.2.4 La válvula de servicio.	78
3.2.5 La válvula de seguridad.	79
3.2.6 Válvula de llenado.	80
3.2.7 Válvula de retorno de vapores.	81
3.2.8 Válvula de exceso de flujo y no retroceso chek-lok.	82
3.3 Conclusiones sobre el presente capítulo.	83

	Pág.
Capítulo IV: Diseño del instrumento medidor.	85
4.0 Introducción.	86
4.1 Objetivos del instrumento.	86
4.2 Partes componentes del instrumento.	87
4.3 Operación del circuito.	90
4.4 Análisis de los circuitos componentes del sistema.	91
4.4.1 Circuito verificador del estado de la fuente de alimentación.	91
4.4.1.1 Diseño del circuito verificador del estado de la fuente de alimentación (fuente de voltaje).	93
4.4.1.1.1 Comparador de voltaje de la fuente de alimentación.	94
4.4.1.1.2 Circuitos conectados a la salida del amplificador operacional.	100
4.4.1.1.2.1 Circuito de indicación visual de la condición "batería baja".	100
4.4.1.1.2.2 Circuito que indica al convertidor A/D sobre la condición de la fuente de alimentación.	101
4.4.2 Fuente de corriente constante.	105
4.4.2.1 Diseño de la fuente de corriente constante.	106
4.4.3 El convertidor analógico/digital (convertidor A/D o ADC).	109
4.4.3.1 Conceptos y terminología aplicables a convertidores A/D y D/A.	110
4.4.3.1.1 Resolución.	110
4.4.3.1.2 Voltaje de referencia ( $V_{ref}$ ).	110
4.4.3.1.3 Exactitud.	111
4.4.3.1.4 Bit menos significativo (LSB).	111
4.4.3.1.5 Bit más significativo (MSB).	111
4.4.3.1.6 Error de cuantificación.	112
4.4.3.1.7 Error de escala (error de escala completa o error de ganancia).	112
4.4.3.1.8 Error de cero.	112
4.4.3.1.9 Error de histéresis.	112
4.4.3.1.10 No-linealidad.	113
4.4.3.1.11 Coeficiente de temperatura.	113
4.4.3.1.12 Cambios a largo plazo.	113
4.4.3.1.13 Rechazo de la fuente de alimentación.	113
4.4.3.1.14 Velocidad de conversión.	114

4.4.3.1.15 Velocidad de reloj.	114
4.4.3.1.16 Resistencia de entrada.	114
4.4.3.1.17 Capacidad de salida.	114
4.4.3.1.18 Código de salida.	114
4.4.3.1.19 Control.	115
4.4.3.2 Selección del convertidor A/D.	115
4.4.3.3 El convertidor ADD3501. Teoría de operación.	121
4.4.3.4 Terminales y especificaciones del convertidor ADD3501.	123
4.4.3.5 Conexiones del convertidor ADD3501.	126
4.4.3.5.1 Referencia de voltaje.	126
4.4.3.5.2 Circuito sensor de voltaje.	128
4.4.3.5.3 Circuito para el ajuste de cero.	129
4.4.3.5.4 Circuito fijador de la frecuencia de conversión.	130
4.4.3.5.5 Circuito para el inicio de conversión.	130
4.4.3.5.6 Terminales conectadas a la alimentación.	131
4.4.3.5.7 Terminales para el despliegue visual.	131
4.4.3.5.8 Terminales no empleadas.	131
4.4.4 Circuito para el despliegue visual.	132
4.4.4.1 Diseño del circuito para el despliegue visual.	133
4.4.5 Circuito del transductor.	137
4.4.5.1 Diseño del circuito del sensor.	137
4.4.5.1.1 El sensor.	137
4.4.5.1.2 El alambre conductor.	140
4.4.6 Circuito de alimentación para el instrumento.	141
4.4.6.1 Diseño del circuito de alimentación para el instrumento.	141
4.4.6.1.1 Línea de alimentación con voltaje igual al de la fuente externa.	141
4.4.6.1.2 Línea de alimentación con voltaje regulado a 5 V.	143
4.4.7 Componentes misceláneos.	143
4.4.8 Lista y costo de partes.	145
4.4.9 Especificaciones del instrumento.	147
4.5 Puesta en operación del instrumento.	147
4.6 Precisión del instrumento.	149
4.7 Conclusiones sobre el capítulo.	150

	Pág.
Capítulo V: Consideraciones de seguridad aplicadas al instrumento.	153
5.0 Introducción.	154
5.1 Seguridad aplicada a la fuente de corriente.	154
5.1.1 Selección de la corriente constante que alimenta al transductor.	154
5.1.1.1 Corriente para obtener una señal limpia.	155
5.1.1.2 Corriente para provocar una tensión adecuada para el componente central.	156
5.1.1.3 Corriente inferior a la corriente mínima de ignición para el gas L.P.	158
5.1.2.1 Resistencias limitadoras de corriente.	162
5.1.2.2 El transistor T1.	163
5.1.2.3 El amplificador operacional LM358 2B (I3).	163
5.1.2.4 El regulador de voltaje LM340 (I2).	163
5.1.2.5 Incorporación de una barrera zener.	164
5.1.2.6 Entrada al convertidor A/D.	164
5.2 Seguridad aplicada en otros componentes.	165
5.2.1 Selección de otros componentes del instrumento.	165
5.2.1.1 El alambre conductor.	165
5.2.1.2 Bornes de conexión/espacio de conexión.	166
5.2.1.3 El circuito impreso.	166
5.2.1.4 La cubierta del circuito electrónico.	167
5.2.1.5 El sensor.	169
5.3 Marcado del instrumento.	169
5.4 Conclusiones sobre el presente capítulo.	170
Conclusiones.	172
Apéndices.	175
Apéndice A: Medición de nivel en el tanque de un camión repartidor de gas L.P.	176
Apéndice B: Especificaciones de circuitos integrados utilizados en el instrumento y del alambre conductor del sensor. Diagrama general del medidor electrónico.	177

	Pág.
El circuito integrado 75492.	177
El circuito integrado LM358.	179
El desplegador digital MAN6448.	180
El regulador de voltaje LM340.	181
El arreglo resistivo RESNET 698.	182
El alambre conductor de enlace medidor-sensor.	183
Diagrama general del medidor electrónico.	185
Apendice C: Norma Oficial Mexicana NOM-X-6-1987: Indicadores de nivel de gas licuado de petróleo y amoniaco anhidro.	186
Bibliografía.	284



"Al lado de cada gran hombre, hay una gran mujer".

¿Cómo poder expresar, en tan pocas líneas, todo lo que significas para mí?  
Desde pequeño me encausaste y ayudaste a ser buen estudiante. Todo lo que soy, te lo debo a ti.

Tu me diste una educación; me has enseñado a ser responsable y buen ciudadano; me has dado una excelente formación.  
Se que siempre he sido algo muy importante en tu vida, y se además que no te he defraudado.

Por tus desvelos, por tus pocos regaños, por procurarme siempre lo mejor, y por tu grande amor, te lo agradezco infinitamente hoy y siempre.

Gracias mami.

Lo hemos logrado.

Papi: esta tesis también es para ti.

Se que, aunque en la distancia, siempre me has apoyado y procurado lo mejor para mí.

Gracias por todos los momentos que hemos compartido. Gracias por todos esos viajes tan educativos e interesantes que me alentaron a estudiar esta carrera.

Y gracias por todo el apoyo que me diste siempre, en mi interés por la ciencia.

Dedico también esta tesis a mis padrinos, Ing. Jesús Tavera Barquín y Sra. Ilda Arango de Tavera.

Gracias tío Jesús, donde quiera que te encuentres, por toda la ayuda que siempre me brindaste. Gracias por todas las dudas que me resolviste, y gracias por haberme ayudado a descubrir, que lo que quiero en esta vida, es ser Ingeniero.

Tía, muchas gracias por todo el apoyo desinteresado que siempre me has brindado. Gracias por compartir conmigo orgullos, ilusiones, satisfacciones y emociones.

Agradezco a mis abuelos, Fidelio, Dolores y Amelia, por el interés y orgullo que mostraron por mí durante mi carrera.

Le doy las gracias a mis tíos, Norma, Fidelio y Jorge, por su cariño y confianza que siempre me han dado. Gracias por haber contribuido en forma directa al desarrollo de mi carrera.

Gracias a mis tías Harriet y Jeanne, por haberme alentado y aconsejado en la elección de mi carrera. Gracias por estar siempre dispuestas a ayudarme.

A mi prima Hilda le doy mi agradecimiento por todas sus amabilidades.

Esta tesis también es dedicada a todos mis tíos, tías, primos, primas, sobrinos y sobrinas. Gracias por ser mi familia.

Gracias Rich, por compartir mis sueños de hoy, que seguramente serán nuestra realidad del mañana.

Le agradezco al Ing. Felipe Avila, el haberme dirigido y apoyado en esta tesis. Gracias por haberme inspirado y emocionado durante las clases que me impartió. Ingeniero, su modo de impartir clases es para mi un ejemplo a seguir. Profesores como usted pueden cambiar la vida de un estudiante.

Mi gratitud a la UNIVERSIDAD LA SALLE, por toda la confianza que siempre ha depositado en mí. Gracias por haberme encausado en una de las actividades mas nobles y educativas de mi vida. Gracias por permitirme dejar algo de mí en esta gran Universidad.

Mi reconocimiento a todos mis profesores, por el interés que mostraron en mí. Les prometo que todos sus conocimientos trascenderán a través de mí.

Gracias al Sr. Moisés Miranda por todos sus regaños, y por su paciencia.

Gracias al Ing. Miguel Calderón y a General Motors de México por sus amabilidades y atenciones, y por su contribución al desarrollo de esta tesis.

A mis alumnos, les agradezco todo lo que me han enseñado. Y a todas las personas que directa o indirectamente colaboraron al desarrollo de esta tesis, muchas gracias.

## INTRODUCCION

## INTRODUCCION 1

Una de las interrogantes mas dificiles con las que se encuentra el estudiante de noveno semestre que está a punto de concluir su carrera, es sobre el tema que se eligirá para desarrollar la Tesis Profesional.

Los puntos que se buscan para realizar tan importante elección son muy claros: originalidad, involucrar la creatividad, integrar los conocimientos adquiridos durante la carrera, aportar un bien a la sociedad, etc.

Para el aspirante a Ingeniero Electrónico, el desarrollar un instrumento completamente original, resulta una tarea prácticamente imposible; no obstante, se puede desarrollar una excelente tesis teniendo como base la adaptación y conversión de sistemas ya existentes.

La selección del tema de la presente tesis requirió, por parte del autor, de un análisis detallado de diversos objetivos; además, el autor tenía la inquietud de desarrollar un instrumento electrónico que fuera novedoso, y sobre todo, útil.

Se analizó la pregunta, ¿ qué instrumento de utilidad se puede implementar en una casa ? Surgió entonces la idea de construir un medidor remoto de nivel de gas para tanque estacionario. A medida que se analizaba la respuesta, levantaba cada vez más entusiasmo para el autor, al ir descubriendo que cumplía con muchos de los objetivos que se había planteado.

Desarrollar un dispositivo de este tipo, representa un bien a la sociedad, puesto que en la actualidad, no existe tal instrumento (solo existen de importación).

La importancia de tal dispositivo aumenta, si se considera lo siguiente : los tanques actuales cuentan con medidores mecánicos que obligan a efectuar la medición de la cantidad remanente, en el mismo lugar donde se encuentra el tanque, ya que el medidor no se puede separar de éste; la revisión del nivel resulta entonces una tarea incómoda, difícil y hasta peligrosa. En ocasiones, se requiere inclusive de una escalera portátil para tener acceso al lugar donde se encuentra el tanque, que generalmente es en un nivel superior a la planta baja. Mas aún, si se consideran los lugares donde habitan personas de edad avanzada, o personas que tienen una

movilidad limitada, se comprenderá la gran utilidad que aportará un sistema de este tipo.

El desarrollo de una Tesis Profesional implica una gran inversión de tiempo y esfuerzo. El presente trabajo se realizó considerando no tan solo el aspecto de la acreditación de la Tesis Profesional (como ocurre en ocasiones), sino su aplicación práctica y su trascendencia futura.

El autor está convencido de que ha desarrollado un instrumento de calidad, útil, apoyado en una completa investigación de criterios y medidas de seguridad, y está decidido a producirlo para su comercialización.

El problema cuya resolución se plantea en la presente tesis es muy claro :

realizar la medición del nivel de gas L.P. existente en un tanque presurizado, mediante la utilización de un transductor que convierta la medida del gas remanente en una señal eléctrica proporcional, la cual ha de ser interpretada por un instrumento colocado a distancia del tanque, donde la magnitud de la señal eléctrica así como el transductor deben cumplir con estrictas normas de seguridad. Adicionalmente, dicho sistema debe ser de fácil instalación, con un costo razonable que permita su adquisición por la familia promedio, y lo mas importante, debe ser seguro.

El autor reconoce que al empezar el desarrollo de esta tesis, pensó que implementar un instrumento que no fuera riesgoso para esta aplicación, implicaría un instrumento costoso y complicado. El lector comprenderá posteriormente que muchos de los aspectos que se creen conocer con respecto a seguridad y peligro de explosión, son infundados o exagerados. De hecho, y como posteriormente se comprenderá, los riesgos de que el instrumento desarrollado pueda provocar una catástrofe son prácticamente nulos.

Por último, se reconoce que el medidor que se presenta no es original. En efecto, en la industria existen diversos sistemas que efectúan la misma función que el instrumento desarrollado por el autor. Sin embargo, dichos sistemas son complejos, y la gran mayoría son de importación, lo que trae como consecuencia un costo elevado.

El sistema desarrollado proporciona la información en una forma sencilla y conveniente, y está orientado a resolver un problema específico que se presenta en nuestro país, que no había sido atacado previamente: la medición remota del nivel de gas L.P. en un tanque estacionario de uso doméstico.

## **CAPITULO I : GENERALIDADES SOBRE EL GAS L.P. DE USO DOMESTICO**

## " Generalidades sobre el gas L.P. de uso doméstico "

### 1.0 INTRODUCCION

Debido al riesgo potencial que existe en la instalación de un instrumento electrónico en un tanque estacionario para gas, es conveniente realizar una breve revisión de las propiedades físicas y químicas del gas que se utiliza para actividades domésticas. Esta revisión tiene por objeto evaluar e identificar muchas de estas características para, en otros capítulos, valorar los factores que pueden ser determinantes en el diseño del medidor electrónico.

El uso del gas L.P. (gas licuado de petróleo) como combustible, es uno de los problemas que se han presentado desde pasadas décadas, ya que ha registrado un fuerte incremento en consumo, y ha desplazado en gran medida a otros energéticos como el carbón de leña y el petróleo que se utilizaban con el mismo fin. El uso de estos dos energéticos ha quedado restringido a la población de muy escasos recursos, mientras que el gas L.P. ha sido aceptado definitivamente por la población urbana, debido a las comodidades que proporciona, que lo ha convertido en un combustible ideal en todo el mundo. Sin embargo, es de capital importancia mencionar que tanto el gas L.P. como el gas natural, independientemente de sus cualidades, son por su naturaleza inflamable altamente peligrosos cuando se manejan y usan con descuido, ocasionando por éste y otros motivos, siniestros con saldos a veces trágicos, causados por explosiones, flamaos, asfixias, etc. En todos los casos, estos sucesos son propiciados por el factor humano, pudiendo ser evitados.

### 1.1 ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS

#### 1.1.1 DEFINICIONES.

##### A) Gas Licuado de Petróleo (gas L.P.).

Este término denomina a los productos que están compuestos principalmente por cualquiera de los siguientes hidrocarburos o mezclas de ellos: propano, propileno, butano (normal e isobutano) y butilenos.

El gas L.P. es único entre los combustibles comunmente utilizados, porque bajo presiones moderadas y a la temperatura ordinaria, puede ser transportado y almacenado en una forma



liquida, pero cuando se libera a la presión atmosférica y a temperatura relativamente baja se evapora, y puede ser manejado y usado como un gas. Esta es una de las razones principales por las que es tan popular su uso.

#### B) Gas Natural.

Es un gas combustible, compuesto de hidrocarburos parafinicos que se encuentran en el subsuelo. Se obtiene tanto en campos de gas como en pozos petroleros. El gas natural consta en su mayor proporción de los dos hidrocarburos mas ligeros: el metano y el etano (gases no licuables a la temperatura ordinaria y bajo presiones débiles). Sin embargo, mezclados a este gas natural y en estado de vapor se encuentran, en menor proporción, otros hidrocarburos gaseosos y líquidos denominados "Líquidos de Gas Natural", en cuya denominación se incluyen usualmente al propano, los butanos, las gasolinas y otros mas pesados.

De las definiciones anteriores encontramos que el tipo de gas utilizado para actividades domésticas es el gas L.P. En lo sucesivo, nos referiremos principalmente a este tipo de gas.

#### 1.1.2 CLASIFICACION Y COMPOSICION.

Las compañías gaseras que distribuyen el gas L.P. lo adquieren exclusivamente de Petróleos Mexicanos (PEMEX). Por lo tanto, la calidad del gas que distribuyen depende de la calidad del gas que les proporciona PEMEX. En principio, el gas L.P. se debe formar de la mezcla 50/50 de dos componentes: propano y butano.

En la práctica, el gas L.P. que suministra PEMEX no contiene necesariamente esta proporción; es más, generalmente contiene otros componentes que se consideran impurezas, entre los que se encuentran: propileno, butileno, metano, etano, pentano, etc.; también contiene etil-mercaptano, que es el compuesto que se le adiciona para dar el olor desagradable, ya que en esencia, el gas L.P. es inodoro.

Los compuestos que forman el gas L.P. se dice que son "hidrocarburos alifáticos".

Los hidrocarburos, como su nombre lo indica, contienen, químicamente hablando: hidrógeno y carbono. En este caso, se dice que los hidrocarburos son acíclicos y saturados (alcanos). Son acíclicos pues tienen sus carbonos arreglados en cadenas abiertas; son saturados pues tienen sus carbonos unidos entre sí con una sola valencia. Estos hidrocarburos se llaman también parafinas, pues tienen poca afinidad. No son muy activos químicamente; sin embargo, son muy combustibles al arder.

Los compuestos que constituyen el gas L.P. se dice que forman parte de la "Serie del Metano".

Los cuatro principales componentes del gas L.P. se resumen en la tabla 1.1. Con fines comparativos también se ilustran (en esta y en otras tablas) al metano y al etano.

COMPUESTO	FORMULA MOLECULAR	FORMULA ESTRUCTURAL DESARROLLADA
metano	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>
etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>3</sub> -CH <sub>3</sub>
propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>
butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>

Tabla 1.1. Estructura química de los componentes del gas L.P.

### 1.1.3 DENSIDAD.

La densidad es una propiedad física que se especifica como la razón existente entre la masa de un cuerpo y el volumen que este ocupa. La densidad relativa es el cociente de dos densidades: la densidad del cuerpo que se analiza y la densidad de otro que se toma como referencia (agua, aire, etc.).

La densidad relativa del gas L.P., en estado gaseoso, es de 1.522 para el propano, y de 2.006 para el butano (aire=1), lo que indica que es más pesado que el aire. En estado líquido, las densidades relativas del propano y del butano son de 0.51 y 0.58 respectivamente (agua=1).

En caso de una fuga dentro de un recinto sin ventilación, el gas tenderá a acumularse en la parte inferior (en condiciones normales de temperatura y presión atmosférica, se encuentra en estado gaseoso), formando una mezcla con el aire que, en determinadas ocasiones, se constituye en una mezcla inflamable.

En comparación, el metano tiene una densidad de 0.554 y el etano una densidad de 1.038 (en ambos casos, para el estado gaseoso). La densidad relativa típica del gas L.P. es de aproximadamente 1.8 (para su estado gaseoso).

#### 1.1.4 PUNTO DE EBULLICION.

El punto de ebullición de un líquido se define como aquella temperatura (a presión determinada) a la cual el líquido comienza a evaporar, es decir, pasa de la fase líquida a la gaseosa.

El punto de ebullición de los principales componentes del gas L.P. se resumen en la tabla 1.2.

COMPUESTO	PUNTO DE EBULLICION (°C)
metano	- 161.4
etano	- 88.6
propano	- 41.1
butano	- 0.5

Tabla 1.2. Puntos de ebullición de los componentes del gas L.P.\*

Para obtener vapor del gas L.P. es necesario mantener su temperatura por arriba del punto de ebullición. Para el gas L.P. que se maneja en estado líquido, la temperatura ambiente está por arriba del punto de ebullición, permitiendo aprovecharlo en estado gaseoso, ya que el intercambio de calor con el ambiente es suficiente para evaporarlo (para un tanque hermético, no olvidar que parte del gas se conserva en estado líquido debido a la presión existente en el recipiente).

\* Considerando una presión de 0 PSIG.

### 1.1.5 RELACION DE EXPANSION DE LIQUIDO A VAPOR.

La gasolina y otros líquidos inflamables similares permanecen líquidos cuando están a presión atmosférica, exceptuando por una pequeña vaporización que se va produciendo con el aire, pero el propano y el butano cuando se extraen del recipiente que los contiene, rápidamente se expanden transformándose de líquidos a gases a razón de 269 por uno en el propano y de 234 por uno en el butano, considerando una presión atmosférica y una temperatura de 15.5 °C.

La relación de expansión debe ser recordada en todo momento. Cuando el gas L.P. es derramado al aire libre, fácilmente se expande y se mezcla con el aire, llegando a formar mezclas inflamables.

Un litro de propano líquido se convierte en 269 litros de vapor, y estos forman aproximadamente 11,500 litros de mezcla inflamable. De aquí la importancia que tiene el evitar cualquier fuga de gas en estado líquido.

### 1.1.6 LIMITES DE INFLAMABILIDAD.

Los límites de inflamabilidad se definen como la composición limitante de una mezcla aire-gas más allá de la cual la mezcla no podrá encenderse ni propagarse.

El límite superior. Es aquel arriba del cual una cantidad mayor de gas actúa como un diluyente y la combustión no puede autopropagarse.

El límite inferior. Representa la proporción más pequeña de gas en aire que encenderá sin la aplicación continua de calor de una fuente externa.

Los límites de inflamabilidad para los principales componentes del gas L.P. se resumen en la tabla 1.3.

Debido a que el gas L.P. es una mezcla (algo variable) de compuestos (principalmente de propano y butano), los datos referentes al límite inferior y superior de inflamabilidad no pueden obtenerse directamente a partir de la tabla 1.3. Sin embargo, la Asociación Nacional de Técnicos de Gas, A.C., establece que para fines prácticos, los límites de inflamabilidad para el gas L.P. son \*:

Límite inferior = 2.0 % ; Límite superior = 10.0 %

\* Porcentaje gas-aire (aire puro = 100 %).

COMBUSTIBLE	LIMITE *	
	INFERIOR	SUPERIOR
metano	5.0	15.0
etano	3.0	10.6
propano	2.1	10.1
butano	1.86	8.91

Tabla 1.3. Límites de inflamabilidad para componentes del gas L.P.

### REGION DE INFLAMABILIDAD PARA EL GAS L.P.

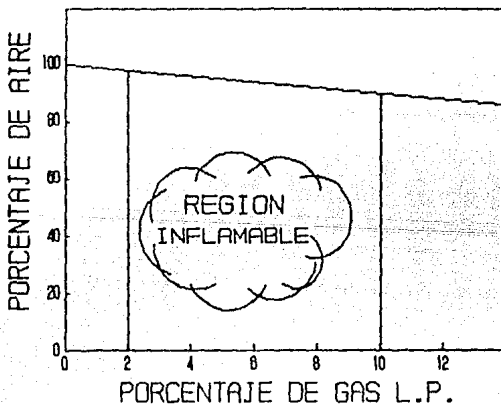


Figura 1.1. Porcentaje de mezcla gas-aire en donde el gas L.P. puede arder libremente.

\* Límite en porcentaje de mezcla con respecto al aire.

### 1.1.7 TEMPERATURA DE ENCENDIDO.

La temperatura de encendido es aquella en la cual la flama se autopropaga debido a que el calor de combustión de la reacción es lo suficientemente grande para mantener la reacción en esas condiciones. Abajo de esta temperatura no es posible quemar continuamente la mezcla, a menos que se cuente con una fuente exterior de calor que mantenga la reacción y que compense las pérdidas de calor presentes.

En la temperatura de encendido intervienen un gran número de factores, por lo que no es posible considerarla como una propiedad fija del gas. Sin embargo, esta es una característica muy importante en el proceso de combustión que además considera, implícitamente, los límites de inflamabilidad.

La temperatura de encendido sirve como base para consideraciones técnicas de seguridad con respecto a los objetos en contacto con la mezcla gaseosa. En efecto, de acuerdo a esto, la temperatura de encendido también se define como la temperatura mas baja de una superficie que, en contacto con el material combustible mezclado con aire, provoca la combustión. La temperatura de combustión de líquidos y gases se puede determinar de acuerdo al método especificado en la norma alemana DIN 51 794.

Las temperaturas de encendido para los principales componentes del gas L.P. se resumen en la tabla 1.4.

COMBUSTIBLE	TEMPERATURA °C
metano	785
etano	528
propano	466
butano	485

Tabla 1.4. Temperaturas de encendido (componentes gas L.P.).

Al realizar la combustión del propano, este genera 2,474 Kcal por cada kilogramo de material que se quema, mientras que el butano tiene una energía de combustión de 2,448 Kcal por kg.

### 1.1.8 PRESION DE VAPOR.

Se entiende por presión de vapor a la presión interna de un líquido debida al choque interno de sus moléculas.

La presión de vapor está en función directa de la temperatura, en virtud de que al incrementarse la temperatura, aumenta la presión de vapor.

Cuando se tiene gas L.P. líquido en un recipiente cerrado, y la temperatura es superior a aquella especificada por el punto de ebullición, parte del líquido de la superficie se convierte en vapor. La conversión del líquido a vapor tiene un límite. A medida que el líquido se transforma en vapor, la presión dentro del recipiente aumenta (pues aumenta la masa en estado gaseoso) hasta alcanzar una cierta presión de equilibrio. En este punto, cualquier evaporación adicional del líquido implica una condensación (es decir, vapor que regresa al estado líquido). Esta presión de vapor es característica para cada componente del gas L.P., y es además, función de la temperatura.

Ahora bien, cuando se succiona vapor de un recipiente cerrado que contiene vapor y líquido, el líquido hierve a menor temperatura (pues baja la presión), siempre y cuando la succión no ocasione una baja en la temperatura tal que el gasto requerido no provoque un enfriamiento excesivo o congelación.

A medida que desciende el nivel del líquido en el recipiente, su capacidad de vaporización también se ve disminuida, ya que la superficie del gas en estado líquido en contacto con las paredes del recipiente es menor, y por lo tanto, hay menos absorción de calor proveniente del medio ambiente.

Para el diseño de tanques para gas L.P., generalmente se maneja una presión de vapor máxima de 17.58 kg/cm<sup>2</sup>. Esta presión la alcanza el propano a más de 55 oC (para que el butano alcance una presión similar, la temperatura debe ser mucho mayor), pero debido a que el gas L.P. es una mezcla de propano y butano, la temperatura a la que se alcanza esta presión es muy superior a aquella que se puede registrar en la operación normal de un tanque de este tipo.

La figura 1.2 muestra las presiones de vapor para el propano y el butano a diferentes temperaturas.

## PRESION DEL PROPANO Y BUTANO EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

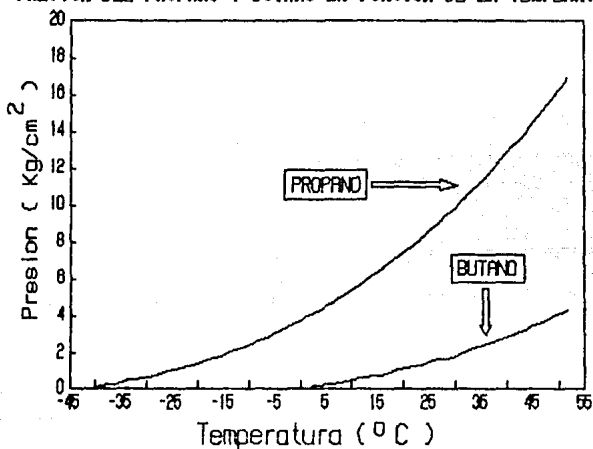


Figura 1.2. Presión de vapor del propano y del butano en función de la temperatura.

### 1.1.9 COEFICIENTE DE DILATACION.

Si se incrementa la temperatura del gas líquido, a presión constante, se observa un incremento en el volumen del líquido.

El coeficiente medio de dilatación volumétrico (o cúbico) es aquel que, al multiplicarse por el producto del volumen inicial y el incremento de temperatura, da por resultado el incremento en el volumen.



$$\text{Si } v = \beta v_o \Delta t \quad \dots 1.1$$

$$\text{Entonces } \beta = \frac{\Delta v}{v_o \Delta t} \quad \dots 1.2$$

$$\Delta v = v_f - v_o \quad \dots 1.3 \quad \text{y} \quad v_f = v_o (1 + \beta \Delta t) \quad \dots 1.4$$

donde :

$\Delta v$  = dilatación volumétrica.

$v_f$  = volumen final.

$v_o$  = volumen inicial.

$\Delta t$  = incremento de temperatura.

$\beta$  = coeficiente de dilatación volumétrica,  
sus unidades :  $\{ (Lt)^{-1} \} \times (oC)^{-1}$

El valor de este coeficiente varía de acuerdo a la temperatura. La tabla 1.5 resume los valores medios del coeficiente de dilatación térmica para dos rangos de temperatura.

RANGO DE TEMPERATURA oC	COEFICIENTE DE DILATACION	
	PROPANO	BUTANO
-18 a 18	0.001316	0.000988
18 a 38	0.00174	0.00118

Tabla 1.5. Valores medios del coeficiente de dilatación térmica.

Debido a que los valores de este coeficiente son tan pequeños, no representarán un factor de consideración en el diseño del medidor electrónico.

## 1.2 CONCLUSION SOBRE EL CAPITULO

De las definiciones, tablas y datos proporcionados en este capítulo, se concluye que no es posible obtener las características y propiedades físicas exactas del gas L.P., debido a los siguientes factores :

- 1> El gas L.P. es una mezcla, principalmente de propano y butano.
- 2> De una muestra de gas L.P. a otra, existen cambios en los porcentajes de los componentes de la mezcla. Para propósitos prácticos, siempre se toma 50/50 de propano y butano.

Sin embargo, se pueden obtener las características aproximadas del gas L.P. tomando la media de las características del propano y butano. Para cuestiones de diseño, se toma siempre aquel componente que presente los parámetros mas críticos para el diseño en cuestión.

Las características y definiciones contenidas en este capítulo se presentaron con el objeto de familiarizar al lector con el elemento a ser medido ; el gas L.P. En capítulos posteriores se harán algunas referencias a lo aquí tratado.

## **CAPITULO II : CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA PROTECCION CONTRA EXPLOSION**

## "Conceptos fundamentales de la protección contra explosión"

### 2.0 INTRODUCCION

Al plantear la construcción de un instrumento como el que se presenta en esta tesis surge una pregunta obligada: ¿ será seguro ?

Este capítulo tiene por objetivo dar una explicación general sobre la fenomenología de la explosión, así como discutir las características básicas y clasificación de las medidas de seguridad de la instrumentación y equipo con protección contra la explosión.

No es raro suponer que un medidor de este tipo puede ser riesgoso para un tanque de gas estacionario; vale la pena mencionar que estos tanques, en buenas condiciones, son sistemas muy seguros, por lo que el peligro de que surja una catástrofe es mínimo.

Se espera que al finalizar este capítulo el lector comprenda que muchos de sus temores sobre la posibilidad de explosión son infundados o exagerados.

A lo largo de este capítulo se hacen referencias a normas tales como DIN, EN, VDE etc.; una breve explicación y comparación sobre éstas se hace en el inciso 2.4.

### 2.1 LA EXPLOSION

En áreas donde pueden formarse mezclas potencialmente explosivas de gas y aire, la presencia de aparatos eléctricos que producen chispas durante su operación o temperaturas elevadas en sus cubiertas como resultado de fallas internas, constituye una fuente potencial de peligro.

Comunmente se asocia la palabra "explosión" con la idea de un incidente involuntario cuyos efectos escapan al control humano, pudiendo herir a personas y dañar instalaciones y equipo. El peligro de una explosión esta latente en cualquier lugar donde se manejen materiales combustibles y exista una posible fuente de ignición.

Debido a que cada equipo puede convertirse en una fuente de ignición, y por lo tanto, provocar daños a la propiedad y al público, el estado y la sociedad demandan medidas

encaminadas a prevenir estos riesgos.

El hecho de que raramente ocurran explosiones, a pesar de la existencia de innumerables atmósferas explosivas en la industria, es prueba de que las medidas adoptadas han sido efectivas.

### 2.1.1 DEFINICION.

Por explosión se entiende la reacción exotérmica de oxidación (combustión) a gran velocidad de un gas, vapor, niebla o polvo, y el oxígeno. En la reacción se desprende calor, el cual conduce a una elevación de la presión con la consecuente característica asociada de destrucción.

### 2.1.2 PELIGRO DE EXPLOSION.

Siempre que se manejen o utilicen materiales combustibles se dice que existe un riesgo de explosión. Para que exista un peligro de explosión, es necesario que se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones :

- A) Que exista un material combustible en condiciones normales de operación o en caso de una falla.
  - El combustible adopta una condición tal, que puede formar una mezcla con el aire.
  - El combustible se puede presentar en cualquiera de los tres estados físicos. Ejemplos : gas, vapor, niebla, polvo, sólidos en suspensión, etc.
- B) Existe un elemento que se combina con el material para realizar la combustión, es decir, un comburente: el oxígeno.
- C) Está presente una posible fuente de ignición :
  - Chispas y arcos eléctricos, resultado de apertura y cerrado de circuitos, descargas de equipo, etc.
  - Chispas mecánicas, ocasionadas por fricciones en partes de equipo.
  - Superficies con alta temperatura, ejemplo: conductores en un embobinado de motor.
  - Flamas.

Además de estas condiciones, es necesario que, una vez que se ha iniciado la combustión, ésta se pueda propagar.

Ahora bien, cuando se presentan todas estas condiciones, no necesariamente implica que se vaya a registrar una explosión; es preciso que estos elementos se presenten en proporciones y magnitudes adecuadas.

Según la recomendación IEC 79-10, las fuentes de peligro que pueden provocar una explosión, se clasifican de la siguiente forma :

a.1) Fuentes de peligro de primer grado.

a.1.1) Maquinaria y equipo que pueden liberar una substancia inflamable durante el curso de su operación normal.

a.1.2) Equipo que contiene una substancia inflamable y que está construido de un material que puede romperse facilmente.

a.2) Fuentes de peligro de segundo grado.

a.2.1) Maquinaria y equipo que pueden liberar una substancia inflamable durante el curso de una operación anormal (fuga o reventón).

De esta clasificación es evidente que se puede considerar a un tanque de gas estacionario como una fuente de peligro de segundo grado.

2.1.3 ATMOSFERAS POTENCIALMENTE EXPLOSIVAS. CLASIFICACION.

Se habla de una atmósfera potencialmente explosiva cuando existe una substancia inflamable en fase gaseosa que se combina con el aire bajo condiciones atmosféricas normales. Por condiciones atmosféricas normales se entiende presiones de 0.8 a 1.1 bares y temperaturas de -20 a +60 °C. Si la ignición de una mezcla tal representa directa o indirectamente un peligro para el hombre, se habla de una atmósfera peligrosa.

La cantidad de atmósfera explosiva que potencialmente es peligrosa depende del volumen del local que la contenga. Más de 10 litros de atmósfera explosiva en locales cerrados se consideran siempre como peligrosos.

Una atmósfera explosiva también puede presentarse aunque la substancia inflamable se encuentre en estado líquido, ya que por evaporación pasará al estado gaseoso.

En referencia al inciso 1.1.5 del capítulo I, 1 litro de gas en estado líquido se convierte en aproximadamente

252 litros de vapor, y éstos forman unos 11,000 litros de mezcla inflamable. De aquí la importancia de que los recipientes que contienen gas se encuentren en una zona al aire libre para evitar la formación de una atmósfera explosiva en caso de fuga.

Todas aquellas Áreas donde puedan existir atmósferas explosivas en cantidades peligrosas, ya sea por condiciones normales o anormales de operación, son consideradas como "Áreas de riesgo".

Estas Áreas de riesgo se dividen, según la recomendación IKC 79-10, en ciertas zonas dependiendo de las condiciones temporales y a las posibilidades de la existencia de atmósferas explosivas. La clasificación es la siguiente :

#### Zona 0.

La "Zona 0" abarca aquellos lugares en los que la atmósfera explosiva debida a gases, vapores o nieblas, se encuentra presente permanentemente o por largos periodos de tiempo.

A esta zona pertenecen, en general, solamente el interior de recipientes o aparatos (depósitos, evaporadores, reactores, etc.), por lo que es la zona mas critica y la que exige una instrumentación con las máximas medidas de seguridad posibles.

#### Zona 1.

La "Zona 1" es un Área en donde es razonable suponer la existencia ocasional de una atmósfera explosiva debida a gases, vapores o nieblas.

A esta zona pertenecen:

- El inmediato contorno de la Zona 0.
- El inmediato contorno de aberturas de llenado.
- El inmediato contorno de equipos de carga y trasiego.
- El inmediato contorno de equipos o canalizaciones frágiles (de vidrio o cerámicos).
- El inmediato contorno de ejes no absolutamente estancos como, por ejemplo, en bombas o compuertas.

#### Zona 2.

La "Zona 2" abarca aquellas Áreas en donde se presenta una atmósfera explosiva solo raramente y por poco tiempo.

A esta zona pertenecen:

- El inmediato contorno de la zona 1.
- El inmediato contorno de juntas embridadas.

Aquellos lugares donde existe peligro debido a polvos potencialmente explosivos se clasifican como Zonas 10 y 11.

Para objeto de la presente tesis, se consideró que el área donde se coloca el sensor del instrumento se clasifica como una ZONA 1. En efecto, el sensor se sitúa en el inmediato contorno de una abertura de llenado, por lo que existirá una atmósfera explosiva ocasionalmente, posibilidad que se presenta generalmente sólo cuando se realiza el llenado del tanque, pues en esta operación es inherente la ocurrencia de pequeñas fugas.

En cuanto al instrumento (la parte electrónica), éste no está localizado en una zona de riesgo en sí (pues generalmente se localizará en la cocina); sin embargo, debe cumplir con ciertas normas de seguridad que se tratarán posteriormente.

#### 2.1.4 LIMITES DE EXPLOSION/CONCENTRACION.

La ignición de una mezcla combustible-comburente es posible solamente, como se mencionó en el capítulo I, cuando la proporción de los componentes de la mezcla se encuentra entre dos límites, denominados límite inferior y límite superior de inflamabilidad.

Por debajo del límite inferior, la concentración es demasiado pobre, el contenido de oxígeno en aire demasiado alto, y no existe posibilidad de explosión. De realizarse la combustión, ésta tenderá a apagarse.

Por encima del límite superior, la concentración es demasiado rica y aunque la mezcla puede arder, no hay realmente riesgo de explosión.

De acuerdo a lo anterior, de producirse chispas en el interior de un tanque de gas, o cualquier tanque que contiene únicamente combustible, nunca se registrará una explosión, debido a la carencia de oxígeno necesario para efectuar la reacción (pues la substancia dentro del tanque está por encima del límite de explosión).

Por lo tanto, el peligro de explosión solamente existe en un determinado margen de concentración. Logicamente, cuanto mayor sea este margen, mayor es el peligro que conlleva la substancia inflamable.

En el inciso número 1.1.6 del capítulo I se muestran los límites inferior y superior de inflamabilidad referentes a los componentes del gas L.P. Generalmente, los términos "límite de inflamabilidad" y "límite de explosión" se utilizan en forma indistinta para designar el mismo concepto; sin embargo, existen pequeñas diferencias de valor entre ellos. La forma en



que se determinan es diferente. Estrictamente hablando, los límites de explosión apenas están contenidos dentro de los límites de inflamabilidad (v. 2.1.6).

## LIMITES DE EXPLOSION / CONCENTRACION

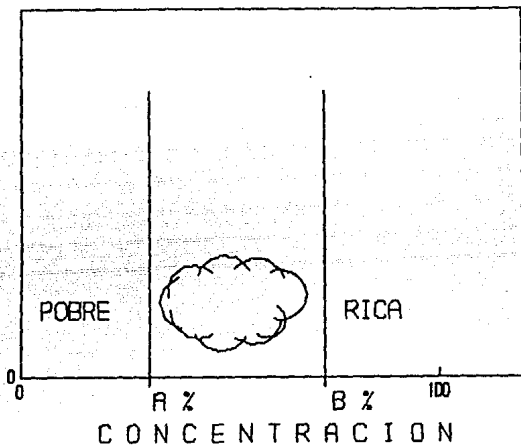


Figura 2.1. La explosión en función de la concentración.

### 2.1.5 PRESION MAXIMA DE EXPLOSION.

Al experimentar con la presión resultante de una explosión, se observa que hay un límite inferior de concentración con la cual no se puede producir la explosión a pesar de provocar la ignición gran número de veces.

En algunos casos, un aumento de la concentración en apenas unas décimas por ciento, da ya lugar a presiones de explosión de hasta 5 bares, como se aprecia en el ejemplo de la figura 2.2 que corresponde a una mezcla de bencol-aire.

En el desarrollo de una explosión, es importante observar que la concentración mas inflamable es al mismo tiempo la que provoca mayores presiones, y por lo tanto, mayor destrucción. Para el caso del gas L.P., la concentración mas riesgosa es de

alrededor de 5.5 % .

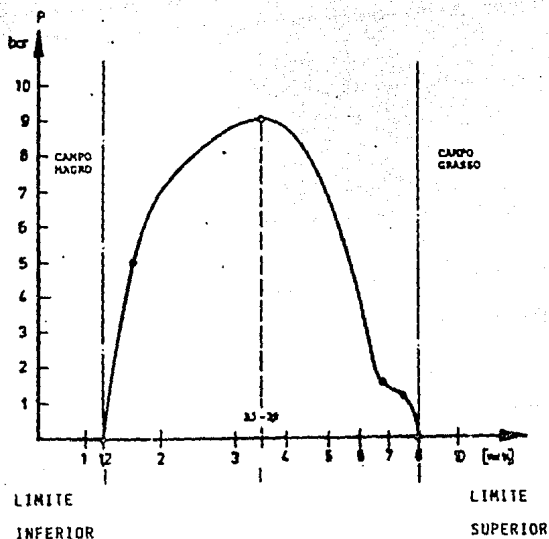


Figura 2.2. Presión máxima en función de la concentración para bencol-aire.

#### 2.1.6 VELOCIDAD DE REACCION.

Si la velocidad de combustión de la mezcla gas-aire es a grandes rasgos de centímetros por segundo, se habla de explosión débil (petardeo).

Si la velocidad está en el margen de metros por segundo, hablamos de explosión, y si está en el orden de km/s, se habla de detonación.

Cuando se trata de pequeñas cantidades de gas o vapor, o en el caso de que la atmósfera no esté convenientemente mezclada, lo que se obtiene normalmente es una débil explosión. Sin

embargo, si inflamamos una mezcla explosiva en un tubo largo, la propagación de la reacción puede acelerarse tanto que de explosión pase a detonación. En una detonación, se alcanzan presiones superiores a los 20 bares.

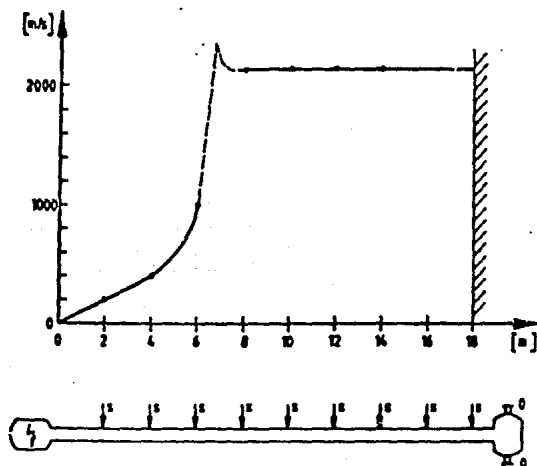


Fig. 2.3. Velocidad de reacción medida en un tubo según DIN 88 para una mezcla propano-aire (8.2 % en volumen de propano).

#### 2.1.7 CAPACIDAD DE PROPAGACION.

Si en una explosión ya provocada se enfría considerablemente el frente de flama, la combustión puede llegar a detenerse. Esto puede conseguirse, por ejemplo, haciendo que la flama atraviese pequeños intersticios, con lo cual, el calor disipado puede llegar a ser mayor que el originado por la reacción exotérmica.

## Intersticio Máximo Experimental (MESG).

Con la ayuda de un instrumento, se realiza un experimento para determinar el intersticio máximo con el que se apaga, o deja de propagarse, un frente de flama de una mezcla dada.

Para los aparatos eléctricos con el tipo de protección denominado "envolvente antideflagrante" (se discutirá posteriormente), los gases y vapores que rodean a estos aparatos se subdividen de acuerdo al Intersticio Máximo Experimental.

La instalación de equipo eléctrico completamente sellado y encapsulado no es posible en muchos casos, debido a la necesidad inevitable de pequeñas rendijas y orificios.

En el caso de equipo eléctrico que produce chispas o arcos durante el curso de su operación normal, existe la posibilidad de que atmósferas explosivas penetren en el gabinete y hagan ignición. Sin embargo, y como se mencionó, es posible prevenir la propagación de la ignición del interior del aparato a la atmósfera exterior si se obliga a la flama a pasar a través de pequeños intersticios; al pasar por éstos, se extrae calor de la flama, por lo que la temperatura se reduce a tal grado que la combustión cesa y la flama se extingue. Existen varios factores que resultan decisivos para la determinación del ancho del intersticio que logra que la flama se extinga. Entre éstos encontramos varias propiedades de la mezcla, como la densidad, calor específico, temperatura de combustión y calor de conductividad, entre otros.

Por lo tanto, este concepto se utiliza en instrumentación que esta localizada en la misma atmósfera explosiva. Sin embargo, esto no es aplicable al instrumento tratado en esta tesis, pues éste se localizará en un lugar alejado de la zona donde se puede registrar una atmósfera explosiva (posteriormente analizaremos el hecho de que el sensor si se encuentra en una zona con peligro de atmósfera explosiva).

## 2.2 LA SEGURIDAD CONTRA LA EXPLOSION

### 2.2.1 PROTECCION PRIMARIA.

Una explosión se evita ya sea asegurándose de la no aparición de la atmósfera explosiva, o bien, tomando las medidas de protección necesarias que eviten la ignición. Es por ello que se da prioridad a las medidas que eviten o limiten a la atmósfera explosiva, y se les llama PROTECCION PRIMARIA.

Dentro de estas medidas, encontramos las siguientes :

- Evitar o restringir las sustancias inflamables.
- Aumentar el punto de combustión.
- Limitar la concentración.
- Inertizar.
- Ventilar.
- Instrucción del personal que utiliza el equipo.

## 2.2.2 PROTECCION SECUNDARIA.

Debido a que la protección primaria tiene muchas limitantes, aunadas al hecho de que en muchos casos es impráctico aplicar estas medidas, surge el concepto de protección secundaria.

El enfoque de la protección secundaria es el de aplicar protecciones que anulen a las fuentes de ignición, o de suceder la explosión, medidas que restrinjan sus efectos a un nivel que no causa daño.

De la probabilidad de la aparición y duración de la atmósfera explosiva (división en zonas), dependen las exigencias de los materiales e instrumentos a aplicar en las zonas con atmósfera explosiva.

### 2.2.2.1 CLASIFICACION.

A> EN GRUPOS DE EXPLOSION :

Se utiliza el método MESG:

En un aparato normalizado, se obtiene por experimentación con ciertas mezclas gas-aire el intersticio mínimo de propagación (véase 2.1.7).

La clasificación de las sustancias explosivas según el intersticio máximo de seguridad se realiza en los llamados grupos de explosión. El sumario de estos grupos se muestra en la tabla 2.1 .

GRUPO DE EXPLOSION	PROPAGACION PARA	EJEMPLO
A	> 0.9 mm	metano
B	> 0.5 mm < 0.9 mm	etileno
C	< 0.5 mm	hidrógeno

Tabla 2.1. Clasificación en grupos de explosión.

**B> EN CLASES DE TEMPERATURA :**

Esta clasificación se efectúa considerando la temperatura de ignición de cada uno de los combustibles (véase 1.1.7). Se realiza en un aparato de experimentación especial, bajo condiciones prefijadas.

Dentro de esta clasificación se detectan seis diferentes clases de temperatura. Estas se resumen en la tabla 2.2.

TEMPERATURA DE IGNICION °C	CLASE DE TEMPERATURA	TEMPERATURA SUPERFICIAL MAX. ADMISIBLE
> 450	T1	450
> 300	T2	300
> 200	T3	200
> 135	T4	135
> 100	T5	100
> 85	T6	85

Tabla 2.2. Clasificación de acuerdo a temperatura de ignición.

## 2.3 EQUIPO ELECTRICO PARA ATMOSFERAS EXPLOSIVAS

Todo equipo eléctrico que se desee instalar en un lugar donde exista riesgo de explosión, debe haber sido previamente aprobado, clasificado y sometido a pruebas.

La selección del equipo eléctrico adecuado para una cierta área con peligro de explosión depende fundamentalmente de las siguientes consideraciones :

- 1> Temperatura de Ignición.
- 2> Intersticio Máximo de Seguridad.
- 3> Corriente Mínima de Ignición.

2.3.1.1 Temperatura de Ignición (V. 1.1.7 y 2.2.2.B).

2.3.1.2 Intersticio Máximo de Seguridad (V. 2.1.7 y 2.2.2.A).

2.3.1.3 Corriente Mínima de Ignición.

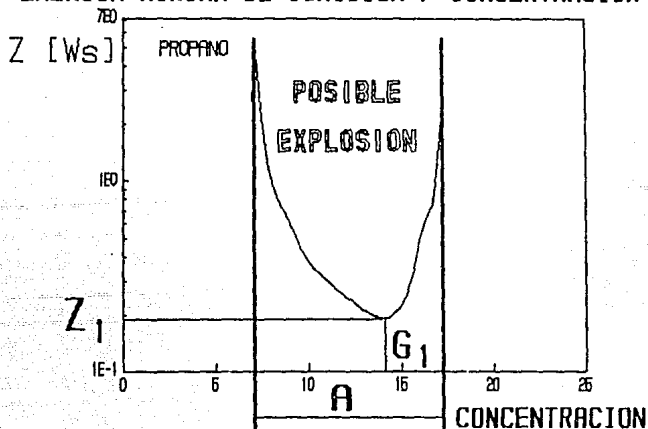
En el caso de aparatos eléctricos con seguridad intrínseca (se hablará de esto posteriormente), los gases y vapores se subdividen de acuerdo a su corriente mínima de ignición (MIC).

Para que una chispa pueda provocar la ignición de una atmósfera explosiva, ésta debe tener una cierta cantidad de energía mínima. Este contenido de energía mínima necesaria es una propiedad específica de los gases y vapores inflamables; el criterio que se toma para especificar su magnitud está basado en la comparación de la energía mínima que es necesario suministrar al metano, en condiciones controladas de laboratorio, para provocar su ignición.

La corriente mínima de ignición se determina de acuerdo a un método estandarizado y debe realizarse con la instrumentación necesaria de acuerdo a la norma europea EN 50 020 en su Anexo B.

La figura 2.4 ilustra la dependencia existente entre la energía mínima de ignición y la concentración para el metano. La tabla 2.3 muestra la energía mínima de ignición necesaria para ciertos gases y materiales.

## ENERGIA MINIMA DE IGNICION / CONCENTRACION



Donde:

- $Z$  = Energía de ignición.
- $Z_1$  = Mínima energía de ignición ( $0.23$  m Ws (milijoules) para el propano).
- $G_1$  = Concentración con la menor energía de ignición.
- $A$  = Margen de posible ignición.

Fig. 2.4. Dependencia entre la energía mínima de ignición y la concentración para el gas propano.



SUBSTANCIA	ENERGIA MINIMA DE IGNICION ( m Wa )
metano	0.28
propano	0.23
metanol	0.22
benzol	0.20
acetileno	0.019
hidrógeno	0.019
sulfuro de carbono	0.009
cacao	100
carbón	40
nylon	20

Tabla 2.3 . Energia minima de ignición de algunas sustancias.

Tanto el intersticio máximo experimental (MESG) como la razón de la corriente mínima de ignición (MIC) son relativos y proporcionales. Por lo tanto, con el objeto de poder clasificar a los gases y vapores para que estén de acuerdo a los requerimientos de protección contra explosión, es suficiente determinar tan solo una de las dos propiedades para la mayoría de las mezclas gas/aire o vapor/aire utilizadas en la industria.

### 2.3.2 CLASIFICACION.

Sería antieconómico construir todos los aparatos con protección contra explosión de tal forma que cada uno estuviera por debajo de las condiciones más críticas en relación a temperatura de ignición, transmisión de flama e inflamabilidad de los gases. Por lo tanto, estos aparatos eléctricos se dividen en grupos y en clases de temperatura.

De acuerdo a esto, el Grupo I comprende aquellos aparatos para utilizarse en minas.

El Grupo II comprende al resto de los aparatos a utilizar en cualquier otra área de riesgo.

Para algunas categorías de protección es necesario el subdividir a los aparatos eléctricos del grupo II en las categorías A, B y C. En el caso de aparatos con envolvente antideflagrante, esta subdivisión se basa en el intersticio máximo de seguridad (MESG), mientras que para el caso de equipo con seguridad intrínseca, se considera la corriente mínima de ignición.

El equipo eléctrico del grupo II se divide en clases de temperatura, de acuerdo a la temperatura superficial máxima permitida (Ver tabla 2.2). La temperatura mínima de ignición de una atmósfera explosiva en donde se encuentra el equipo eléctrico debe ser mayor que la temperatura superficial máxima permitida del aparato.

Estas clasificaciones permiten un diseño económico del equipo eléctrico, donde los requerimientos son más estrictos de acuerdo al orden ascendente de las letras, mientras que los requerimientos en lo concerniente a máxima temperatura superficial permisible en contacto con la atmósfera explosiva, se incrementan de acuerdo al orden ascendente de números.

Por lo tanto, se entiende que un instrumento que satisface los requerimientos para una temperatura clase T3 también se podrá aplicar a una atmósfera con temperatura clase T1 o T2.

La clasificación de un selecto grupo de gases, en cuanto a grupos de explosión y clase de temperatura se muestra en la tabla 2.4. De acuerdo a esta tabla, se concluye que los componentes del gas L.P. caen dentro del grupo de explosión IIA y tienen una clase de temperatura T2 (El butano cae en T2, por lo que presenta la temperatura más crítica).

### 2.3.3 TIPOS DE PROTECCION.

De acuerdo a la norma alemana VDE 0170/0171/Parte 1 - DIN 50 014, los aparatos a utilizar en atmósferas explosivas se pueden definir en varios tipos de protecciones.

Básicamente existen seis tipos de protecciones, cada una de las cuales se fundamenta en diferentes principios que se deben tomar en consideración.

#### 2.3.3.1 Envoltente antideflagrante.

Las partes componentes de un aparato eléctrico, las cuales pueden provocar la ignición de una atmósfera explosiva, se encapsulan en una envoltente, la cual puede resistir el incremento en presión ocasionado por una explosión de una mezcla explosiva dentro de ésta, sin que exista una propagación de la explosión interna al exterior, donde se encuentra una atmósfera peligrosa rodeando al aparato.

Este tipo de protección se puede aplicar a aquellos aparatos eléctricos que constan de :

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	Metano					
IIA	Acetona Etano Etil acetato Amoniac Benzeno Acido acético Monóxido de Carbono Metanol Propano	Etil-alcohol 1-Amilacetato n-Butano n-Butil-alcohol	Petróleo Diesel Gas-avión n-Hexano	Acetaldehido Eter acético		
IIB		Etileno				
IIC	Hidrógeno	Acetileno *			Bisulfito de Carbono	Nitrito de Etilo *

Tabla 2.4 . Clasificación de ciertos gases en grupos de explosión y clases de temperatura.

\* Esta clasificación no es oficial.

- Una envolvente metálica sin límite en volumen.

- Una envolvente no metálica, si es que el volumen libre no es superior a los 3000 cm<sup>3</sup>, o sin límite de volumen libre si es que la envolvente está construida en parte por material no metálico, y si su superficie es no metálica e inferior a 500 cm<sup>2</sup>.

Todo equipo con esta protección debe ser capaz de resistir la presión que surge en el evento de que ocurra una explosión en su interior. Las especificaciones al respecto incluyen tablas detalladas en donde se registran ancho de hendidura mínimo en relación a la longitud de hendidura y grupo de explosión, con el objeto de garantizar la prevención de la transmisión de la flama.

Este tipo de protección es de especial importancia para los motores y equipo de conmutación.

Ejemplos de aparatos donde se aplica esta protección :

- Motores con conmutadores.
- Unidades de conmutación NA y NC (normalmente abierto y normalmente cerrado, respectivamente), tales como interruptores de protección para motores, contactores, unidades de control, fusibles.
- Transformadores.
- Instrumentos de medición.
- Resistencias.
- Lámparas.
- Transmisores.

#### 2.3.3.2 Seguridad aumentada "e".

Se han desarrollado medidas para prevenir, con un alto grado de seguridad, la existencia de chispas, arcos eléctricos o temperaturas inadmisibles en los componentes del aparato eléctrico, tomando en cuenta que éstas no ocurren en el curso de la operación normal. Este tipo de protección se puede aplicar tanto al equipo eléctrico como a sus partes individuales, considerando que tanto el equipo como sus partes no deben producir arcos, chispas o temperaturas peligrosas en su uso normal; en éstos, el voltaje nominal no excederá los 11 kV.

En comparación con el diseño convencional, la "seguridad aumentada" se logra mediante la aplicación de medidas especiales encaminadas a prevenir la formación de fuentes de

ignición. Debido a que estas medidas no pueden prevenir por sí solas que el equipo pueda exceder ciertas temperaturas permisibles, las regulaciones requieren de la operación adicional de dispositivos de protección.

Comparado con el tipo de protección, "envolvente antideflagrante", la principal diferencia es la siguiente: mientras que con la protección "envolvente antideflagrante" se asume que una explosión podrá ocurrir en el interior del aparato, de tal forma que la envolvente no permitirá la comunicación de la explosión al exterior, el tipo de protección "seguridad aumentada" se basa en el principio de prevenir aquellas fuentes de ignición que pueden provocar una explosión.

Este tipo de protección solo es permisible en aparatos eléctricos que, bajo condiciones normales de operación, no se consideren fuentes de ignición; por lo tanto, dispositivos de conmutación tales como interruptores protectores de motores, contactores, etc., los cuales producen chispas en su operación normal, no pueden considerarse para este tipo de protección.

Mientras que para otros tipos de protección la máxima temperatura admisible se aplica tan solo a la cubierta exterior del aparato, en el caso de esta protección la temperatura máxima permisible se debe considerar para todas las partes del instrumento que puedan ponerse en contacto con la mezcla explosiva. Por lo tanto, los valores máximos permitidos se aplican a todas las superficies dentro de la envolvente.

Debido a que el tipo de protección seguridad aumentada asume que, en el curso de la operación normal o en caso de falla, no ocurrirán chispas, arcos, o temperaturas inadmisibles, todas las medidas de protección contra la explosión se concentran en garantizar que se cumpla esta suposición con un alto grado de seguridad.

En este tipo de protección existen normas especiales que regulan la conexión de partes vivas. Las terminales de conexión deben ser aseguradas contra aflojamientos, deben estar generosamente dimensionadas, y se deben diseñar de tal modo que se asegure una adecuada presión de contacto incluso con cambios de temperatura; de lo contrario, pueden surgir calentamientos excesivos o formación de chispas. Para la conexión de conductores internos solo se permiten ciertos métodos.

Todas las envolventes aplicadas a aparatos con seguridad aumentada, y especialmente si están construidas en material plástico, deben tener resistencia mecánica, térmica y química, y deben evitar posibles igniciones provocadas por descargas electrostáticas.

**Ejemplos de aparatos que utilizan esta protección :**

- Motores con rotor tipo jaula de ardilla.
- Transformadores.
- Transformadores de corriente y voltaje.
- Instrumentos de medición.
- Balastos para lámparas.
- Lámparas.
- Resistencias.
- Acumuladores.
- Transmisores.
- Gabinetes terminales para aparatos eléctricos.

### **2.3.3.3 Gabinete presurizado "p".**

La penetración de una atmósfera explosiva al interior de la envolvente que contiene dispositivos eléctricos se previene mediante la presencia continua de gas inerte dentro de la envolvente, a una presión que excede a aquella del exterior. La sobrepresión puede mantenerse mediante un flujo constante o periódico de gas inerte. De aquí que se distinguen dos tipos :

- Gabinete presurizado con flujo constante de gas inerte.
- Gabinete presurizado con compensación contra fugas.

Para cualquiera de los tipos anteriores, antes de poner el instrumento en operación se debe purgar cuidadosamente.

Los requerimientos para este tipo de protección se encuentran en la norma DIN 50 016 o bien, en su equivalente VDE 0170/0171/Parte 3; los requerimientos respecto al encapsulamiento se encuentran en la norma DIN 40 050 o en su equivalente, IEC 529.

**Ejemplos de la aplicación de esta protección :**

- Gabinetes de control.
- Cuartos de control.
- Transformadores.
- Instrumentos de medición.
- Resistencias.
- Lámparas.
- Transformadores de corriente y de voltaje.
- Transmisores.

#### 2.3.3.4 Inmersión en ambiente pulverulento "q".

Mediante el llenado de la envolvente del aparato eléctrico con un material de granos muy finos, cualquier arco que se produzca en el interior no será capaz de incendiar la atmósfera explosiva del exterior. Sin embargo, se debe vigilar que no surjan flamas o temperaturas excesivas en la superficie del aparato. Generalmente se utiliza arena de cuarzo, y se especifican características tales como tamaño de grano, pureza, contenido de humedad y resistencia de transmisión. También se pueden utilizar materiales distintos al cuarzo, pero deben cumplir todas las especificaciones. La envolvente debe ser de metal. Los componentes eléctricos internos al aparato deben estar a su vez convenientemente aislados.

La norma europea EN 50 017 contiene las especificaciones para el diseño y prueba de aparatos eléctricos con un voltaje de operación especificado en un voltaje menor o igual a 6600 V.

Ejemplos de la aplicación de este tipo de seguridad :

- Capacitores.
- Transformadores pequeños.
- Aparatos electrónicos.

#### 2.3.3.5 Seguridad intrínseca "i".

Se dice que un aparato eléctrico es intrínsecamente seguro si todos los circuitos que contiene son a su vez intrínsecamente seguros. Entonces, se dice que un circuito es intrínsecamente seguro si, bajo las condiciones de prueba especificadas en la norma VDE 0170/0171/Parte 7- DIN EN 50 020 (donde se estipulan condiciones de operación normal y ciertas condiciones de falla), no se producen chispas o temperaturas peligrosas que puedan provocar la ignición de una atmósfera explosiva.

El código "i" corresponde a la primera letra de la palabra "intrínseca". Este tipo de protección se utiliza principalmente en instrumentos electrónicos, circuitos y sistemas, de tal forma que éstos no sean capaces de provocar la ignición de la atmósfera que los rodea. Por lo tanto, para este tipo de protección se debe vigilar la mínima corriente de ignición (MIC), que se puede obtener a partir de tablas considerando el grupo de explosión al cual pertenece el material de la atmósfera explosiva en cuestión.

Dependiendo del grado de protección que suministran, ya sea durante operación normal o en ciertas condiciones de falla, los aparatos eléctricos con seguridad intrínseca se

subdividen en las categorías "ia" e "ib".

ia : Los aparatos pertenecientes a esta subdivisión no serán capaces de provocar la ignición en el evento de que se combinen dos fallas.

ib : Los aparatos pertenecientes a esta categoría no podrán causar la ignición de una atmósfera explosiva en el evento de que ocurra una sola falla.

El tipo de protección "seguridad intrínseca" opera con corrientes y voltajes pequeños. De esta forma se asegura que, en el caso de ocurrir un cortocircuito, apertura, o puesta a tierra de un circuito, la chispa o energía liberada no será suficiente para provocar la ignición de una atmósfera explosiva. Obviamente habrá que considerar además el calentamiento de todos los elementos que intervienen en el circuito (división en clases de temperatura).

Dentro de las medidas de seguridad que encontramos para este tipo de protección, tenemos :

- La apertura o cierre de circuitos con protección de seguridad intrínseca se diseña de tal modo que, de ocurrir la falla de un componente, no se altera la seguridad intrínseca del aparato.
- El arreglo doble de componentes técnicamente equivalentes, que determina que un circuito sea intrínsecamente seguro, garantiza la seguridad y la operación continua del aparato.
- Uso de semiconductores con carga reducida.
- Requerimientos especiales para transformadores.
- Condiciones especiales para rendijas de ventilación y distancias de componentes dentro del aparato.
- Aislamiento de circuitos con seguridad intrínseca de aquellos sin seguridad intrínseca.

Algunos aparatos que utilizan este tipo de protección :

- Aparatos electrónicos.
- Circuitos de señalización.
- Circuitos de medición.
- Circuitos de control.

Es práctica común que los cables exteriores a un aparato con seguridad intrínseca tenga color azul.



### 2.3.3.6 Inmersión en aceite "o".

Este es un tipo de protección en donde el aparato eléctrico, o sus componentes, se sumergen en aceite con el objeto de que no se pueda provocar la ignición de una atmósfera explosiva que esté sobre la superficie del recipiente que contiene al aparato.

Este tipo de protección lo encontramos preferentemente en aparatos como :

- Transformadores.
- Interruptores.

### 2.3.4 REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCION DE ESTOS EQUIPOS.

#### Especificaciones generales.

El equipo eléctrico a utilizarse en atmósferas explosivas debe satisfacer las especificaciones generales VDE 8170 / 8171 / Parte 1/5.78 - DIN 50 814 así como ciertos requerimientos específicos que dependen del tipo de construcción para el que es diseñado.

En algunas circunstancias, especialmente en condiciones de operación severas tales como humedad excesiva y altas temperaturas ambientales, se deben tomar medidas adicionales.

El uso de materiales plásticos y aleaciones ligeras en cubiertas o envoltentes, está restringido. Se aplican especificaciones especiales a accesorios de cerrado, bujes y piezas de conexión, así como para acometidas de cables, conductores y tubos para conductores. Se permite el uso de conductores en sus respectivos tubos, cajas terminales a prueba de flama, así como el uso de topes mecánicos contra ignición (cortafuegos).

En el caso de aparatos eléctricos donde, de acuerdo a los datos del fabricante, no se exceden ninguno de los siguientes valores: 1.2 V, 0.1 A, 20 microJoules ó 25 mW, no será necesario que los aparatos sean marcados o certificados.

En un capítulo posterior se analizarán las normas aplicables a la construcción del instrumento que se presenta en esta tesis.

## 2.4 NORMAS

En el transcurso de este capítulo se han hecho referencias a ciertas normas tales como DIN, VDE, etc., pero no se ha explicado su origen ni en qué consisten.

La presente tesis está basada en normas americanas (normas (UL) y europeas (especialmente en recomendaciones IEC).

En nuestro país, la legislación en cuanto a normas concernientes a instrumentos y aparatos para utilizarse en atmósferas con peligro de explosión está muy atrasada. Las pocas normas que existen al respecto son extractos y resúmenes muy burdos de las mencionadas normas europeas y americanas (existe una reglamentación que es copia-resumen de las normas NEC (National Electrical Code) americanas); esta es la razón por la que el autor eligió investigar directamente en normas fuente. Otro obstáculo que se presentó es que es difícil conseguir estas normas extranjeras en el país. Existen dependencias e institutos (SECOFI, Instituto de Investigaciones Eléctricas, etc.) donde se pueden conseguir parte de ellas; sin embargo, es difícil encontrar copias debidamente actualizadas.

En Europa, muchos países poseen institutos o dependencias que emiten normas para su uso interno; tal es el caso de VDE (Asociación de Ingenieros Eléctricos Alemanes) y DIN, ambos en Alemania (Las normas DIN son elaboradas por un organismo estatal que trabaja estrechamente con VDE).

Por lo tanto, no es difícil encontrar que entre muchas organizaciones e institutos de los países europeos existen normas equivalentes; en el pasado, ésto era suficiente, pero era deseable una internacionalización y unificación de normas.

En Europa, con el objeto de prevenir cualquier obstáculo al libre comercio de equipos e instrumentos con protección contra explosión (pues un requisito para el comercio irrestricto es la existencia de normas estándares), la Comunidad Económica Europea emitió una reglamentación el 18 de diciembre de 1975 que cubre todo el equipo a utilizarse en atmósferas potenciales explosivas y en zonas riesgosas. Estos estándares armonizados son los Estándares Europeos, publicados por un comité denominado CENELEC. Las normas emitidas por este comité llevan las siglas EN (Norma Europea), de tal manera que todo país dentro de la Comunidad Económica Europea que desarrolle equipo de acuerdo a estas normas, lo puede comerciar con otros países miembros sin obstáculo alguno. Los Estándares Europeos se publican en tres idiomas: Francés, Inglés y Alemán. Los miembros del CENELEC están obligados a seguir las reglas internas de este comité, de tal forma que a los Estándares Europeos publicados se les debe reconocer como

estándares nacionales sin modificación alguna.

En algunos países estas normas unificadas están contenidas dentro de ciertos estándares nacionales más generales. Tal es el caso de las normas DIN, donde se tienen incluidos todos los Estándares Europeos; estas normas llevan el prefijo DIN EN.

En lo concerniente a normas americanas, en los Estados Unidos existen muchos institutos y organizaciones que emiten normas de acuerdo a su actividad y necesidades. En ese país, existen algunos criterios diferentes a los europeos en relación a la industria y a el hogar (pues algunas condiciones son diferentes), por lo que en muchos casos no es posible encontrar normas americanas equivalentes a las europeas.

En los Estados Unidos, existen las normas UL, que son emitidas por una organización de no lucro llamada "Underwriters Laboratories" (de aquí las siglas UL); esta organización realiza pruebas a aparatos y utensilios domésticos e industriales para garantizar que éstos sean seguros (debido a la forma en que se construye la vivienda en ese país, se tiene un especial cuidado en que los aparatos eléctricos no puedan llegar a producir chispas o temperaturas peligrosas que puedan ocasionar un accidente).

Se eligieron algunas de estas normas pues el sensor que utiliza el instrumento desarrollado en la presente tesis está amparado con el sello de UL.

#### Recomendaciones IEC :

Debido a la gran diversidad de normas existentes en todo el mundo, y a la tendencia creciente de la industria a internacionalizarse, era necesario establecer estándares y acuerdos más generales e internacionales. El primer paso para lograr esta cooperación internacional fué alcanzado en la "Comisión Eléctrica Internacional", cuyas siglas son IEC (International Electrical Commission).

La IEC está compuesta de al menos 41 países miembros, entre los cuales encontramos a México. Su función es la de emitir recomendaciones unificadas en el campo de la tecnología de la electricidad (de este modo, la IEC emite reportes, que estrictamente no son normas, sino recomendaciones). Su centro administrativo principal está en Génova, Suiza. Las lenguas oficiales son el Inglés, el Francés y el Ruso. Con el paso del tiempo, se espera que las recomendaciones IEC se conviertan en normas internacionales para unificar al mundo.

Para efectuar su trabajo, la actividad se desarrolla por comités técnicos ("TC"), en donde cada uno de los países

miembros está representado por sus respectivos especialistas. El comité técnico 31 es el responsable de emitir recomendaciones concernientes a la construcción e instalación de aparatos eléctricos con protección contra explosión.

Como resultado del trabajo desarrollado por el comité y sus grupos de apoyo, se han publicado una serie de recomendaciones IEC concernientes a aparatos eléctricos con protección a prueba de explosión; estas recomendaciones están contenidas en la Publicación IEC 79 - Aparatos Eléctricos para Atmósferas Explosivas. Para la presente tesis, se han tomado en cuenta las siguientes secciones :

Publicación 79-0 : Introducción General.

Publicación 79-7 : Construcción y prueba de aparatos eléctricos con protección tipo 'e'.

Publicación 79-10: Clasificación de áreas de riesgo.

Publicación 79-11: Construcción y prueba de aparatos intrínsecamente seguros.

Publicación 79-14: Instalaciones eléctricas en atmósferas potencialmente explosivas.

Estas recomendaciones reflejan la máxima unificación posible a que han llegado los miembros de los comités técnicos de los respectivos países miembros.

En lo que respecta a la industria mexicana, no existe homogeneidad en cuanto a la normalización, esto debido a la variada procedencia del equipo utilizado, de tal forma que en este país están implícitamente en uso normas tanto americanas como europeas. Son pocas las normas oficiales mexicanas (NOM) que existen al respecto.

En la tabla 2.5 se presentan algunas equivalencias de normas europeas, mientras que en la tabla 2.6 se encuentran algunas comparaciones entre clasificaciones americanas NEC y norma europea EN.

TIPO DE PROTECCION	SIMBOLO		IEC/EN/VDE
	ANTIGUO	NUEVO	
Simbolo General para proteccion contra explosion.	(Ex)	EX II	IEC 79-0 EN 50 014 VDE 0170/0171 parte 1
Inmersión en Aceite	Tipo de prot. o	"o"	IEC 79-6 EN 50 015 VDE 0170/0171 parte 2
Gabinete Presurizado	Envolverte purgada f	"p"	IEC 79-2 EN 50 016 VDE 0170/0171 parte 3
Inmersión en Amb. Pulverulento	no existia	"q"	IEC 79-5 EN 50 017 VDE 0170/0171 parte 4
Envolverte Antideflagrante	d	"d"	IEC 79-1 EN 50 018 VDE 0170/0171 parte 5
Seguridad Aumentada	e	"e"	IEC 79-7 EN 50 019 VDE 0170/0171 parte 6
Seguridad Intrinseca	i	"i"(ia,ib)	IEC 79-11 EN 50 020 VDE 0170/0171 parte 7

Tabla 2.5. Comparación normas IEC, EN y VDE.

PRODUCTO	Clasificación de acuerdo a NEC*			Clasificación de acuerdo a EN		
	SIMBOLO	ZONA	GRUPO	SIMBOLO	ZONA	GRUPO
Gases y Vapores	El uso de equipo eléctrico no se recomienda				0	abierto
	Clase I	División I	Grupo D B C A	EEx d	1	II A II B II B y II C II C
	Clase I	División II	Grupo D C B A	EEx n	2	abierto

Tabla 2.6 . Comparación de la clasificación NEC y EN.

\* Código Eléctrico Nacional (National Electrical Code).

## 2.5 CONCLUSIONES Y APLICACION DEL PRESENTE CAPITULO AL DESARROLLO DEL INSTRUMENTO

Después de haber revisado este capítulo, se tiene una muy buena idea de las características del fenómeno de la explosión, así como de los requisitos necesarios para que ésta se presente.

De esta forma, ahora comprendemos que la posibilidad de que se registre una explosión en un tanque estacionario de gas L.P. es muy remota. Debido a que se exige su instalación en una zona plenamente ventilada, al aire libre, es casi imposible que se presente una mezcla potencialmente explosiva. De suceder una fuga, el gas se disuelve rápidamente en el aire, de tal forma que la mezcla se pondrá muy pronto por debajo del límite de inflamabilidad, a medida que ésta se aleja de la fuga; si se presenta una fuente de ignición a escasos metros de la fuga, es todavía muy difícil que el gas encienda. Se requerirá que la fuente de ignición se localizara en una zona muy cercana al chorro de la fuga, donde la mezcla tiene la proporción adecuada para encender.

De registrarse la combustión, saldrá una flama del área de la fuga, pero no habrá explosión (la ignición no puede pasar al interior, pues dentro del tanque no hay oxígeno para que se pueda registrar la combustión). En estos casos, el riesgo mayor se presenta después de que han transcurrido unos minutos; el tanque se calienta y se puede debilitar, ocasionando una fuga repentinamente mayor que entonces sí puede provocar una explosión (es por esto que en estas situaciones se rocía el tanque con agua para enfriarlo, y se espera hasta que se consuma todo el gas).

Entonces, la posibilidad de que se registre un accidente de este tipo en un tanque de gas estacionario es mínima: la mayoría de los tanques están en buen estado y no presentan fugas; quizás solo se presenta un poco de atmósfera peligrosa al realizar el llenado. Si no hay atmósfera peligrosa en el entorno del tanque, se puede (aunque no se recomienda) tener cualquier fuente de ignición y no pasará nada.

El instrumento presentado en esta tesis representa una fuente de ignición en potencia. Sin embargo, a sido diseñado para que la energía que pasa a través del sensor sea incapaz de encender una mezcla, considerando como peores casos una mezcla gas/aire óptima y una falla en el instrumento. Es más, se ha diseñado con estándares industriales y con factores de seguridad muy altos para su tipo (no producirá chispas ni elevará su temperatura).

Vale la pena hacer la aclaración que el instrumento consta de dos partes fundamentales: el sensor (que se coloca

en el tanque), y el instrumento medidor (que se coloca en la cocina); a ambos dispositivos se les han aplicado estrictas normas de seguridad, aunque el énfasis se hace en el sensor (pues es la parte que puede estar en un área potencialmente peligrosa) cuidando ciertos parámetros de éste.

Aplicando las clasificaciones y los conceptos vistos en este capítulo, se tiene que :

- Un tanque estacionario de gas constituye una fuente de peligro de segundo grado (2.1.2).
- El área donde se localiza el sensor es una "Zona 1" (2.1.3).
- Se aplicarán medidas de protección secundaria (2.2.2).
- El material a tratar (gas L.P.) se clasifica en grupo de explosión IIA y clase de temperatura T2 (2.3.2).
- Se utilizarán medidas de protección "Seguridad Aumentada" (2.3.3.2) y "Seguridad Intrínseca" (2.3.3.5).
- Se aplicarán normas "UL" e "IEC" (2.4).

Debido a que el instrumento tiene un componente que se localiza en una Zona 1, se exige que se apliquen una o más de las medidas de seguridad vistas en los incisos 2.3.3.1 al 2.3.3.6.

En principio, y dada la naturaleza del instrumento, se podía haber aplicado tan solo un tipo de protección; sin embargo, se consideró el aplicar conceptos relativos a dos tipos de seguridad para hacer del instrumento un artículo muy seguro.

Por lo tanto, se descartaron otros tipos de seguridad por considerarlos no aplicables a las condiciones y finalidad de este instrumento. Los tipos de seguridad que se desecharon presentan problemas de mantenimiento e instalación para la aplicación del instrumento. Además, la calidad de protección que suministran las medidas de seguridad tanto intrínsecas como aumentadas al aplicarse simultáneamente, sobrepasan la protección que podía haber suministrado cualquier otro tipo de medida de seguridad, por lo que se obtuvo una redundancia más que suficiente.

De la protección "seguridad aumentada", se tomaron conceptos para evitar chispas, arcos, y temperaturas inadmisibles.

El tipo de protección que más se utilizó fue el de "seguridad intrínseca". Conociendo la clasificación de los componentes del gas L.P. en cuanto a grupo de explosión y



clase de temperatura, se recurrió a tablas para determinar la máxima corriente que puede circular por el sensor (se consideró la MIC del butano y del propano, principales componentes del gas L.P.), de tal forma que se encontró un factor de seguridad muy alto para este parámetro. También se aplicó esta protección para conseguir un circuito confiable aún en caso de falla.

Se aplicaron recomendaciones IEC por considerarlas altamente reconocidas, y también debido a su disponibilidad en este país.

También se adoptaron normas UL, pues cubren algunos aspectos relacionados con el instrumento, además del hecho de que el sensor medidor que utiliza este instrumento está amparado con ésta reglamentación.

La inclusión de estas normas también tiene por objeto el intentar posteriormente una comercialización del instrumento en el extranjero.

La aplicación de normas relacionadas a los tipos de protecciones empleadas, así como el estudio y utilización de otros conceptos específicos de protección se tratarán en capítulos posteriores.

### **CAPITULO III : MEDICION DEL GAS L.P. EN LA ACTUALIDAD**

### 3.0 INTRODUCCION

En el capítulo I se discutieron las características y propiedades físicas del gas L.P. Ahora se comprenderán aspectos relacionados con la forma de medirlo y almacenarlo.

De acuerdo a lo visto en ese capítulo, se comprende ahora que el recipiente para esta substancia debe ser un tanque presurizado. En este capítulo se analizara brevemente diferentes métodos que se aplican para la medición de este gas, tanto en tanques industriales como en domésticos. También se explicarán los diversos componentes de un sistema de almacenamiento de gas.

#### 3.1 LA MEDICION DEL GAS L.P.

Para medir con extrema precisión la cantidad total (masa total) de gas que hay en un recipiente cerrado de los que se utilizan normalmente para contenerlo, sería necesario medir la cantidad de gas que está presente tanto en el estado líquido como en el estado gaseoso. Esto presenta muchos problemas, razón por la cual la medición del gas L.P. se realiza generalmente en forma aproximada.

Existen decenas de métodos que se podrían aplicar para realizar la medición del gas L.P.; sin embargo, y debido a cuestiones prácticas, sólo se aplican unos cuantos. Dentro de estos métodos, cada uno presenta ventajas y desventajas. Se puede mejorar el grado de precisión en la medida de este gas combinando algunos de estos métodos. De cualquier forma, al considerar el diseño o instalación de un instrumento para la medición del gas L.P. contenido en un recipiente hermético, se debe prestar especial atención y cuidado a los siguientes hechos :

- El hecho de que el gas L.P. debe estar contenido en un recipiente presurizado, acarrea problemas con respecto a la colocación del instrumento medidor; éste se puede ubicar en una pared del tanque, pero para esto, se tiene que perforar el recipiente, teniendo cuidado de que una vez instalado el medidor, no haya fugas. Para evitar la perforación del recipiente, el instrumento se

puede colocar en el espacio exterior o interior al tanque; sin embargo, si se realiza de esta última forma, aparece el problema de cómo llevar la señal al exterior para que pueda ser medida (la solución para este caso resulta generalmente complicada o impráctica).

- El gas L.P. es una sustancia inflamable, lo que implica que se debe tener sumo cuidado con el instrumentado a instalar, verificando que éste no produzca chispas ni temperaturas peligrosas. Dependiendo de la localización de tanto el recipiente como del medidor, se clasificará a la atmósfera inmediata en un "Área de riesgo" (Zona 0, 1 ó 2), y de acuerdo a esto, se elegirá el instrumento adecuado.

La medición precisa del nivel de gas en un tanque resulta generalmente, como se mencionó, un asunto muy complicado. Para comprender esto, consideremos nuevamente el hecho de que el gas L.P. que existe en un tanque (con una temperatura superior a su punto de ebullición, que es de aproximadamente  $-40^{\circ}\text{C}$ ) se encuentra tanto en el estado líquido como en el estado gaseoso (al colocar en un tanque gas L.P. en estado líquido, este tenderá a evaporarse; de existir suficiente masa, se seguirá evaporando hasta que se alcanza una presión de equilibrio, y entonces las fases gaseosa y líquida coexisten). Simplemente el medir la masa de gas en estado líquido es algo difícil:

La gran mayoría de los tanques tienen forma cilíndrica, con cabezales (tapas laterales) hemisféricas, semielípticas, o de las denominadas tipo ASME (American Society of Mechanical Engineers). La posición del cilindro es generalmente horizontal, de tal forma que la relación "altura del líquido - volumen del líquido" no es lineal; para encontrar la correspondencia "volumen del líquido = función de la altura" se requiere de una complicada integración. Por cierto, para realizar esta operación es necesario conocer los parámetros de las superficies que forman las tapas (hemisféricas, semielípticas, etc.). Además, se debe considerar la dilatación volumétrica del gas en estado líquido, de tal forma que el volumen de gas L.P. que se encuentra en fase líquida en un tanque es, en parte, función de la temperatura. Determinando el volumen, y si se conoce la densidad, se puede entonces determinar la masa que hay en estado líquido.

Una vez conocido el volumen del gas en estado líquido, se puede deducir el volumen que se encuentra en estado gaseoso mediante una simple sustracción (obviamente que para esto, se debe conocer la capacidad total del tanque). Entonces, conociendo la presión (o la temperatura) de la fase gaseosa, se puede calcular la cantidad de masa que se encuentra como vapor, siempre y cuando se conozca la densidad de la fase gaseosa a esa presión (o temperatura).

Es importante mencionar que la presión que ejerce el vapor del gas es casi únicamente función de la temperatura, y no de la masa total (1), de tal forma que, a cierta temperatura, y a partir de una determinada masa mínima, la presión será la misma no importando el nivel de la fase líquida, por lo que el colocar un instrumento que mida la presión de la fase gaseosa sería poco efectivo. En todo caso, la ubicación correcta de tal dispositivo medidor de presión sería en el fondo del recipiente, con lo que se registraría el peso de la columna del gas en estado líquido, con lo que finalmente se podría calcular la masa existente en éste estado; sin embargo, este método tendría otros problemas (2), (3), por lo que no debe ser utilizado.

En la práctica, el método que se utiliza para medir la cantidad de gas L.P. que hay en un recipiente es únicamente a base de la medición de nivel. Este método también presenta inconvenientes (3). Uno de éstos es con respecto al estado gaseoso; generalmente, la masa que existe en fase gaseosa no se mide o no se considera, ya que por lo regular constituye una muy pequeña parte de la masa total, cuyo grueso se encuentra en fase líquida.

En el almacenamiento de cualquier material que requiere de un recipiente presurizado, el diseño de éste contenedor exige que sea de una forma esférica o cilíndrica (si es cilíndrica, las tapas no deben ser planas o perpendiculares al cilindro); esto es con el fin de reducir esfuerzos en la soldadura y en la estructura. La gran mayoría de los tanques de gas estacionarios tiene forma cilíndrica.

Ahora bien, y como se mencionó, debido a que el cilindro

(1) Sin embargo, al haber más masa, la cantidad de gas L.P. en estado líquido aumentará, y al haber más gas líquido en contacto con las paredes del recipiente, aumentará la capacidad de absorber calor, lo que acarreará un incremento en la temperatura y por lo tanto un incremento en la presión.

(2) El instrumento tendría que ubicarse en la parte central inferior del recipiente; entonces, y de acuerdo a la forma del tanque, se tendría que realizar una integración para determinar el peso total (y a partir de éste, la masa total) de la fase líquida. En conclusión, sería algo difícil realizar con precisión la medición en esta forma.

(3) Con el paso del tiempo se va acumulando en el fondo del recipiente un aceite o residuo del gas L.P. que no se evapora, por lo que paulatinamente disminuye la capacidad del tanque; los métodos de medición no sustraen la cantidad de este residuo al volumen total que registran, lo que trae como consecuencia que con el paso del tiempo, la medida sea menos exacta.

generalmente se encuentra en posición horizontal, la relación "altura del líquido - volumen de gas" no es lineal (sería lineal si el tanque tuviera forma de prisma o cilindro vertical). Esto impone un serio problema al medidor, ya que de tener que expresar la cantidad total de la substancia que se encuentra en forma líquida (por ejemplo, en litros), sería necesario, como se mencionó anteriormente, realizar una complicada operación, la cual requeriría del conocimiento preciso de las dimensiones del tanque.

Para evitar este problema, los instrumentos medidores expresan sus resultados en la carátula con la leyenda "PORCENTAJE DEL VOLUMEN TOTAL", o también con "PORCENTAJE DE CAPACIDAD TOTAL": ambas consisten generalmente en una escala graduada que va desde 0 % hasta 100 % (en el caso específico de las carátulas de los tanques estacionarios domésticos, la Norma Oficial Mexicana exige una escala graduada del 5 al 95 %). Sin embargo, ambas expresiones son erróneas, ya que en lugar de porcentaje de volumen, o porcentaje de capacidad total, lo que se registra en realidad es la altura del líquido, por lo que la expresión de la medida realizada por el instrumento debe ser "PORCENTAJE DE LA ALTURA DEL LIQUIDO".

La figura 3.1 muestra la diferencia existente entre un tanque esférico y uno cilíndrico.

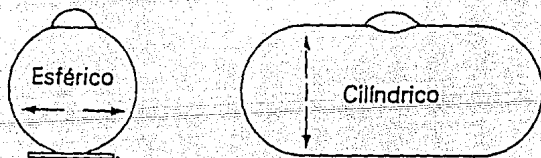


Figura 3.1 . Tanques esférico y cilíndrico.

En muchos casos es muy simple utilizar el mismo medidor para diferentes tanques; sólo se requiere de una pequeña adaptación (en longitudes de partes), o una calibración para que el instrumento contemple la nueva variación total en altura que puede tener el líquido en un tanque con dimensiones diferentes.

### 3.1.1 LA MEDICION DEL NIVEL EN UN TANQUE PRESURIZADO.

En general, existen dos formas para efectuar la medición de nivel de cualquier sustancia que se presente en forma líquida:

- Medición discreta.
- Medición continua.

En la medición discreta, el medidor o medidores indican únicamente si el líquido ha alcanzado una cierta altura, pero no se puede determinar la situación precisa del nivel entre dos marcas. El modelo más sencillo de este caso lo encontramos en los medidores que indican si el recipiente está vacío o lleno, donde se desconoce el estado del líquido entre estas dos marcas. Este tipo de medición es satisfactorio en muchas aplicaciones, como por ejemplo, en depósitos que requieren del llenado automático una vez que se ha alcanzado un nivel que se considera como vacío. Este método es típico del sistema tinaco-cisterna de una casa habitación.

Sin embargo, para otras aplicaciones, es necesario conocer la situación del nivel en todo momento, y no tan solo "vacío o lleno"; tal es el caso de los tanques de gas estacionarios; se puede llevar una vitacora del consumo, o también se utiliza, entre otras cosas, para pedir con anticipación la recarga del tanque, sin que se tenga que alcanzar el molesto estado de "tanque vacío". En fin, existen muchas razones por las que es deseable tener una medición continua.

Pensando en estas necesidades se diseñó el medidor para que proporcione una medición continua del nivel de gas remanente dentro del tanque.

En términos generales, para efectuar la medición continua del nivel de un líquido dentro de un recipiente, se podrían aplicar varias decenas de métodos; sin embargo, y dadas las características de peligrosidad del gas L.P., en la práctica sólo se aplican unos cuantos.

A continuación se explican las formas en que se efectúa la medición continua de este gas en el hogar y en la industria.

### 3.1.1.1 La medición del nivel por flotador.

Es quizás el método más utilizado, con aplicación tanto en la industria como para tanques de uso doméstico. Este mecanismo utiliza el principio donde se establece que un flotador permanece en la superficie de un líquido, y cambia su posición conforme el cambio correspondiente del nivel del líquido.

Existen muchos sistemas (a base de flotador) que realizan esta medición de nivel. Entre estos sistemas se presentan pequeñas diferencias en la forma en que se transmite el movimiento del flotador al sensor o a la aguja indicadora.

A continuación analizaremos el sistema que se utiliza en recipientes tales como los tanques estacionarios de uso doméstico, así como en algunos tanques industriales (el sistema utilizado en los camiones repartidores de gas L.P. se analiza en el apéndice A).

A grandes rasgos, la descripción y funcionamiento de este sistema es la siguiente:

El instrumento consiste principalmente de cuatro partes, que son: el flotador sujeto a una varilla o brazo, el tubo de soporte con eje, la cubierta o cabeza, y la carátula.

El flotador está unido a una varilla, la cual, en su extremo opuesto tiene un pequeño contrapeso; antes del extremo final de este brazo del flotador, la estructura se enlaza a un tubo mediante un par de engranes, lo que permite al ensamble flotador-varilla, girar libremente sobre el eje del engrane de unión.

El movimiento giratorio del flotador se comunica a través del engrane a un eje que se encuentra dentro del tubo. El eje continúa hasta una cubierta o cabeza, para finalmente, comunicar su movimiento a una aguja.

La cubierta o cabeza es la estructura que se fija al tanque. Para realizar esta operación, es necesario perforar un barreno en un extremo del recipiente. Esto representa definitivamente un inconveniente. Para solucionar este problema, previamente se ha soldado una brida de montaje en la perforación del tanque; la cubierta o cabeza está diseñada para que embone perfectamente en ella, con lo que se consigue, en muy alto grado, evitar fugas. Para garantizar una unión perfecta se utiliza un empaque entre brida y cabeza.



La comunicación del movimiento del eje a la aguja se realiza de al menos dos formas :

En la primera, el eje está unido directamente a la aguja. Existen empaques para evitar que el gas escape al área donde se encuentra la aguja. Adicionalmente, existe un cristal o plástico que protege a la aguja, y separa a ésta del observador.

En la segunda, el eje está unido a un imán especial, que se localiza en la cubierta. Esta cubierta es una estructura de material magnéticamente permeable, como es el caso de una aleación de aluminio.

En la parte superior de la cubierta se coloca una carátula con una aguja indicadora. Esta aguja responde al movimiento del imán, de tal forma que las carátulas pueden ser cambiadas en caso necesario sin afectar la presión del tanque, ya que la transmisión del movimiento del flotador a la aguja se hace a través del enlace magnético.

Este último sistema es el utilizado en los tanques estacionarios. El sistema de medidor con flotador tiene la ventaja de que se puede aplicar a una gran variedad de tanques requiriendo tan solo de pequeñas modificaciones.

La ubicación de la carátula puede ser a conveniencia, eligiéndose por lo general, la parte superior, un costado, un ángulo o un extremo. En cualquiera de estos casos, se debe vigilar lo siguiente :

- La posición del eje del flotador debe corresponder a la longitud intermedia de la altura máxima total que puede alcanzar el líquido.
- La longitud de la varilla debe seleccionarse de tal modo que el flotador, en su punto mas bajo, esté lo más cercano posible a una altura igual al nivel mínimo que el líquido puede alcanzar en el tanque.
- El flotador debe tener libertad para girar un ángulo cercano a los 180 grados con respecto a un eje vertical, y así poder registrar la altura mínima y máxima del líquido.

En la figura 3.2 se ilustran las posibles ubicaciones de un medidor de este tipo.

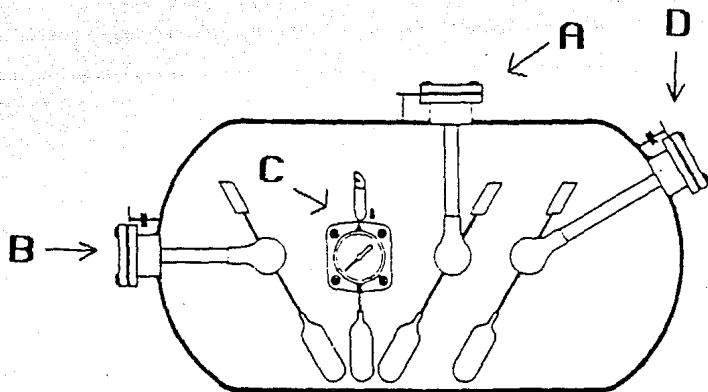


Figura 3.2. Ubicación del indicador en el tanque :  
 A> superior. B> extremo. C> costado. D> Ángulo.

Para cumplir con los requisitos anteriores, en ocasiones tan solo es necesario modificar las longitudes del tubo con el eje y/o la varilla con el flotador.

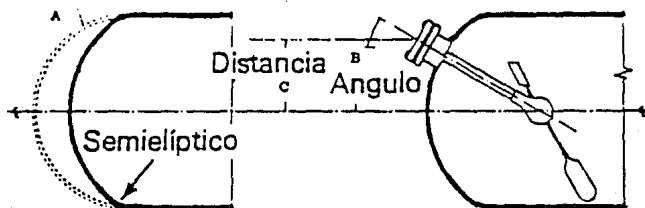
En el caso de indicadores que vayan a ser montados en el extremo, el costado o un ángulo, es necesario saber:

- A> Forma del extremo del tanque: hemisférica o semielíptica.
- B> Ángulo que forma el tubo de soporte del indicador con el plano horizontal.
- C> Distancia entre el eje central del tanque y la carátula.

Con estos datos se determina el tamaño correcto tanto del tubo con eje como de la varilla con el flotador.

En la figura 3.3 se muestran los requisitos que se deben conocer para montar el indicador en el tanque.

## Hemisférico

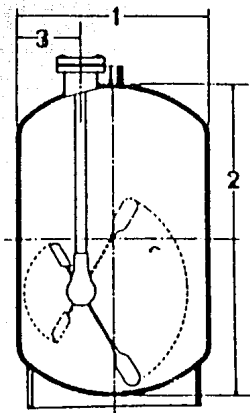


**Figura 3.3 .** Parámetros a medir para realizar un correcto montaje del indicador: A> Forma del extremo. B> Angulo soporte-plano horizontal. C> Distancia eje central-cubierta.

En la calibración final se debe cumplir que, al estar el flotador en su punto medio de giro, la carátula debe mostrar una indicación correspondiente al 50 % .

La aplicación del método de flotador a los tanques cilíndricos verticales puede ser algo problemática. Si la altura del cilindro es mayor a dos veces su radio, no habrá forma de colocar el flotador del medidor para que éste pueda alcanzar los niveles tanto superior como inferior que puede tomar el líquido (de alargar la varilla, se toparía con la pared lateral). La alternativa en este caso es colocar al eje del flotador por debajo de la altura media del tanque, para que al menos de una indicación del volumen restante en el recipiente. De colocarlo así, habrá una zona muerta cuando el tanque esté a una capacidad cercana al máximo, y no se podrá cumplir con el requisito de calibración final mencionado anteriormente.

La situación de un cilindro vertical con flotador se ilustra en la figura 3.4 .



**Figura 3.4.** Aplicación del método de medición de nivel a base de flotador para un cilindro vertical.

De poderse aplicar este método en cilindros verticales, la relación "volumen = función de altura" será cuasi lineal (la sección recta es de área constante, pero la tapa inferior no es plana); se podría entonces pensar en la posibilidad de afirmar que la lectura que se está obteniendo es una medida directamente proporcional de la cantidad de litros que hay en el recipiente.

Sin embargo, hay otro factor a considerar : la no linealidad de la medición con flotador.

La relación que existe entre el desplazamiento angular del flotador y la altura del líquido se verá a continuación. Tal situación se presenta en la figura 3.5.

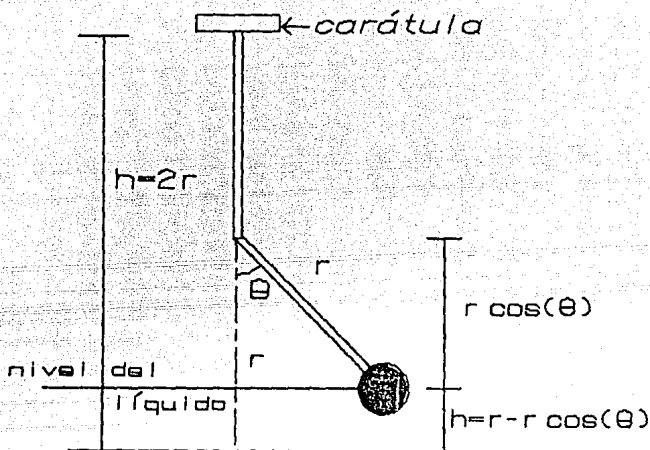


Figura 3.5 . Relación existente entre la altura del líquido y el ángulo del flotador.

Considérese un medidor a base de flotador cuya carátula se coloca en la parte superior de un tanque. Tómese como referencia un eje vertical perpendicular a la carátula. Cuando el recipiente está vacío, el flotador está en la parte inferior, formando  $0$  grados con respecto a la referencia vertical. Al estar en su punto medio, formará  $90$  grados, mientras que al estar en la parte superior,  $180$  grados. Si la longitud de la varilla-flotador es " $r$ ", entonces la altura " $h$ " es función del ángulo theta ( $\theta$ ) mediante la relación siguiente :

$$h = r - r \cdot \cos(\theta) \quad \dots 3.1$$

Dicha función no es lineal, pues al graficar la medida del ángulo theta " $\theta$ " contra la altura " $h$ ", no se obtiene una línea recta. Sin embargo, la función que se obtiene no está muy alejada de ser una recta. Esta situación se presenta en la figura 3.6.

# ALTURA "h" COMO FUNCION DEL ANGULO $\theta$

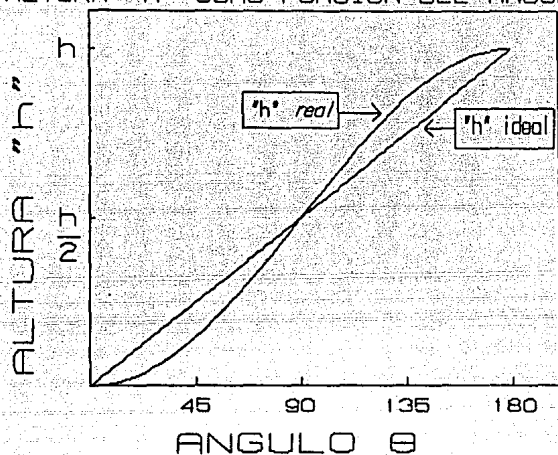


Figura 3.6 . La altura "h" como función del Angulo " $\theta$ " .

Si las medidas angulares se dan en grados, entonces la relación ideal de altura en función del desplazamiento angular es :

$$h = k \cdot \theta \quad \dots 3.2$$

$$( k = r/900 )$$

por lo tanto,  $h = ( r/900 ) \cdot \theta \quad \dots 3.2a$

Nótese que esta función sí es lineal.

La función error resulta:

$$e = ( r/90 ) \cdot \theta - ( r - r \cdot \cos(\theta) ) \quad \dots 3.3$$

Para obtener el máximo error posible de la función anterior, el procedimiento es el siguiente:

Se cambian la medida angular de grados por radianes, se deriva la función error con respecto al ángulo theta ( $\theta$ ), se iguala a cero, y finalmente se despeja theta.

Como resultado se obtiene que el máximo error posible ocurre a los 0.6981 rad. y 2.4514 rad. (39.5492 y 140.4598 grados, respectivamente).

Substituyendo estos valores en la función error, se obtiene el error máximo; este resulta ser :

$$E \text{ max.} = 0.2105 * r \quad \dots \quad 3.4$$

Ya que la altura máxima "H max." está relacionada al radio mediante la fórmula :

$$H \text{ max.} = 2 * r \quad \dots \quad 3.5$$

Se concluye entonces que el máximo error posible es de tan solo 10.5 % aproximadamente de la altura máxima que puede registrar el medidor.

Se puede considerar que este error es relativamente pequeño, sobre todo si se toma en cuenta que para la aplicación que se va a dar al medidor, no es necesaria una alta precisión (como se comentó, ya existe mucho error al considerar que en la mayoría de los tanques la relación entre altura del líquido y el volumen no es lineal).

Este error puede aumentar si se toman en cuenta aquellos medidores cuyo giro es inferior a los 180 grados. Además, existen algunos donde el flotador no necesariamente inicia su giro en la parte inferior (no pueden formar 0 grados con respecto a la vertical). No se entrará en mas detalles al respecto.

Por último, consideraremos ahora la relación que existe entre el giro de la aguja y el giro del flotador :

La aguja de la carátula no necesariamente girará tan solo 180 grados. Generalmente gira un mínimo de 180 hasta 360 grados (como máximo). Para lograr ésto, la relación de engranes

existente entre el engrane que va unido a la varilla-flotador y el engrane del eje que comunica el giro a la aguja es diferente de uno (el engrane de la varilla es mayor que el del eje).

Sea cual fuere la razón de engranes, la relación existente entre el giro del flotador y el giro de la aguja es lineal, de la forma general :

$$\theta = N * \theta \dots 3.6 \quad ; \quad N = R_v / R_e \dots 3.7$$

2

Donde :

$\theta$  = Ángulo que gira la varilla-flotador.

$\theta$  = Ángulo que gira la aguja.

2

N = razón de engranes.

$R_v$  = radio del engrane de la varilla.

$R_e$  = radio del engrane del eje.

Finalmente, se considera la relación existente entre la lectura de la carátula y el ángulo que gira la aguja. Esta relación también es lineal.

En el caso de que la escala de la lectura comience desde cero, la relación es de la forma :

$$L_e = F * \theta \dots 3.8$$

2

Donde :

$L_e$  = valor que se lee en la carátula.

F = factor de proporcionalidad.

$\theta$  = Ángulo que gira la aguja.

2



Si la escala de la lectura no comienza desde cero, la relación es :

$$L_e = r * \theta + L_i \quad \dots \quad 3.8$$

Donde :

$L_i$  = valor mínimo de la escala.

Nótese que las expresiones 3.8 y 3.9 son las ecuaciones de dos rectas (la segunda no tiene ordenada al origen).

### 3.1.1.2 Medición de nivel a base de radiación gama.

Esta tecnología se basa en la diferencia en atenuación que presentan diferentes substancias a los rayos gama. Debido a su alto costo, este método sólo se aplica en la industria.

El aire, por ejemplo, casi no atenúa estos rayos, mientras que un pequeño espesor de plomo los bloquea completamente. La atenuación (o absorción) de los rayos depende de la densidad y del grueso del material irradiado.

La fuente radiadora (que generalmente es un isótopo del Cobalto 60 { Co 60 } ó del Cesio 137 { Cs 137 } ) que emite los rayos gama, se introduce en un contenedor de protección que se coloca en un lado del tanque.

En el lado opuesto del tanque, se instala un detector, en donde un contador Geiger-Müller convierte los cuantos gama recibidos en pulsos eléctricos.

El detector para medición continua de nivel contiene un centellador; al recibir los cuantos gama, genera pulsos de luz que son convertidos mediante un fotopolarímetro en pulsos eléctricos.

El número de cuantos gama recibidos por el detector dependen de la atenuación a la radiación que ofrece el material contenido en el tanque, de tal forma que se presenta una fuerte atenuación cuando el líquido se encuentra en la parte superior, y poca atenuación cuando el nivel del líquido es bajo.

En la figura 3.7 se muestra la aplicación de este instrumento a un tanque.

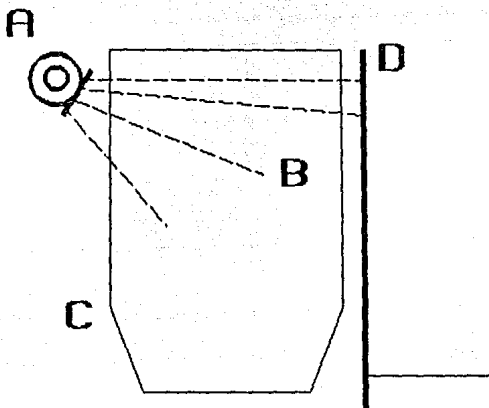


Figura 3.7 . Método de rayos gama para la medición de nivel :  
 A> Radioisótopo con contenedor protector de radiación.  
 B> Líquido a medir. C> Paredes del tanque. D> Detector.

El radioisótopo se encuentra en una cápsula doblemente sellada y soldada, de acero inoxidable, de tal forma que el material radioactivo no pueda escapar bajo ninguna circunstancia.

Debido a que la fuente radia en todas direcciones, se monta en un contenedor de protección que tiene una pequeña abertura, la cual permite que la radiación sea emitida en una dirección definida, hacia el detector. Para cualquier otra dirección, la radiación se atenúa completamente por el plomo que se encuentra en el contenedor de protección, de tal forma que inclusive personas que se encuentren cercanas a éste no están bajo ningún riesgo.

La intensidad de la preparación radiactiva se elige de tal forma que del otro lado del tanque que se desea monitorear, prácticamente no exista riesgo, inclusive cuando el tanque esté vacío.

Aunque este método se utiliza primordialmente para medir material que presenta condiciones altas de temperatura, presión, agresividad o abrasividad, o cualquier otra propiedad que dificulte su medición mediante otros métodos más

convencionales, también se aplica para medir gas L.P., debido a la ventaja que significa que todo el medidor está afuera del recipiente.

Sin embargo, su alto costo, el hecho de que las paredes del tanque no deben ser muy gruesas, la posibilidad de contaminación de la substancia si es que ésta se mantiene por largos periodos de tiempo, y la necesidad de recargar a la fuente radiadora después de unos años, limitan definitivamente su aplicación práctica. De cualquier forma, se considera un método seguro para la medición industrial del gas L.P.

### 3.1.1.3 Medición de nivel mediante ondas ultrasónicas.

Esta tecnología se basa en la medición que se hace a una onda ultrasónica en ir, rebotar con el líquido, y regresar. Por esta razón, el tipo de instrumentos que se utilizan en esta tecnología también se les denomina instrumentos de "eco".

El principio de operación es el siguiente: un sensor emite impulsos ultrasónicos en rápida secuencia. Estos impulsos son reflejados por la superficie del material que se pretende medir para posteriormente ser recibidos por el mismo instrumento. El tiempo que tarda en viajar la onda ultrasónica es una indicación de la distancia existente entre la superficie del material y el sensor. Entonces, el transductor de medida indica el nivel de la substancia. Se incluye un sensor de temperatura para compensar las fluctuaciones en el tiempo del viaje de la onda debido a cambios en la temperatura.

Los impulsos ultrasónicos se encuentran fuera del rango del oído humano, por lo que no pueden ser percibidos por personas. El rango suele estar entre 20 kHz y 46 kHz.

Este tipo de medidor se encuentra generalmente sólo en la industria, debido a su elevado costo.

Esta tecnología presenta el inconveniente de que se debe perforar el tanque para instalar el instrumento. Su mayor ventaja es que, de los métodos vistos, éste es el más preciso.

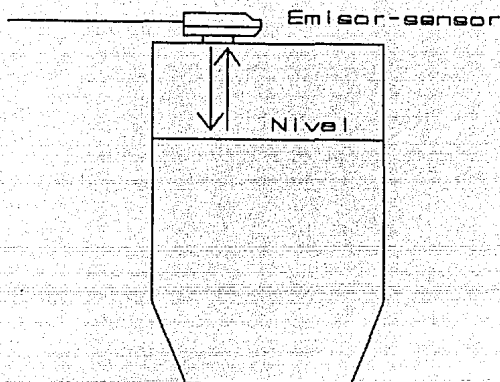


Figura 3.8. Medición de nivel mediante ondas ultrasónicas.

### 3.1.2 LA MEDICION DEL GAS L.P. EN UN TANQUE DOMESTICO.

Para propósitos domésticos, el método que se utiliza es el de flotador con carátula removible (enlazada magnéticamente).

En la Ciudad de México, la gran mayoría de los tanques residenciales tienen forma cilíndrica, y prácticamente el 99 % utilizan medidores de marca "ROCHESTER GAUGES"; estos son fabricados por una empresa llamada "Medidores Internacionales Rochester, S.A. de C.V.". El diseño de los componentes del medidor proviene de los Estados Unidos de Norteamérica.

Debido a que los medidores de esta marca son ampliamente utilizados, se revisarán brevemente algunas de sus características, pues algunas de éstas atañen directamente a la presente tesis.

La figura 3.9 muestra un dibujo de los componentes del medidor SERIE 6288, que es de los que se utilizan para fines domésticos.

Este medidor es muy versátil, y se utiliza también para la medición de otros líquidos, tales como el amoníaco anhidro, diesel, gasolina, etc.

Todos los medidores de esta serie están listados por los "Underwriters Laboratories" (normas U.L., v. 2.4) para el servicio en instalaciones de gas L.P. con presiones de trabajo hasta 48 kg/cm<sup>2</sup> (698 psi) y temperaturas hasta 71 °C. También están reglamentados en México, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-X-6-1987, cuyo título es :

"INDICADORES DE NIVEL DE GAS LICUADO DE PETROLEO Y AMONIACO ANHIDRO".

Dentro de los medidores SERIE 6288, encontramos los siguientes modelos:

#### Modelo SENIOR.

El nivel Senior tiene una carátula de 4.82 cm. (1.9") y una dimensión de 6.35 cm. (2 1/2") entre los centros de los pernos de montaje opuestos; se suministra con empaquetadura y utiliza cuatro pernos de 8 mm (5/16") y paso 24.

Para este nivel Senior, se tienen dos modelos:

Modelo 6288. Para ubicación en la parte superior del recipiente.

Modelo 6283. Para ubicación en costado, extremo o ángulo.

El modelo Senior está discontinuado en México por razones de costo; se utilizó hasta 1975. Los fabricantes de los tanques de gas recomiendan cambiar el tanque cada 18 años mínimo, aunque en la práctica existen todavía muchos de estos tanques antiguos que consecuentemente tienen el medidor Senior.

#### Modelo JUNIOR.

El nivel Junior tiene una carátula de 3.81 cm (1.5") y una dimensión de 5.16 cm (2 1/32") entre los pernos de montaje opuestos (es de dimensiones menores al nivel Senior); los pernos que utiliza son de 6.35 mm (1/4"), paso 28.

Por su parte, para este nivel Junior, se tienen dos modelos:

Modelo 8261. Para ubicación en la parte superior del recipiente.

Modelo 6284. Para ubicación en costado, extremo o ángulo.

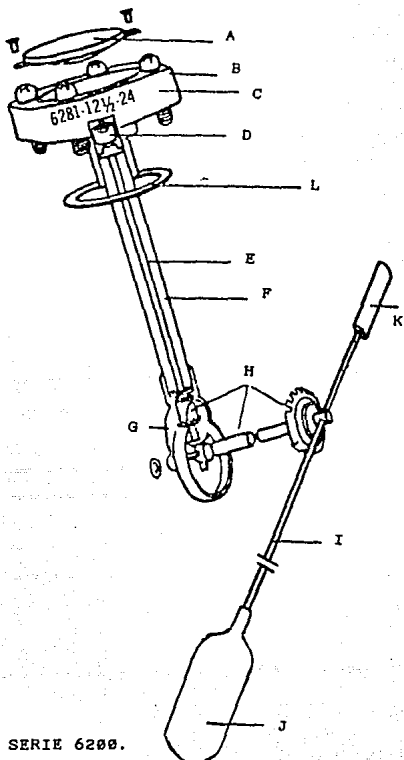


Figura 3.9 . Medidor tipo SERIE 6200.

- A> Carátula con cuerpo de aluminio y cubierta transparente de plástico (Lucite, Lexan).
- B> Cuerpo fundido a presión en aleación de aluminio.
- C> Identificación de modelo y tamaño.
- D> Imán Alnico.
- E> Eje de aluminio templado.
- F> Tubo de soporte sin costura, en aluminio.
- G> Alojamiento del engranaje.
- H> Engranajes autoalineables.
- I> Brazo del flotador en aluminio templado.
- J> Flotador de aluminio.
- K> Contrapeso de plomo fundido sobre el brazo.
- L> Empaquetadura de Buna N.

Para fines comparativos, los modelos Junior y Senior aparecen en la figura 3.10 .



Figura 3.10 . Modelos Junior y Senior.

Por lo tanto, en la Ciudad de México, el medidor que más se utiliza en la actualidad es el nivel Junior, modelo 8261 (con ensamble para ubicarlo en la parte superior de tanque).

Los datos anteriores son importantes por lo siguiente :  
La presente tesis está basada en la sustitución de la carátula Junior por una equivalente. En el siguiente capítulo se mencionarán las características de esta carátula.  
Por ahora, lo importante es mencionar que, debido a que la tendencia actual es hacer el cambio al modelo Junior, el instrumento desarrollado podrá ser adaptado a la mayoría de los tanques estacionarios existentes.

En adición al cambio de la carátula no es necesario realizar otra modificación.

### 3.2 COMPONENTES DE UN TANQUE ESTACIONARIO DE GAS L.P.

Todo sistema de almacenamiento de gas L.P. de uso doméstico puede estar compuesto por los siguientes elementos:

- 3.2.1 Tanque presurizado.
- 3.2.2 Medidor.
- 3.2.3 Regulador.
- 3.2.4 Válvula de servicio.
- 3.2.5 Válvula de seguridad.
- 3.2.6 Válvula de llenado.
- 3.2.7 Válvula de retorno de vapores.
- 3.2.8 Válvula de exceso de flujo y no retroceso Chek Lok.

Todos los tanques estacionarios tienen los componentes listados en los incisos 3.2.1 al 3.2.6, mientras que las dos últimas válvulas son opcionales y generalmente se encuentran en tanques de capacidades mayores a 300 litros.

En México, la empresa líder en cuanto a la fabricación de reguladores y válvulas es "PRECISION S.A.", asesorados técnicamente por la empresa norteamericana "ROBERTSHAW"; sus productos cumplen con Normas Oficiales Mexicanas (NOM), además de normas AGA (American Gas Association) y normas UL (Underwriters Laboratories).

En cuanto a los tanques presurizados, existen diversas compañías que se disputan el mercado nacional. Entre éstas tenemos, por ejemplo, "TANQUES DE ACERO TRINITY, S.A. (TATSA)", "METALICOS ARMEBE, S.A.", "ESTACIONARIOS PARA GAS, S.A. DE C.V." etc. Todas estas compañías utilizan generalmente válvulas y accesorios fabricados por la empresa "PRECISION S.A.", y medidores marca "ROCHESTER".

#### 3.2.1 EL TANQUE PRESURIZADO.

Es obviamente el componente principal. Consiste generalmente en una estructura cilíndrica (también los hay esféricos), con cabezales (tapas) hemisféricos, semielípticos o de los denominados tipo ASME. Los tanques hechos en México generalmente se fabrican de acuerdo a las normas NOM-12-I,



NFPA (National Fire Protection Association), y código ASME Sección VIII, en acero de norma que cumple especificaciones ASTM (American Society for the Testing of Materials).

Se requiere que una vez construido el tanque, sea verificado radiográficamente. Es diseñado a una presión de 17.58 kg/cm<sup>2</sup> (250 PSI) y a una presión hidrostática de 26.38 kg/cm<sup>2</sup> (375 PSI) mínima. Su acabado es con pintura color aluminio.

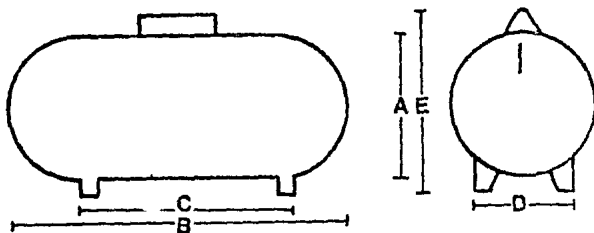


Figura 3.11 Tanque estacionario de uso doméstico. Dimensiones principales.

Los tanques estacionarios se fabrican con diferentes capacidades, las cuales se expresan en litros. Por ley, la mínima capacidad aceptable es de 300 litros; le siguen a éste, modelos con capacidades de 500, 1000, 1600, 2200, 2800, 3400, 5000 (todos éstos son los modelos más comerciales).

Generalmente, los modelos de 300 lts. cuentan únicamente con los aditamentos marcados en 3.2.2 a 3.2.6; a partir de los modelos de 500 litros, se cuenta además con las válvulas restantes.

La distribución de estos aditamentos en la cubierta del tanque (la gran mayoría los tienen en la parte superior) no tiene un orden específico, y depende del fabricante. Sin embargo, para no interferir con los demás aditamentos, la válvula de servicio siempre se coloca en un extremo (de esta válvula sale el tubo que llevará el gas al usuario una vez que éste pasa por el regulador), mientras que la válvula de llenado se coloca generalmente en el extremo opuesto.

La figura 3.12 muestra la colocación de aditamentos en dos tanques estacionarios de diferentes capacidades.

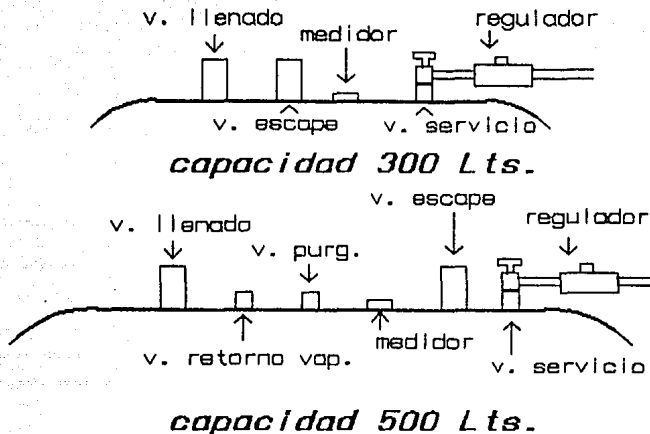


Figura 3.12 . Colocación de válvulas y medidor en tanques de 300 y 500 litros.

Por ley se especifica que la localización de estos tanques debe ser a la intemperie, con amplia y natural ventilación, con el objeto de prevenir la formación de una atmósfera explosiva en caso de fuga. Deben instalarse sobre piso firme y nivelado, a una distancia no menor de 3.0 metros de flama, boca de salida de chimeneas, motores eléctricos o de combustión interna, anuncios luminosos, interruptores eléctricos, etc.

El sitio a instalar un tanque debe ser aquel que ofrezca las mejores condiciones de ventilación, y se escoge de acuerdo a este orden:

- Azoteas que tengan acceso cómodo y seguro.
- Patios o jardines que den a la calle.
- Otros patios o jardines.

- Terrazas y otros sitios similares.

Nunca deberán instalarse sobre ménsulas o repisas en fachadas interiores o exteriores de los edificios, así como en cubos de luz y azotehuelas cuya área sea menor de 25 metros cuadrados y circundada por construcciones de altura mayor a 5 metros.

Atendiendo al uso a que se destinen y al tipo de recipiente (portátil o estacionario), las instalaciones de aprovechamiento se clasifican en diversos grupos. Un tanque estacionario de este tipo entrará dentro de las clasificaciones GRUPO 2 : Doméstica con recipiente fijo, y GRUPO 4 : Comerciales con recipiente fijo.

Dentro de los recipientes estacionarios se encuentra incluido el recipiente tipo subterráneo, el cual se permite instalarlo solamente cuando no exista un lugar adecuado para ubicar un recipiente tipo intemperie.

Todos los tanques estacionarios deben tener una placa en un extremo donde se especifiquen las características propias del tanque; entre estas características (no necesariamente se deben incluir todas) tenemos las siguientes (a modo de ejemplo se incluyen entre paréntesis parámetros típicos de un tanque de 300 lts.) :

- Presión de diseño (17.58 kg/cm<sup>2</sup>).
- Tipo de cabezales (semielípticos).
- Diámetro interno (61 cm.).
- Largo total (111 cm.).
- Capacidad total de agua (300lts.).
- Número de serie.
- Tara (114 kg.).
- Espesor placa cuerpo (4.7 mm.).
- Espesor placa cabezal (4.7 mm.).
- Año de fabricación.
- Norma de fabricación (NOM-X-12/3-1985).
- Sello oficial de garantía (NOM-11-I).
- Presión máxima de trabajo (14 kg/cm<sup>2</sup>).

Y las leyendas :

- "ESTE RECIPIENTE NO DEBE SUJETARSE A CALENTAMIENTOS ARTIFICIALES".
- "RADIOGRAFIADO 100 %".
- "ESTE RECIPIENTE DEBE CONTENER GAS L.P. CUYA PRESIÓN DE VAPOR NO EXCEDA DE 12.3 KG/CM<sup>2</sup> A 310.8 oK (37.8 oC).

Una norma de extrema importancia, no contenida en la placa del tanque, especifica que el llenado máximo permisible del recipiente es de 98 % .

### 3.2.2 EL MEDIDOR.

En la sección 3.1.2 se mencionaron algunas características del medidor de gas fabricado por la empresa "Medidores Internacionales Rochester". A continuación se presentarán características específicas de este medidor.

En la figura 3.9 aparece un dibujo del cuerpo del medidor. Específicamente para este componente, el giro que hace el ensamble varilla-flotador no es de 180 grados, sino un poco menor. El ángulo mínimo que forma con la vertical, cuando está en la posición inferior es de unos 7 grados, mientras que el ángulo mínimo cuando está en la posición superior, es de unos 15 grados, de tal forma que el total del recorrido angular es de alrededor de 158 grados. Esto es importante para el análisis del error del medidor.

Como se explicó, el movimiento angular del flotador se transmite a un imán situado en la cabeza mediante un par de engranes. El imán gira unos 350 grados, por lo que se deduce que la relación de engranes varilla/eje es superior a 2.

Con respecto a la carátula, esta tiene las siguientes características impresas :

- Escala graduada del 5 al 95, con divisiones marcadas cada 5 unidades. Esta graduación describe un ángulo de aproximadamente 340 grados.
- Modelo de carátula.

Y las leyendas :

- " PORCENTAJE DE CAPACIDAD TOTAL " (situada en la parte superior).
- " MAXIMO LLENADO A TEMPERATURA DE LIQUIDO ".
- " PROPANO 50/50 BUTANO ".

Una carátula de estas aparece en la figura 3.18 .

Como se mencionó anteriormente, este medidor cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-X-6-1987; algunas de las características impresas en la carátula corresponden al seguimiento de esta norma.

Esta norma es de suma importancia para la presente tesis, ya que establece características que serán de suma utilidad para ciertas consideraciones y restricciones que se aplicaron al instrumento medidor.

### 3.2.3 EL REGULADOR.

El objeto de un regulador de presión es recibir gas a una presión alta y variable (proveniente de la válvula de servicio del tanque), y automáticamente entregarlo a una presión predeterminada y constante.

Los reguladores, en cuanto a sus principios básicos que siguen en su diseño, son muy similares, pero existe una gran variedad de modelos y tipos destinados a proporcionar cada uno los servicios que exigen las diversas necesidades de los usuarios.

Los reguladores que se utilizan para gas L.P. son los de alta presión, los de baja presión y los de aparato. Dentro de cada una de esas clasificaciones hay diversos tipos atendiendo a los valores de presión, capacidades, mecanismos automáticos o manuales, etc., características que es indispensable conocer para su selección.

En general, puede decirse que los tipos de reguladores varían en cuanto a la relación que existe entre las presiones que reciben y entregan, asimismo en cuanto a su capacidad.

Todos los quemadores de tipo doméstico destinados a operar con gas L.P. se diseñan para alcanzar una eficiencia óptima en la combustión cuando la presión del gas a través del mezclador de aire es de 27.94 g/cm<sup>2</sup> (11" de columna de agua), por lo que si dicho gas se suministra a presiones inferiores producirá pérdidas adicionales de calor en la eficiencia del quemador. Debido a estas pérdidas se crean problemas de servicio por presiones impropias, tales como llamas amarillentas y otras características de operación deficiente.

La presión de salida de un regulador es afectada por la presión de entrada del mismo y la demanda solicitada por los aparatos de consumo.

El regulador se conecta al recipiente almacenador de gas (a través de la válvula de servicio) en uno de sus extremos, por medio de una conexión que puede ser flexible o rígida, y por otro lado, a la tubería de servicio.

La figura 3.13 ilustra un regulador de los utilizados en un tanque estacionario de uso doméstico.

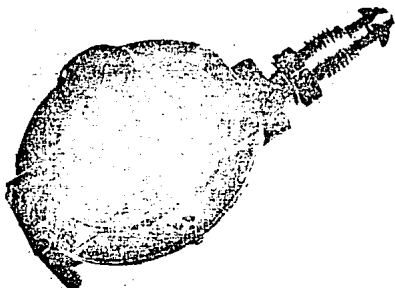


Figura 3.13. Regulador para tanque estacionario de uso doméstico, modelo "BARO 101", fabricado por "PRECISION S.A."

Los reguladores de servicio deben cumplir con las siguientes Normas Oficiales Mexicanas : NOM X-11, NOM 187-I, NOM 39-I.

### 3.2.4 LA VALVULA DE SERVICIO.

Es el enlace entre el tanque estacionario y el regulador. Permite controlar la cantidad de gas que se suministra. Están diseñadas para funcionar en la zona de vapor de los tanques estacionarios, por lo que requiere de una instalación en la parte superior de éstos.

Generalmente se construyen con cuerpo de latón forjado, e incorporan una válvula de retención y una de máximo llenado, con un tubo de profundidad mediante el cual el operador puede sin peligro determinar rápidamente cuando se ha alcanzado el nivel máximo de llenado.

El sellado de un vástago al cuerpo de la válvula consiste en un empaque de hule sintético a prueba de fugas, al expanderse bajo presión, con las paredes del bonete y el vástago.

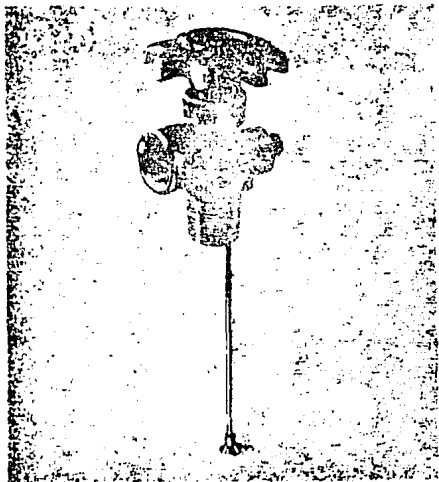


Figura 3.14 . Válvula de servicio modelo " BARO 2882 ".

La conexión al tanque generalmente es de 19.05 mm. (3/4") NPT.

La válvula de servicio debe cumplir con la norma NOM X-51.

### 3.2.5 LA VALVULA DE SEGURIDAD.

La función de esta válvula es la de aliviar una sobrepresión excesiva que se llege a presentar en un tanque de gas estacionario.

Generalmente están calibradas para abrir a una sobrepresión de 17.6 kg/cm<sup>2</sup>. Después de descargar, la válvula

debe cerrar automática y herméticamente. Esto se logra mediante un disco de elastómetro.

Incluyen una placa de datos donde se presenta la presión de apertura y la capacidad de descarga. Este parámetro es típicamente de unos 56 m<sup>3</sup>/min.



Figura 3.15 . Válvula de seguridad modelo "PRECISION 2007".

Su conexión al tanque es de 19.05 mm.

Estas válvulas de seguridad están reglamentadas por la norma NOM X-25.

### 3.2.6 VALVULA DE LLENADO.

Esta válvula forma el enlace de unión entre el tanque estacionario y el adaptador con manguera provenientes del camión de descarga.

Combinan dos válvulas de no-retroceso. Se forman de dos piezas: el cuerpo superior y el cuerpo inferior están unidos con cuerda recta y sellados por medio de un empaque.





**Figura 3.16. Válvula de llenado modelo "PRESICION 2008".**

La presión del flujo del líquido abre ambas válvulas de no-retroceso y éstas cierran automáticamente cuando el flujo se detiene, permitiendo la desconexión de la manguera de llenado.

La conexión al tanque es de 31.7 mm. (1-1/4") NPT, y típicamente su capacidad aproximada es de 265 lts/min.

Están normalizadas por NOM X-25.

### 3.2.7 VALVULA DE RETORNO DE VAPORES.

Disponibles generalmente en tanques de capacidades de 500 lts. o mayores.

Su función es la de evitar la presión excesiva que puedan producir las bombas de gran capacidad dentro de los recipientes; además, facilita la operación de llenado al igualar las presiones dentro del autotank y el tanque estacionario. Por lo tanto, al realizar la operación de recarga, todo camión repartidor debería llevar dos mangueras para conectarlas al tanque (en la práctica solo se utiliza una, que es la que se conecta a la válvula de llenado).

Incorpora una válvula de retroceso y otra de exceso de flujo.

Se mantiene abierta al conectar la manguera y cierra automáticamente cuando ésta es desconectada.

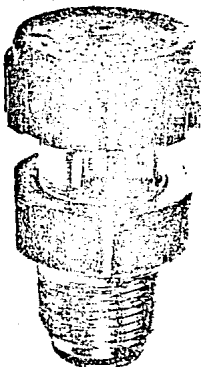


Figura 3.17 . Válvula de retorno de vapores modelo "PRECISION 2809".

Su conexión al tanque es de 19.05 mm. (3/4") NPT, y tiene una capacidad de cerrado de 116 m<sup>3</sup>/h.

Está reglamentada por NOM X-28.

### 3.2.8 VALVULA DE EXCESO DE FLUJO Y NO RETROCESO CHEK-LOK.

Es una válvula que resuelve el problema de vaciado rápido de tanques estacionarios.

Consiste en una combinación de válvulas de no-retroceso y de exceso de flujo, teniendo además tapa roscada para cierre automático.

La entrada al tanque es de 19.05 mm (3/4") NPT macho; su salida tiene la misma medida pero es hembra.

Estas válvulas cumplen con la norma NOM X-23, NOM EF.



Figura 3.18 . Válvula Chek-Lok modelo "PRECISION 2010".

### 3.3 CONCLUSIONES SOBRE EL PRESENTE CAPITULO

Después de haber leído este capítulo debe quedar claro que, contrario a lo que se podría pensar, la medición del gas L.P. se realiza mediante una medición de nivel. Esta medición presenta ciertos problemas, debido principalmente a los hechos de que el gas L.P. es inflamable y que debe estar contenido en un recipiente presurizado.

Existen muchos gases que se miden por presión; esto se debe al hecho de que no se licúan, es decir, dentro del recipiente existe únicamente fase gaseosa.

Al analizar el método de la medición mediante flotador, se comprendió que la medida no puede ser muy precisa. Como se demostrará en el siguiente capítulo, el instrumento medidor se desarrolló para substituir parcialmente a la carátula indicadora que va montada sobre el tanque.

El medidor electrónico sin el sensor que se monta en el tanque es de alta precisión; sin embargo, el sistema completo no será muy preciso, debido principalmente al hecho de que el sistema total depende del ensamble que se encuentra dentro del tanque.

De cualquier forma, cumple su objetivo, ya que proporciona una medida digital igual a la medida analógica que registra la carátula normal.

#### **CAPITULO IV : DISEÑO DEL INSTRUMENTO MEDIDOR**

## " Diseño del instrumento medidor "

### 4.0 INTRODUCCION

Hasta ahora se han tratado aspectos relacionados al gas L.P., así como el concepto y prevención de la explosión; sin embargo, casi no se ha hecho mención sobre el desarrollo del instrumento medidor ni su relación con lo visto en capítulos anteriores.

La intención de este capítulo es tratar a fondo el diseño del instrumento medidor; en el siguiente capítulo se explicarán las medidas de protección que se aplicaron a los diferentes componentes del circuito para hacerlo seguro.

### 4.1 OBJETIVOS DEL INSTRUMENTO

Antes de empezar la búsqueda de información para el diseño del instrumento, el autor tenía ciertos objetivos bien definidos que se proponía cumplir.

Conforme se fué trabajando y refinando el diseño, se hacía patente que algunos de los objetivos eran difíciles de cumplir, pues no eran prácticos, o bien, estaban en oposición con otros objetivos más importantes; de cualquier forma, el resultado final fué un instrumento que satisfizo plenamente al autor.

Una característica muy importante del producto final es que se obtuvo un muy buen balance de la relación (utilidad-complejidad)/costo atractivo, es decir, se trató de cuidar la calidad tecnológica, teniendo siempre muy presente el aspecto costo.

A continuación se presentan los objetivos que el autor se planteó al inicio o durante el desarrollo del instrumento. Mientras que resultarán aparentes los objetivos que se cumplieron, también se dará razón de aquellos que no se pudieron alcanzar.

Los objetivos planteados inicialmente fueron los siguientes :

- El sistema debía estar compuesto únicamente por componentes nacionales, o bien, componentes que se pudieran conseguir sin dificultad en México.

- Debía tener un factor de seguridad extremadamente alto.
- El instrumento debía ser alimentado con baterías, preferentemente con tan solo una de 9 voltios; también debía tener la opción de poder ser alimentado con corriente alterna (la de uso doméstico) mediante un transformador/adaptador.
- Debía tener un precio accesible, para en un futuro implementar su comercialización.
- Su operación debía ser sencilla; esto es, debía contar con el menor número posible de controles. Además, para desplegar su información, debía incluir un indicador visual (de dos dígitos preferentemente).
- La lectura indicada debía corresponder a la cantidad, en litros, de gas en estado líquido remanente en el tanque.
- Debía contar con algún tipo de alarma.
- El circuito debía tener protección de polaridad para evitar daños al instrumento ocasionados por conectar la fuente de voltaje en forma incorrecta.
- Debía incorporar algún mecanismo que mantuviera la lectura desplegada unos tres segundos después de liberar el botón de operación.

#### 4.2 PARTES COMPONENTES DEL INSTRUMENTO

A grandes rasgos se puede decir que el sistema del instrumento medidor está compuesto por dos componentes fundamentales:

A> El sensor o transductor :

Es la parte que se coloca en el tanque. Convierte la medida de altura del gas líquido en una señal (de resistencia) que puede ser interpretada por el instrumento convertidor.

B> El instrumento convertidor :

Es el componente que se encarga de recibir y transformar la señal proveniente del transductor en otra señal que puede ser interpretada por el usuario.

El instrumento convertidor está formado por muchos componentes. Estos componentes se pueden agrupar en bloques; cada bloque tiene una función específica y necesaria para el correcto funcionamiento del sistema.

Los bloques que componen al instrumento son los siguientes :

- El convertidor analógico-digital.
- El verificador de estado de la fuente de voltaje.
- La fuente de corriente constante.
- El indicador visual con su respectivo circuito integrado para el manejo de corriente.

y, exterior al instrumento convertidor,

- El sensor o transductor.

En la figura 4.1 se ilustra el sistema completo del instrumento medidor en forma de diagrama de bloques.

Posteriormente se explicará el funcionamiento de cada uno de estos bloques.

En lo referente al número de componentes, el instrumento cuenta con mas de 40 piezas montadas sobre un circuito impreso, de las cuales siete son circuitos integrados; en este número se incluyen resistencias (tanto fijas como variables), capacitores, diodos, amplificadores operacionales, etc.

A lo largo del presente capítulo se ilustran, por medio de diferentes diagramas, todos los componentes del circuito. A cada uno de estos componentes se le ha asignado una clave única de identificación, compuesta por una letra y un número. El primer caracter corresponde a la primera letra del nombre del componente, mientras que el número sirve para diferenciar a aquellos componentes de la misma especie; como ejemplo de lo anterior, el componente "D1" designa al primero de los tres diodos rectificadores con que cuenta el sistema.

En este circuito se utilizan dos circuitos integrados LM358, los cuales contienen cada uno, dos amplificadores operacionales. Aparte de utilizar la identificación respectiva (I1, I3, donde I=integrado), a cada uno se le ha adicionado la terminación 1A, 1B, 2A o 2B, con lo que se indica el circuito integrado utilizado (número 1 o 2) así como el amplificador operacional correspondiente (letra A o B) en cada uno de estos circuitos integrados.



# DIAGRAMA DE BLOQUES

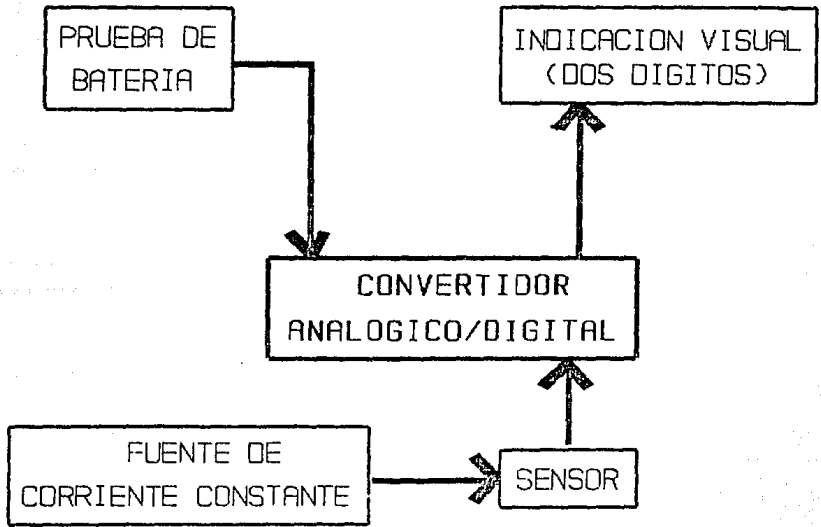


Figura 4.1. Diagrama de bloques del medidor de Eas electrónico.

En el apéndice B se ilustra el diagrama general de toda la circuitería y componentes del instrumento.

#### 4.3 OPERACION GENERAL DEL CIRCUITO

Al oprimir un botón de operación se esta accionando un interruptor normalmente abierto; la función de este interruptor es la de conectar la fuente de voltaje al instrumento.

Un circuito muy importante conectado directamente a la alimentación es un comparador de voltaje que verifica que la fuente que sirve como suministro al sistema tenga un nivel de voltaje adecuado para que el instrumento opere correctamente (mínimo de 7.3 V). Es sumamente importante que este parámetro de voltaje sea respetado; de no existir este circuito comparador/verificador, a un voltaje inferior al especificado, el instrumento proporcionaría una lectura falsa que podría parecer correcta.

Si el voltaje suministrado por la fuente no esta dentro del mínimo requerido, una luz indicará esta condición, al mismo tiempo que una señal de control dará aviso al componente central (el convertidor analógico/digital) para que éste no realice su función y para que a su vez proporcione al usuario una señal visual de no operación. Si el voltaje es el adecuado, no habrá luz indicadora; el comparador de voltaje proporcionará ahora otra señal al elemento central, indicándole que puede realizar su función.

Para que ciertos componentes del circuito operen como lo requiere el circuito, es necesario que se les suministre un voltaje controlado y uniforme. Por lo tanto, el instrumento cuenta con el popular regulador de voltaje LM340 (7805); se trata de un circuito integrado de tres terminales que requiere un voltaje mínimo de entrada de 7.3 V (y máximo de 35 V) para entregar un voltaje regulado y constante de 5 V.

Dentro del instrumento existe una fuente de corriente a la cual le es imprescindible este voltaje regulado. Su labor consiste en proporcionar una corriente constante que se aplicará al sensor que se coloca en el tanque. A su vez, el sensor consiste básicamente de una resistencia variable (por lo que convierte el parámetro de altura del tanque en una señal de resistencia); al aplicarle una corriente constante (suministrada por la fuente de corriente), se obtiene una diferencia de potencial (o caída de potencial) entre sus terminales, cuya magnitud depende de la resistencia que

presenta el sensor en ese momento. Esta señal de voltaje se aplica al elemento central, el convertidor A/D (Análogo/Digital), cuya función es la de convertir el voltaje analógico que se presenta en los bornes del sensor en una señal digital que puede ser interpretada por el usuario.

El circuito cuenta además con referencias de voltaje que son utilizadas por el convertidor para realizar comparaciones.

Componentes tales como ciertas referencias, además de la fuente de corriente, el convertidor, etc., requieren del suministro de voltaje constante, mientras que el circuito verificador de voltaje no lo requiere. Por lo tanto, el regulador antes mencionado se incluye en tan solo una sección del circuito, mientras que el resto se alimenta con el voltaje que proviene directamente de la fuente externa.

#### 4.4 ANALISIS DE LOS CIRCUITOS COMPONENTES DEL SISTEMA

A continuación se presenta una descripción, así como análisis, de los diversos circuitos que forman el sistema del medidor de gas L.P.

En los diagramas siguientes, todas las resistencias, expresadas en ohms, son a  $1/4$  W; los capacitores están expresados en faradios (a menos que se especifique lo contrario).

##### 4.4.1 CIRCUITO VERIFICADOR DEL ESTADO DE LA FUENTE DE ALIMENTACION.

Este circuito tiene las siguientes funciones, algunas de las cuales ya se han mencionado: en caso de que el voltaje de alimentación sobrepase un mínimo, proporciona una señal al circuito central (convertidor A/D) indicándole que puede proseguir; en caso contrario, enciende una luz indicadora y suministra otra señal al circuito central para informarle sobre esta condición.

En forma general, un circuito verificador de voltaje como éste se puede construir a partir de un dispositivo denominado "comparador de voltaje"; este circuito no es más que un amplificador operacional (OP-AMP) diseñado específicamente para operar no en el modo lineal (como amplificador), sino en la región de saturación o corte, proporcionando una señal binaria de voltaje en la salida, ya sea cercana a Vcc o cercana a tierra (ó -Vcc, dependiendo de las condiciones de la alimentación), lo que representa "1" ó "0" lógico

respectivamente, donde la señal de salida obviamente depende de las entradas.

Un circuito comparador también se puede construir a partir de un amplificador operacional común, de los diseñados para operar precisamente en la región lineal (como amplificadores lineales).

Para este proyecto se eligió la construcción del verificador en base a un amplificador operacional común (1).

Aunque este subsistema requiere de tan solo un amplificador operacional, el diseñador decidió utilizar dos de estos amplificadores operacionales en sus respectivos circuitos integrados. La razón de ésto se dará posteriormente.

Después de realizar una amplia búsqueda para seleccionar el circuito integrado que mejor se adaptara a la presente necesidad, se optó por utilizar un CI (circuito integrado) LM358, que es un circuito que cuenta con dos amplificadores operacionales. Las razones para utilizar este CI en vez de otros amplificadores operacionales, o inclusive, en vez de algún comparador de voltaje, fueron las siguientes :

- Es un circuito muy versátil, que presenta una corriente de drenado pequeña; se considera ideal para aplicaciones donde la alimentación es a base de baterías.
- Puede operar con una fuente de alimentación sencilla, eliminando la necesidad de utilizar una fuente simétrica.
- Opera en un amplio rango de voltajes: desde 3 V c.d. hasta 30 V c.d.; ésto es sumamente importante para la presente aplicación, ya que el suministro de voltajes podrá variar, inclusive por arriba de los 9 voltios (si se alimenta al sistema mediante un transformador/adaptador para corriente a.c. de uso doméstico); cuando la batería esta baja, es importante que siga funcionando, inclusive a 4 voltios o menos.
- Puede suministrar voltajes de salida cercanos a tierra o a Vcc.

(1) Obviamente, un "comparador de voltaje" presenta ventajas definitivas sobre un amplificador operacional adaptado a funcionar como comparador. Entre las principales ventajas, está la referente a la velocidad de respuesta; sin embargo, también presenta desventajas: entre otras, poca capacidad de corriente, necesidad de fuente simétrica en la mayoría de los casos, etc.

- El instrumento utiliza dos de éstos circuitos integrados (aunque no necesariamente para la misma aplicación). Al utilizar un mismo circuito en dos ocasiones, baja el costo en comparación a utilizar dos circuitos diferentes.
- Cada circuito integrado cuenta con dos amplificadores operacionales independientes. En uno de estos circuitos integrados, se utiliza un amplificador como comparador, y el otro como dispositivo lineal (para la fuente de corriente constante).
- Tiene la capacidad de suministrar una corriente de salida suficiente para operar un LED (diodo emisor de luz).
- Es compatible con los circuitos a los que se interconecta.
- Es un circuito muy comercial que se consigue fácilmente.

#### 4.4.1.1 Diseño del circuito verificador del estado de la fuente de alimentación (fuente de voltaje).

Este circuito se basa en la acción de un amplificador operacional utilizado como comparador de voltaje. En este subsistema también intervienen: un diodo emisor de luz (LED) como indicador de la condición de batería baja, un divisor de tensión, y otro amplificador operacional cuya función es la de dar niveles lógicos de voltaje al componente central (convertidor A/D).

Parte de este subsistema se alimenta directamente con la batería o con el adaptador de corriente a.c. Tal es el caso del amplificador que se utiliza como comparador, el circuito que contiene al LED indicador, y el divisor de tensión; por otra parte, el amplificador operacional que se utiliza para dar niveles lógicos se encuentra en otro circuito integrado y se alimenta con voltaje regulado a 5 voltios.

La parte no regulada a 5 voltios se conecta a la fuente de alimentación mediante un diodo rectificador (D1). Este componente se incluyó para evitar daños al CI LM358 (I1) en caso de conectar inadvertidamente la fuente de voltaje en forma inversa. Sin embargo, para el análisis que sigue se considera que esta parte del circuito se alimenta a 9 voltios (aunque en realidad, el voltaje es un poco menor debido a la caída de potencial en el diodo).

En el diseño del presente subsistema no se incorporó ninguna medida especial de protección; es decir, no está

diseñado en base a los conceptos anteriormente tratados de seguridad intrínseca o seguridad aumentada. La razón de no incluir seguridades se debe a que este subsistema no representa ningún peligro para la posible fuente de ignición (el tanque estacionario para gas). Mas adelante se explicarán las medidas de seguridad que se aplicaron al único subsistema (la fuente de corriente constante) que está directamente relacionado con la posible fuente de ignición.

La figura 4.2 muestra el diagrama electrónico de este circuito, mientras que el diagrama del alambrado se puede observar al final de esta tesis (el diagrama del CI LM358 aparece en el apéndice B).

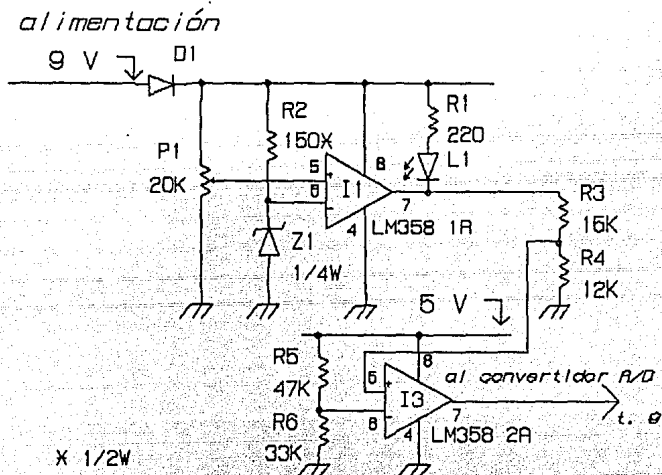


Figura 4.2 . Circuito verificador del estado de la fuente de voltaje.

#### 4.4.1.1.1 Comparador de voltaje de la fuente de alimentación.

El voltaje de alimentación puede ir decayendo con el paso del tiempo (si se trata de alimentación con batería), lo que puede afectar la operación del instrumento. De aquí la necesidad de contar con un circuito comparador que verifique el estado de la fuente de alimentación en todo momento.

El amplificador operacional que realiza la comparación de voltaje se obtiene, como antes se especificó, del CI LM358-1A (I1). En este circuito se aprovecha, entre otras, su característica de operación en los rangos de voltaje que se pueden presentar en el sistema (11 a 3 voltios, aproximadamente), por lo que se puede considerar inmune (hasta cierto punto), al posible cambio en el voltaje de alimentación.

Para la comparación de voltaje de entrada al sistema, tan solo se utiliza uno de los dos amplificadores operacionales con que cuenta cada LM358 (específicamente, el 1A).

Las entradas y salidas del amplificador operacional contenido en el circuito integrado que se conecta directamente a la fuente de alimentación (LM358-1A), están conectadas de la siguiente forma:

#### Entrada inversora (terminal 6):

Esta entrada está conectada a una referencia de voltaje de 4.7 voltios. Dicha referencia se obtiene mediante un diodo zener (Z1) con un voltaje nominal de ruptura de 4.7 voltios, a una capacidad de 1/4 watt. Pensando en esta capacidad, se eligió una resistencia de 150 ohms a 1/2 watt (R2), que se conecta en serie al diodo zener. Esta resistencia desempeña el papel de limitadora de corriente para el diodo. El arreglo resistencia/diodo zener se conecta en paralelo a la fuente de alimentación (v. figura 4.2).

Para que el diodo zener opere correctamente (en la región zener), se recomienda suministrarle una corriente mínima igual a 1/4 de la corriente total que puede manejar.

Obteniendo primero la corriente máxima que soporta el diodo considerando su capacidad de 1/4 watt y su voltaje de 4.7 voltios:

Como se sabe que:

$$\text{Potencia} = \text{Voltaje} \times \text{corriente} \quad \dots 4.1$$

Despejando la corriente, se obtiene una intensidad máxima de 53 mA. La cuarta parte de esta corriente es, por consecuencia, igual a 13.2 mA.

Interesa que el diodo zener opere satisfactoriamente en un

rango de voltajes de alimentación comprendido entre 11 y 6.8 voltios (nótese que el valor de voltaje mínimo aceptable de la fuente de voltaje (7.3 voltios) cae en este rango).

Al aplicar el voltaje de alimentación al arreglo diodo zener-resistencia, se obtiene una diferencia de potencial en el diodo zener (igual a su valor nominal, 4.7 voltios). El potencial entre las terminales de la resistencia es igual a la diferencia en potencial que existe entre el voltaje de alimentación y la caída en el diodo zener.

Para el límite superior de 11 voltios, la resistencia tendrá una diferencia de potencial entre sus terminales de 6.3 voltios. Si se considera el valor de la resistencia (150 ohms), se puede encontrar la corriente a través de ésta mediante la aplicación de la expresión :

$$\text{Voltaje} = \text{resistencia} \times \text{corriente} \quad \dots \quad 4.2 \text{ (Ley de Ohm)}$$

Se obtiene un valor de corriente máxima de 42 mA; este valor está por debajo del límite que puede soportar el diodo zener (considérese además que la presencia de un voltaje tan elevado es muy improbable, por lo que el cálculo anterior representa un caso crítico). Por otra parte, el ritmo con el que se disipa energía en la resistencia es (mediante 4.1) igual a 264 mW, lo que respalda la elección de una resistencia de 1/2 watt.

Para el límite inferior de 6.8 voltios, la caída en la resistencia es ahora de tan solo 2.1 voltios.

Aplicando 4.2, se obtiene que para este caso, la corriente resulta igual a 14 mA, que está por arriba del mínimo recomendable para el diodo zener.

Por lo tanto, la selección de estos componentes con sus respectivos valores aseguran una referencia de voltaje estable a 4.7 voltios en la entrada de la terminal inversora, para cualquier valor de voltaje de entrada al circuito comprendido entre unos 11 y 6.8 voltios.

Entrada no inversora (terminal 5):

En la entrada no inversora se coloca el cursor de un potenciómetro (P1). Las otras terminales del potenciómetro están conectadas a las terminales de la fuente de alimentación, de tal forma que al variar el cursor se puede obtener en éste prácticamente cualquier valor comprendido



entre  $V_{cc}$  y 0 voltios (este componente se utiliza como divisor de tensión).

Una vez fijo el cursor, cualquier variación de voltaje entre las dos terminales del potenciómetro trae como consecuencia una correspondiente variación directamente proporcional en el voltaje del cursor. La expresión con la que se obtiene el voltaje en el cursor es la siguiente :

$$V_{\text{cursor}} = V_{cc} \times r_1 / (r_1 + r_2) \quad \dots 4.3$$

Donde :

$r_1 + r_2$  = Resistencia total del potenciómetro.

Para esta última expresión, se considera que  $r_1$  y  $r_2$  son las resistencias equivalentes entre el cursor y cada una de las dos terminales.

Se eligió un potenciómetro con un valor de resistencia total de 20 Kohms. La razón de seleccionar este valor elevado es para minimizar la corriente que se drena por este componente. Además, debido a que la entrada del amplificador operacional tiene típicamente un valor mínimo de resistencia de unos 100 Kohms, la selección de un potenciómetro con una resistencia igual a una quinta parte del valor mínimo de resistencia de entrada del amplificador asegura que este componente se comporte como un divisor de tensión casi independiente de la carga aplicada (que en este caso es la entrada del amplificador operacional).

La calibración del potenciómetro se debe hacer de tal forma que al tener un voltaje de entrada igual a 7.3 voltios, el voltaje en la salida del cursor sea ligeramente superior a 4.7 voltios. De esta forma, cualquier voltaje de alimentación superior a 7.3 voltios dará por resultado un voltaje de cursor mayor a 4.7 voltios, mientras que un voltaje de alimentación inferior a 7.3 voltios traerá por consecuencia un voltaje de cursor inferior a 4.7 voltios (recuérdese que mientras que el voltaje de alimentación no sea inferior a unos 6.8 voltios, el voltaje en la terminal inversora permanecerá fijo en unos 4.7 voltios).

## Salida del amplificador operacional (terminal 7):

El voltaje de salida del amplificador operacional es obviamente función de sus entradas. Debido a que la entrada inversora se puede considerar fija en 4.7 voltios, entonces se puede decir que la salida depende únicamente del voltaje de entrada en la terminal no inversora; dicho voltaje es el que se presenta en el cursor del potenciómetro.

Considerando la alta ganancia que tiene el amplificador operacional, y debido al hecho de que no se está utilizando en su región lineal de operación, se comprende que cualquier voltaje en la terminal no inversora (cursor del potenciómetro) que supere levemente los 4.7 voltios (que es el voltaje presente en la terminal inversora) trae por consecuencia un voltaje de salida "alto", cercano a Vcc (saturación). Por otro lado, cualquier voltaje en la entrada no inversora que sea inferior a 4.7 voltios (que refleja un estado no aceptable de la batería), dará por resultado un voltaje de salida "bajo", cercano a cero voltios (tierra).

Pero, ¿qué sucede cuando el voltaje de entrada es inferior a 6.8 voltios, y el voltaje del diodo zener comienza a no ser estable?

Cuando el voltaje de entrada es inferior a 6.8 voltios, la corriente que alimenta al diodo zener empieza a ser insuficiente para que este diodo proporcione un voltaje estable, aunque éste sigue siendo cercano a 4.7 voltios. Cuando el voltaje de alimentación es inferior a 4.7 voltios, el voltaje en el diodo zener es casi igual al voltaje de alimentación, lo que implica que prácticamente no circula corriente por la resistencia puesto que la caída de potencial en este componente es mínima.

Por lo tanto, la relación del voltaje de entrada al voltaje en el diodo zener no es una función lineal; por otra parte, el voltaje en el cursor del potenciómetro sí es una función lineal del voltaje de entrada.

En cualquier caso, cuando el voltaje de alimentación comienza a decrecer, y es inferior a 7.3 voltios, el voltaje en la terminal no inversora (terminal 5 o cursor del potenciómetro P1) es siempre inferior al voltaje de la terminal inversora (terminal 6 o diodo zener), por lo que en este rango de voltajes de alimentación, la salida del amplificador operacional siempre estará cercana a tierra. La situación anterior se ilustra en la figura 4.3.

Voltajes de salida del diodo zener y del potenciómetro

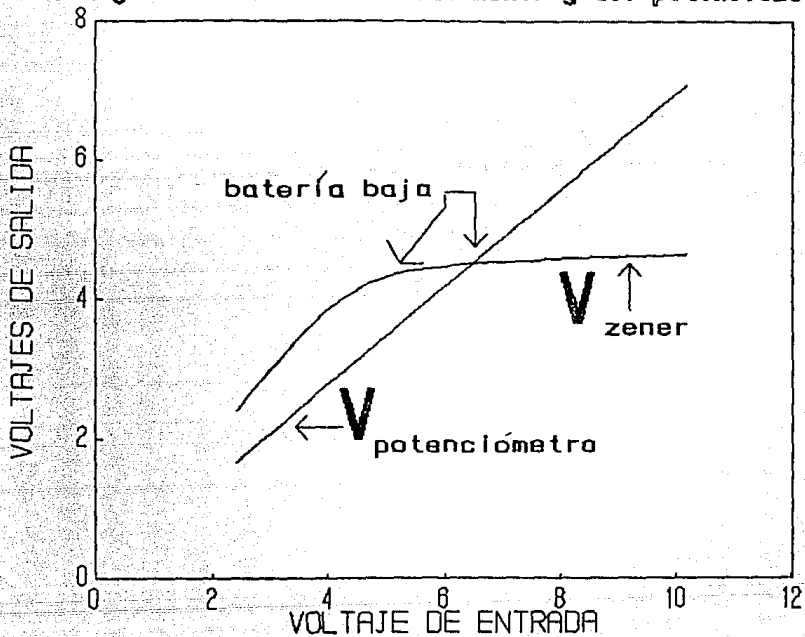


Figura 4.3. Voltajes en el diodo zener ( $V_z$ ) y en el potenciómetro ( $V_p$ ) en función del voltaje de alimentación.

#### 4.4.1.1.2 Circuitos conectados a la salida del amplificador operacional.

Existen dos circuitos conectados a la salida del amplificador: uno es el circuito indicador de la condición "batería baja", y el otro es un circuito que se encarga de convertir una señal de voltaje que puede ser algo variable, a niveles de voltaje lógicos (5 ó 9 voltios aprox.); este último circuito cuenta con un divisor de tensión que sirve como atenuador. Como se mencionó, la función de este convertidor de nivel lógico es la de indicar al componente central la condición de voltaje de la fuente de alimentación.

##### 4.4.1.1.2.1 Circuito de indicación visual de la condición "batería baja":

Como se explicó anteriormente, cuando el voltaje de alimentación es superior a 7.3 voltios, la salida del amplificador operacional es "alta" (cercana a  $V_{cc}$ ), mientras que cuando el voltaje de entrada es inferior a 7.3 voltios, la correspondiente salida es "baja" (cercana a tierra).

Debido a lo anterior, se colocó un LED (L1), con su correspondiente resistencia limitadora, conectando las terminales de este arreglo, una a  $V_{cc}$  y la otra a la salida del amplificador operacional. Este circuito se presenta en la figura 4.4.

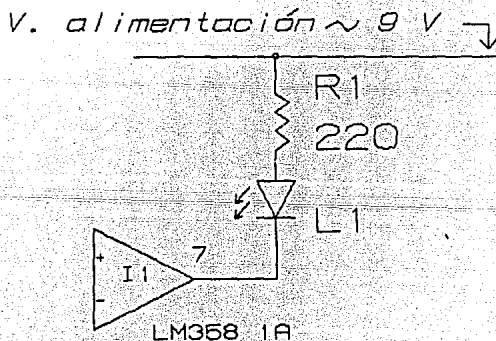


Figura 4.4 . Circuito indicador de condición de batería.

Cuando el voltaje de entrada es superior al mínimo, la salida del amplificador es "alta". Debido a esto, ambas terminales del LED se encuentran prácticamente al mismo potencial ( $V_{cc}$ ), con lo que se garantiza que el LED no emita luz en esta condición.

A su vez, cuando el voltaje de entrada es inferior al mínimo, la salida del amplificador es "baja", y por consecuencia, el potencial en las terminales del LED es distinto; el ánodo tiene un potencial superior al del cátodo, por lo que entonces el LED emite una luz indicando la condición de bajo voltaje de la fuente de alimentación.

Al suceder esta condición, el voltaje en el cátodo del LED esja cercano a 8 voltios (la salida del amplificador operacional es "baja"), mientras que su otra terminal está conectada a  $V_{cc}$  a través de la resistencia limitadora, de manera que se consigue una diferencia de potencial suficiente para provocar la emisión de luz por parte del LED.

La condición donde se dan los parámetros mas críticos para este circuito, sucede cuando el voltaje de alimentación es ligeramente inferior a 7.3 voltios; entonces, el voltaje entre las terminales del circuito LED-resistencia es ligeramente inferior a 7.3 voltios.

El circuito se diseñó considerando un voltaje máximo de 7.3 voltios, un voltaje de LED igual a 2 voltios, y una corriente de LED máxima de 25 mA.

Debido a esto, en el caso crítico de existir 7.3 voltios entre las terminales del circuito, existirá una caída de 2 voltios en el LED encendido, y los restantes 5.3 voltios se presentarán entre las terminales de la resistencia.

Se eligió una resistencia de 220 ohms a 1/4 watt, pues en estas condiciones la corriente que pasa por la resistencia es igual a 24 mA y la potencia es igual a 127 mW.

#### 4.4.1.1.2.2 Circuito que indica al convertidor A/D sobre la condición de la fuente de alimentación:

Consiste en un divisor de tensión (formado por  $R_3$  y  $R_4$ ) y un amplificador operacional (I3, LM358-2A) que trabaja como comparador de voltaje. No hay que confundir a este amplificador operacional con el que se trató anteriormente; aunque el presente amplificador realiza una función análoga al anterior, éste se encuentra en un circuito integrado diferente (I3) y se alimenta con un voltaje regulado a 5 voltios. Este subsistema se ilustra en la figura 4.5.

Primeramente se explicará lo relacionado al divisor de voltaje:

El divisor de tensión esta conectado entre tierra y la salida del amplificador operacional que se utiliza como verificador de voltaje de la fuente de alimentación (I1, LM358-1A). Esta formado por dos resistencias en serie (R3 y R4). La salida del divisor consiste en la señal de voltaje que existe entre ambas resistencias; dicho voltaje se aplica a un amplificador operacional, como se explicará posteriormente. El voltaje de salida en este divisor es entonces dependiente (por medio del amplificador LM358-1A) del voltaje de alimentación.

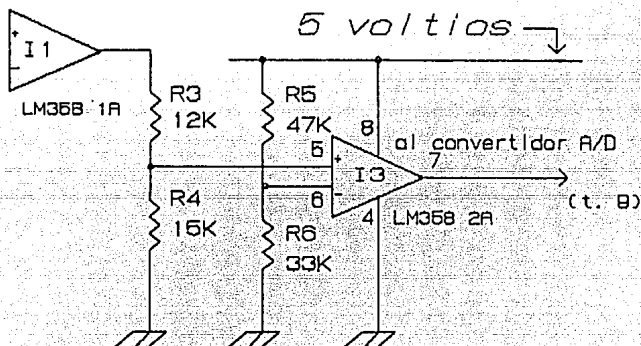


Figura 4.5 . Circuito indicador para el convertidor A/D sobre la condición de la fuente de alimentación.

Específicamente, y debido a los valores de resistencia considerados, la relación para el divisor de tensión es :

$$V_{salida} = r1 * V_{entrada} / (r1 + r2) \quad \dots 4.4$$

por lo tanto,  $V_{salida} = 0.55 V_{entrada} \quad \dots 4.5$

Como se explicó anteriormente, cuando el voltaje de alimentación sobrepasa un mínimo, la salida del amplificador operacional es "alta".

Dado que los valores de voltaje para la salida "alta" del amplificador operacional están comprendidos entre 11 y 7.3 voltios aproximadamente, aplicando 4.5 se encuentra que el divisor entrega para la condición "alta", valores de voltaje comprendidos entre 6.11 y 4.856 voltios aproximadamente.

Por otra parte, cuando la salida del amplificador es "baja", se puede considerar entonces que el voltaje de salida es cercano a 0 voltios, por lo que la salida del circuito divisor de tensión también es cercana a 0 voltios.

Para elegir los valores de las resistencias que se utilizaron en el divisor de tensión, se analizaron los siguientes hechos:

- 1> Se requería que una entrada "alta" al divisor se reflejara como una salida con valores de voltaje cercanos a 5 voltios.
- 2> Era necesario minimizar el consumo de corriente.
- 3> La salida del divisor se conectaría a un amplificador operacional, con alta resistencia de entrada.

Tomando en cuenta estas consideraciones se eligieron resistencias de 12 y 15 Kohms a 1/4 watt (la resistencia de menor valor (R3), es la que se conecta a la salida del amplificador operacional que se utiliza como verificador de la fuente de alimentación - I1, LM358-1A -).

La salida del divisor se conectó a un amplificador operacional (I3, LM358-2A) que esta en la parte del circuito donde la alimentación es a un voltaje regulado de 5 voltios. Aunque el circuito integrado empleado permite en las entradas de sus amplificadores operacionales un voltaje superior a su potencial de alimentación (que para este caso es de 5 voltios), se redujo el voltaje de entrada para evitar cualquier problema.

Se pudieron haber cambiado las resistencias empleadas en el divisor por otras de mayor valor resistivo. Sin embargo, debido al hecho de que su salida se conecta a un amplificador operacional que tiene una impedancia de entrada limitada (típicamente como mínimo de 100 Kohms), éstas fueron las que se consideraron adecuadas para la carga que representa el amplificador.

Como se mencionó anteriormente, la señal de salida del divisor de tensión es una señal que se aplica al elemento

central (el convertidor A/D) para indicar la condición de la batería. Fué necesario acondicionar esta señal mediante el paso previo por un amplificador operacional; ésto, debido a que ciertas terminales del circuito central trabajan con lógicas digital (5 ó 0 voltios), y el haberlo alimentado con una señal que varía en cierto rango, podría haber ocasionado problemas. Adicionalmente, otra justificación para incluir este circuito es que se aprovechó un amplificador operacional sobrante. En efecto, en la parte del circuito con tensión regulada a 5 voltios, era necesario conectar un amplificador operacional (I3, LM358-2) para armar la fuente de corriente constante (este sistema se explicará en otro inciso). Como cada circuito integrado de los que se utilizaron cuenta con dos amplificadores operacionales, la utilización del amplificador operacional que acondiciona la entrada del componente central a niveles lógicos no implicaba la adición de otro circuito integrado.

Como se explicó anteriormente, el circuito central (el convertidor analógico/digital) requiere de una señal de operación/no operación. Dependiendo del estado de la fuente de alimentación del circuito, se envía la señal adecuada al elemento central (específicamente, a la terminal 9). Esta señal debe ser digital. La señal de control proveniente del divisor de tensión explicado anteriormente, es analógica. Para convertirla a digital, se emplea el circuito que aparece en la figura 4.5.

El amplificador operacional que se emplea en este circuito esta contenido en otro CI LM358 (I3), circuito integrado igual al empleado en el circuito verificador. Este amplificador está alimentado por un voltaje regulado de 5 voltios, y opera en forma similar al utilizado en el verificador de la fuente de voltaje.

En la figura 4.5 se aprecia que la entrada inversora (terminal 6) esta conectada a un divisor de tensión. Considerando los valores de las resistencias del divisor, así como su alimentación a 5 voltios, se puede calcular (mediante 4.4), que el divisor entrega 2.06 voltios a la entrada inversora.

Conectado a la entrada no inversora (terminal 5), tenemos a la señal analógica proveniente del divisor de tensión del verificador de voltaje. Como se explicó anteriormente, ese divisor entrega una señal "alta" con un voltaje cercano a 5 voltios para el nivel "alto", y aproximadamente 0 voltios para el nivel "bajo". Como la señal "alta" se aplica a la entrada no inversora, y es superior a la respectiva señal de la entrada inversora, provoca que se sature el amplificador operacional, y que entregue una señal de salida cercana a 5 voltios para el nivel "alto", que es equivalente a decir que se tiene una salida de 1 lógico.



Por otra parte, cuando la señal proveniente del divisor conectado al verificador de voltaje es "baja" (cercana a 0 voltios), la entrada no inversora del amplificador operacional acondicionador de voltaje esta a un valor cercano a 0 voltios, que es por lo tanto inferior al valor de 2.06 voltios de la entrada inversora, lo que ocasiona una salida lógica de 0 voltios aproximadamente.

Por lo tanto, este circuito al ser conectado al verificador de tensión de la fuente, permite que a un nivel de la fuente de alimentación superior a los 7.3 voltios se suministre una señal de "1" lógico al componente central (señal de "sí operación"); para niveles inferiores a 7.3, suministra una señal de "0" lógico ("no operación").

#### 4.4.2 FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE.

La función de este sistema es la de suministrar una corriente constante al sensor que se coloca en el tanque estacionario, con lo que se obtiene una señal de voltaje que se aplica al componente central para que éste la procese y convierta en información visual que el usuario pueda entender.

En su forma mas general, una fuente de corriente constante consiste en un dispositivo que suministra corriente constante sin importar la carga a la cual se conecta. Se puede construir de varias formas, siendo de las más sencillas a partir de un simple transistor. Para la presente aplicación se eligió construirla a partir de un amplificador operacional y de un transistor. Una fuente de este tipo aunque es sencilla, suministra una corriente muy estable, además de presentar la facilidad de poder ajustar facilmente el valor de la corriente.

El diseño de este subsistema se realizó con extremo cuidado, pues de este circuito depende en gran medida la seguridad del instrumento. Por lo tanto, se diseñó teniendo en cuenta los principios de seguridad intrínseca y seguridad aumentada discutidos en el capítulo II; en el capítulo siguiente se mencionarán las medidas específicas de seguridad que se aplicaron a los diferentes circuitos componentes de este sistema.

En la explicación del diseño de la fuente de corriente constante se considera al sensor del tanque unicamente como una resistencia variable, perteneciente al subsistema. En el inciso 4.4.5.1.1 se dan algunas características de este transductor.

#### 4.4.2.1 Diseño de la fuente de corriente constante.

La figura 4.6 muestra el circuito formado por un amplificador operacional, un transistor PNP (BC558), resistencias y diodos; la función de este circuito es la de proporcionar una corriente constante en el colector del transistor, para posteriormente aplicarla al sensor que se coloca en el tanque estacionario.

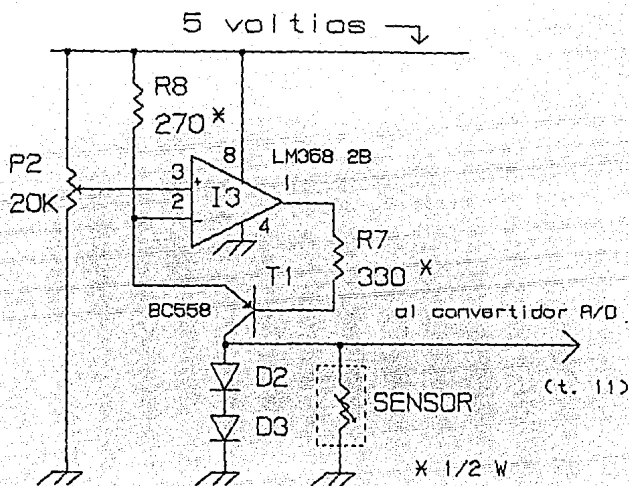


Figura 4.6. Sistema de fuente de corriente constante.

Como es lógico suponer, los componentes que integran a la fuente de corriente constante deben ir alimentados por una fuente de voltaje constante; de variar esta fuente, consecuentemente variará la corriente que se pretende hacer constante. Esta fue la razón de alimentar a este circuito mediante un regulador de voltaje LM340 (7805), componente que proporciona una alimentación regulada a 5 voltios.

Principio de funcionamiento :

Las terminales del potenciómetro (P2) se conectan a la alimentación regulada de 5 voltios; de esta forma, el cursor de este componente está en disponibilidad de suministrar

cualquier voltaje entre 0 y 5 voltios.

Se utilizó un potenciómetro con valor de resistencia total de 20 Kohms. Este valor se eligió para minimizar corrientes de drenado, y considerando que se trata de un valor resistivo pequeño en comparación con el correspondiente valor de la carga con la que se conecta.

Específicamente, el cursor de este potenciómetro se une a la entrada no inversora del amplificador operacional (LM358-2B, terminal 3). Por lo tanto, le suministra una referencia de voltaje (rango 0 a 5 voltios).

Debido a la alta impedancia que tienen las entradas de un amplificador operacional, se comprende que el potencial que se aplica en la terminal no inversora, aparece casi igual en la terminal inversora (pues la impedancia equivalente entre terminales de entrada es muy grande, y al circular una corriente mínima, prácticamente no hay caída de tensión). De esta forma, la referencia de potencial que suministra el cursor del potenciómetro se refleja prácticamente igual en la terminal inversora (terminal 2).

En esta terminal inversora se realizan a su vez dos conexiones: en la primera, se conecta una terminal de una resistencia (R8) (la otra terminal de esta resistencia se conecta a la alimentación regulada a +5 voltios); la otra conexión es al emisor de un transistor PNP (BC558), identificado como T1.

En cuanto a la resistencia (R8), se eligió el valor de 270 ohms a 1/2 watt. Considerando la posible variación de 0 a 5 voltios que se puede presentar en esta terminal (al variar el cursor del potenciómetro), mediante 4.2 (Ley de Ohm aplicada en esta resistencia de 270 ohms) se determina que el valor de corriente que se puede fijar en esta resistencia, esta comprendido entre 0 y 18.51 mA. Debido a la alta impedancia de las entradas de un amplificador operacional, esta corriente no puede ser drenada por esta entrada inversora. Es por esto que existe una conexión adicional al emisor de un transistor PNP, para que prácticamente toda esta corriente circule a través del emisor y colector.

El análisis en cuanto al transistor PNP (T1) es el siguiente: como se explicó, su emisor recibe la corriente procedente de la resistencia. Su base esta conectada, mediante una resistencia de 330 ohms (R7), a la salida del amplificador operacional (terminal 1). La inclusión de tal resistencia no es en general necesaria; sin embargo, aquí se incluyó, como se explicará posteriormente, con el fin de aumentar la seguridad de este subsistema.

Entonces, habiendo realizado las conexiones explicadas para base y emisor, se obtiene en el colector una corriente

constante que se puede fijar teóricamente entre 0 y 18.51 mA, corriente que corresponde a los valores especificados de los componentes.

Sin embargo, en la práctica tal rango de valores resulta menor; de hecho, se midió este rango y se observó que está comprendido entre unos 3.5 y 12.5 mA. La razón de lo anterior son las limitaciones prácticas de los componentes de este subsistema (sobre todo del amplificador operacional) y al hecho de que al circular una corriente por la carga conectada y colector del transistor, hay una caída adicional de voltaje; es decir, la tensión regulada de 5 voltios debe ser igual a la suma de las caídas registradas entre la resistencia de 270 ohms, emisor-colector del transistor, y carga del colector (la resistencia del sensor).

Anteriormente se determinó que la corriente máxima se obtendría cuando la diferencia de potencial en la resistencia fuese igual a 5 voltios; esta condición nunca es posible, pues al circular esta corriente máxima por el transistor y la carga, definitivamente provocaría caídas adicionales de tensión, de tal forma que la suma total de estas caídas de tensión superaría a la tensión de alimentación, por lo que una de las leyes de Kirchhoff no se cumpliría.

De cualquier forma, el rango resultante de corrientes es mas que satisfactorio; el sensor en el tanque estacionario constituye la carga que se conecta al colector del transistor. Este transductor presenta una resistencia de acuerdo al nivel de gas remanente; la resistencia máxima se presenta a un nivel de lleno total; se ha medido este valor y resulta igual a 115 ohms aproximadamente. Por razones que se explicarán en el inciso 4.4.3.5.2, es necesario que al registrarse el valor de resistencia máxima se presente una caída de tensión entre las terminales del sensor de aproximadamente 1 voltio; recurriendo a la fórmula 4.2 se puede calcular que esta caída se obtiene cuando la corriente que circula es de unos 8.69 mA. Debido a que siempre se tienen que realizar pequeños ajustes, el rango de corrientes que proporciona la fuente de corriente constante es idóneo.

En la figura 4.6 se observa que conectado en paralelo al sensor, existe un par de diodos rectificadores (D2 y D3). La razón de esta conexión adicional es para aumentar la seguridad del sistema. Esta conexión se explicará en el siguiente capítulo.

Por último, se menciona que el amplificador operacional que se utiliza en este subsistema está incluido en el circuito integrado LM358-2B (I3). El otro amplificador operacional que tiene este circuito (LM358-2A) es el que se emplea como comparador para suministrar niveles lógicos de voltaje al componente central; esta señal de voltaje es la que indica el estado de la fuente de alimentación (v. 4.1.1.2.2).

#### 4.4.3 EL CONVERTIDOR ANALÓGICO/DIGITAL (CONVERTIDOR A/D O ADC).

El convertidor analógico/digital es el componente central del instrumento discutido en la presente tesis.

A grandes rasgos se puede decir que un convertidor de este tipo es un dispositivo que convierte una entrada analógica de voltaje en una salida digital. El formato de esta salida puede ser de varios tipos: codificado en binario, en decimal, en hexadecimal, etc.

Así como este dispositivo realiza la conversión de un voltaje analógico en uno digital, también existe un dispositivo que realiza la operación contraria; esto es, convierte una entrada digitalizada en una salida de voltaje analógico. A tal dispositivo se le denomina convertidor digital/analógico (convertidor D/A o DAC).

Debido a que en la presente aplicación se utilizó un convertidor analógico/digital (convertidor A/D), en la exposición que se presenta en los siguientes incisos se hace énfasis en este tipo de convertidores.

En el mercado existe una gran variedad de estos dispositivos, cada uno con ciertas características, destinado a satisfacer necesidades específicas y diferentes. La selección del convertidor más adecuado para la presente aplicación requirió, por parte del autor, de un gran esfuerzo y de una búsqueda exhaustiva; fueron muchos los catálogos consultados para llegar a la selección del convertidor más adecuado.

Para realizar la conversión de un voltaje analógico en un código digital de salida, los convertidores ADC emplean diversos métodos; entre los más comunes se mencionan los siguientes: conversión de doble pendiente, conversión por red de escalera, método de conteo, aproximaciones sucesivas, etc. El método que emplea el convertidor que se utilizó se describirá brevemente en un inciso posterior.

Antes de profundizar en aspectos relacionados a la selección tanto del convertidor como de sus componentes periféricos, se expondrán, en forma muy general, algunos de los conceptos básicos relacionados a estos convertidores. La mayoría de los conceptos que se tratarán en esta sección se aplican tanto a convertidores A/D como a convertidores D/A.

#### 4.4.3.1 Conceptos y terminología aplicables a convertidores A/D y D/A.

##### 4.4.3.1.1 Resolución.

Para convertidores A/D, la resolución se puede interpretar como el incremento más pequeño en el voltaje de entrada que ocasionará un cambio entre un valor del código de salida y el siguiente valor de este código. Para determinar el valor teórico del incremento de voltaje, se divide el valor de un voltaje de referencia (se explicará a continuación) entre el número de salidas diferentes que puede proporcionar el convertidor.

El código de salida puede ser binario, decimal, decimal codificado en binario (BCD), etc.

Si un convertidor tiene cuatro líneas de salida, y cada una de éstas puede presentar un estado alto o un estado bajo, entonces el número de salidas diferentes será de  $2^4$ , por lo que se concluirá que el convertidor tiene una resolución de 4 bits. Se dice entonces que el convertidor puede resolver una parte en  $2^4$ .

Un convertidor de cuatro bits, con un voltaje de referencia igual a 1 voltio, necesitará de un incremento en voltaje de 62.5 mV para pasar de un valor de salida al siguiente.

Para un convertidor D/A, la resolución describe el incremento estándar más pequeño en el voltaje de salida que es capaz de proporcionar un convertidor de este tipo.

##### 4.4.3.1.2 Voltaje de referencia ( $V_{ref}$ ).

El voltaje de referencia (generalmente se conecta a una sola terminal del convertidor) por lo regular determina un valor de voltaje que, de ser aplicado en la entrada del convertidor A/D, producirá el valor máximo de salida (1).

Todos los convertidores A/D necesitan de esta señal de voltaje de referencia, la cual la pueden obtener en forma interna o externa; si es de esta última forma, implica que exterior al convertidor se tiene un dispositivo (una referencia de voltaje) que se conecta a éste y que le proporciona una señal de voltaje constante.

(1) En ciertos convertidores, se maneja internamente una señal de " $V_{ref}$ " igual al doble del valor de la referencia de voltaje aplicada externamente.

Cuando la señal se obtiene de una referencia externa (dicha señal no debe rebasar cierto rango permisible para el convertidor en cuestión), la aplicación del voltaje constante se verifica de alguna de estas dos formas:

1> Absoluta. Se aplica mediante una sola terminal ( $V_{ref}$ ), en donde el voltaje de referencia es la diferencia de potencial entre esta entrada y tierra.

2> Diferencial. El convertidor cuenta con dos terminales,  $Ref(+)$  y  $Ref(-)$ ; el voltaje de referencia es en este caso la diferencia de potencial entre ambas terminales.

El rango permisible de " $V_{ref}$ " varía dentro de ciertos límites. Una vez fijado " $V_{ref}$ ", es posible que al aplicar un voltaje de entrada superior al voltaje de referencia se pueda dañar al convertidor (si se sobrepasa cierto límite). Si la entrada no es muy superior a " $V_{ref}$ ", el dispositivo proporcionará, ya sea una señal de error (tal como "OVERFLOW" - error de desbordamiento -, que implica que se ha sobrepasado el límite de conteo del convertidor), o permanecerá con el valor de salida máxima (esto depende del tipo de convertidor).

#### 4.4.3.1.3 Exactitud.

Este término, aplicado a convertidores A/D, describe la diferencia entre el valor de la entrada presente de voltaje y el correspondiente valor teórico de entrada que produciría el código de la salida actual.

Esta especificación describe la suma de todos los errores presentes, incluyendo los de cuantificación (v. 4.4.3.1.6).

#### 4.4.3.1.4 Bit menos significativo (LSB).

En un sistema codificado en binario, este es el bit que lleva el menor valor o peso del conteo. En forma escrita, es el bit situado a la extrema derecha, justo antes del punto (colocado en la posición de unidades).

#### 4.4.3.1.5 Bit más significativo (MSB).

En un sistema codificado en binario, este es el bit que tiene el mayor valor o peso. Su valor corresponde a la mitad del valor de la salida máxima. En forma escrita, es el bit situado a la extrema izquierda.

#### 4.4.3.1.6 Error de cuantificación.

Es la desviación máxima con respecto a una línea recta que representa la función de transferencia de un ADC (convertidor analógico digital) perfecto.

Debido a su naturaleza, el convertidor ADC cuantifica la entrada analógica en un número finito de códigos de salida; por lo tanto, para que un ADC tuviera cero error de cuantificación, sería necesario que contara con una resolución infinita.

#### 4.4.3.1.7 Error de escala (error de escala completa o error de ganancia).

Para un convertidor ADC, es la desviación del voltaje de entrada actual al voltaje de entrada de diseño que produce el código de salida máximo. Los errores de escala pueden ser ocasionados por errores en la referencia de voltaje, valores de componentes, ganancia de amplificadores internos, etc.

Este tipo de errores pueden ser corregidos ajustando la ganancia del amplificador de salida o la referencia de voltaje.

#### 4.4.3.1.8 Error de cero.

Es el valor medio de voltaje de entrada requerido en un convertidor ADC para producir el cero (mínimo valor posible) de la escala de salida.

Este tipo de error generalmente es causado por el amplificador o comparador de voltaje de entrada, el cual tiene un pequeño voltaje inicial. Por lo general, puede reducirse hasta cero con el ajuste de un potenciómetro de compensación, externo al ADC. Este tipo de error puede ser expresado en % de escala completa o en fracciones de LSB (bit menos significativo).

#### 4.4.3.1.9 Error de histéresis.

En un convertidor ADC, causa que el valor del voltaje al que ocurre una transición (cambio) en el código de salida, sea dependiente de la dirección en que cambia el voltaje de entrada. Este incremento o decremento en voltaje se debe generalmente a la histéresis que existe en el comparador interno del ADC.



#### 4.4.3.1.10 No-linealidad.

La especificación de no-linealidad describe la desviación de la salida real a la curva de transferencia lineal teórica de un ADC.

El error de no-linealidad no incluye a los errores de cuantificación, zero, o errores de escala. Este tipo de errores es de importancia fundamental, ya que no puede ajustarse a cero. El error de no-linealidad puede expresarse en porcentaje de escala completa o en fracciones de LSB.

#### 4.4.3.1.11 Coeficiente de temperatura.

El coeficiente de temperatura de los componentes del ADC pueden producir o incrementar cualquiera de los errores de operación.

Debido a lo anterior, el error de zero en la escala puede variar debido al coeficiente de temperatura de amplificadores internos, y de los voltajes y corrientes de compensación a la entrada del comparador (todos los convertidores ADC cuentan con al menos un comparador de voltaje). En resumen, cada especificación, exceptuando resolución y error de cuantificación, puede ser afectada por cambios en la temperatura.

#### 4.4.3.1.12 Cambios a largo plazo.

Debidos principalmente al envejecimiento de las resistencias y semiconductores, pueden afectar todas aquellas características que se vean influenciadas por los cambios de temperatura. Las características comúnmente afectadas son la linealidad, escala y compensación. El cambio en la escala debido al envejecimiento de la referencia es el cambio más importante.

#### 4.4.3.1.13 Rechazo de la fuente de alimentación.

Se refiere a la habilidad que presenta un DAC (convertidor digital/análogo) o un ADC para mantener la escala, compensación, coeficiente de temperatura y linealidad, cuando se varía la fuente de voltaje. La referencia de voltaje debe, obviamente, permanecer constante. Los elementos más afectados en este caso son las fuentes de corriente (afectando la linealidad y la escala), amplificadores y comparadores (afectando a la compensación).

El rechazo a la fuente de alimentación se especifica usualmente en porcentaje de cambio de escala completa a 25 oC.

#### 4.4.3.1.14 Velocidad de conversión.

Es la velocidad a la cual un ADC o un DAC pueden realizar una conversión completa. Esta especificación se ve afectada por retrasos de propagación en circuitos contadores, interruptores, comparadores, tiempos de establecimiento de amplificadores, etc.

La velocidad de conversión se especifica como número de conversiones por segundo, o también se puede especificar como número de microsegundos necesarios para completar una conversión (frecuencia o periodo).

#### 4.4.3.1.15 Velocidad de reloj.

Es el valor máximo o mínimo de pulsos de reloj al cual puede ser operado un convertidor ADC.

Existe una relación bien definida entre la velocidad mínima de conversión y la velocidad del reloj, dependiendo de la exactitud y tipo de convertidor. Todos los factores que afectan a la velocidad de conversión del ADC limitan a la velocidad de reloj.

#### 4.4.3.1.16 Resistencia de entrada.

Describe la carga que se impone al elemento que proporciona la señal analógica de entrada que se pretende convertir. Generalmente este valor es alto (de centenas de kilohms).

#### 4.4.3.1.17 Capacidad de salida.

Describe la capacidad digital de salida del ADC. Generalmente se especifica como un nivel de corriente o salida de voltaje para una determinada carga.

#### 4.4.3.1.18 Código de salida.

Existen diversos códigos que se utilizan como salida de los convertidores A/D. La mayoría de estos códigos tienen forma binaria.

Ejemplos de estos códigos:

- Binario natural
- Binario compensado
- Binario con segundo complemento
- Signo mas magnitud
- Codificado a siete segmentos

#### 4.4.3.1.19 Control.

Todo convertidor ADC debe ser capaz de emitir y aceptar señales digitales para controlar y recibir información de los diferentes dispositivos a los que se conecta externamente sobre el estado de la conversión en curso.

Estas señales deben ser compatibles con el tipo de lógicas que se utiliza. Las señales de control más comunes se definen a continuación:

##### Empezar conversión (SC).

Es una señal digital que indica al ADC comenzar un ciclo singular de conversión.

##### Fin de conversión (EOC).

Es una señal digital que genera el ADC para informar al sistema externo que ha finalizado el proceso de conversión, y que el valor a la salida del ADC es el valor final.

##### Reloj (CLK).

La señal de reloj es requerida por el ADC para controlar conteos o registros de aproximaciones sucesivas. Esta señal controla la velocidad de conversión del ADC dentro de ciertos límites. Esta señal se puede aplicar externamente, aunque existen convertidores que la pueden generar internamente (generalmente para este fin se requieren de la adición de una red RC externa).

#### 4.4.3.2 Selección del convertidor A/D.

El autor de la presente tesis considera que uno de los aspectos más interesantes e importantes de este desarrollo consistió en la adecuada y minuciosa selección del convertidor

analógico/digital. En efecto, esta decisión resultaría clave y trascendente para el desarrollo e implementación de los diversos componentes y subsistemas con los que cuenta el instrumento medidor. Un error en la selección de este componente central implicaría muchos cambios en otros componentes, en valores, en subsistemas, etc.

En el mercado existe un gran número de convertidores analógico/digitales, cada uno de ellos con ciertas características específicas para adaptarse a ciertas necesidades; las diferencias principales se encuentran en características tales como el código de salida, resolución, voltaje(s) de alimentación, capacidad de corriente de salida, velocidad de conversión, sistema utilizado para efectuar la conversión, etc.

Las características ideales que buscaba el autor eran, entre otras, las siguientes:

- 1> Se buscaba un convertidor que tuviera un voltaje de alimentación menor a 9 V. Esto era con el fin de poderlo alimentar con una simple batería de este valor. Un convertidor compatible con lógica TTL (lógica transistor-transistor) sería adecuado para este fin (alimentación a 5 V).

En el mercado existe un gran número de convertidores que operan a voltajes superiores o cercanos a los 9 voltios (se deseaba tener un margen entre el voltaje de alimentación y el voltaje de entrada para poder utilizar un regulador de voltaje; esto sería particularmente necesario para el caso de la alimentación con batería); inclusive, existen aquellos que requieren de una fuente de alimentación simétrica, es decir, requieren de una fuente que suministre potenciales positivos y negativos con respecto a una tierra (tres terminales).

- 2> Era deseable que el convertidor tuviera un código de salida que fácilmente se pudiera adaptar para obtener una señal digital (codificada a siete segmentos), preferentemente de dos dígitos.

La gran mayoría de los convertidores tienen una salida codificada en binario o una variante de éste. Utilizar un convertidor de este tipo implicaba tener que desarrollar un decodificador, lo que traería por consecuencia un aumento en el número de componentes y por lo tanto, un aumento de costo.

3> El convertidor debía tener una resolución superior a cien pero cercana a este valor. Esto con el fin de poder proporcionar una lectura porcentual del nivel de gas remanente (desde 0 hasta 99 % de altura total).

Si el convertidor tiene la salida codificada en binario, o una variante de éste, lo anterior implica que la resolución generalmente será el resultado de una potencia del número dos. De acuerdo a esto, el valor que más se aproxima al número 100 es  $2^7 = 128$ .

4> Como características secundarias se buscaba que el convertidor fuera de fácil operación, de pocas terminales, de bajo precio, y que se pudiera conseguir fácilmente.

Se pueden encontrar convertidores con diferente número de terminales, desde los más sencillos, de ocho terminales, hasta los más complejos, con sesenta o más.

El autor realizó una búsqueda concienzuda del convertidor que más se adaptara a la necesidad de este proyecto. Se revisó un gran número de catálogos e información, investigando los convertidores que ofrecen compañías tales como MOTOROLA, INTERSIL, TEXAS INSTRUMENTS, NATIONAL SEMICONDUCTOR, TELEDYNE SEMICONDUCTOR. Con algo de desaliento, poco a poco se fueron eliminando un gran número de convertidores con sus respectivas opciones disponibles, pues cada uno de ellos presentaba alguna desventaja marcada; inclusive, en cierto punto de la búsqueda, se llegó a pensar en la posibilidad de construir el convertidor a partir de componentes discretos, empleando un método de conversión de los nombrados anteriormente. Específicamente, no se encontró ningún convertidor que tuviera todas las características que deseaba el autor de la presente tesis.

Por fortuna, finalmente se optó por construir el instrumento a partir de un convertidor de la compañía NATIONAL SEMICONDUCTOR. Aunque ciertamente este convertidor no cuenta con todas las características mencionadas anteriormente, se ideó la forma de adaptarlo para que cumpliera con la gran mayoría de los objetivos planteados.

Se trata del convertidor ADD3501 - Convertidor de 3 1/2 dígitos con salida multiplexada a 7 segmentos - . Este tipo de convertidores se conocen como DVM (medidores de voltaje digitales).

Este convertidor está contenido en un circuito integrado de 28 terminales construido con tecnología CMOS. Para realizar la

conversión de analógico a digital, se utiliza una técnica de modulación de pulsos.

Entre las principales características con las que el fabricante anuncia a este circuito, se citan las siguientes:

- Opera con una fuente sencilla de 5 V.
- Convierte desde 0 V hasta 1.999 V.
- Maneja 3 1/2 dígitos en forma multiplexada.
- Proporciona una lectura de salida desde 0 hasta 1999 (resuelve 1 parte en 2000).
- Opera 7 segmentos (LEDs) casi directamente (solamente requiere de resistencias y de un circuito que maneje la corriente (un "buffer")).
- No requiere de componentes externos de precisión.
- Tiene una velocidad adecuada de conversión ( 200 ms/conversión ).
- La velocidad de conversión se puede modificar fácilmente mediante un circuito RC externo.

Ahora bien, para la aplicación que se dió a este circuito, existen dos de estas características que no se pueden considerar precisamente como ventajas. Específicamente, son las características de manejar 3 1/2 dígitos y la lectura de salida desde 0 hasta 1999.

En efecto, el decir que un dispositivo de este tipo tiene una salida de 3 1/2 dígitos, significa que tiene tres dígitos completos y uno incompleto; esto es, puede registrar una salida compuesta por cuatro dígitos, pero de éstos, en los tres primeros (correspondientes a unidades, decenas y centenas) se puede presentar cualquier dígito comprendido entre el cero (0) y el nueve (9), con lo que se puede realizar cualquier conteo entre el número cero (0) y el número novecientos noventa y nueve (999). El cuarto dígito, correspondiente a la cifra de unidades de millar, solo puede ya sea exhibir el valor de uno (1), o no exhibir (correspondiente al valor de cero); es debido a ésto que se dice que tiene un medio (1/2) dígito.

Por lo tanto, este dispositivo puede expresar cualquier lectura comprendida entre el número cero (0) y el número mil novecientos noventa y nueve (1999). Específicamente, bajo ciertas circunstancias, este convertidor también puede expresar lecturas negativas hasta un mínimo de menos mil

novecientos noventa y nueve (-1999). Esto se logra mediante la aparición del símbolo con el que se distingue a los números negativos, esto es, mediante el signo menos (-). Sin embargo, para la presente aplicación, no se consideran los conteos negativos (nunca aparecen), pues carecerían de sentido.

Como se mencionó anteriormente, se deseaba una lectura (en el instrumento) que desplegara valores comprendidos entre el cero (0) y el noventa y nueve (99), lo que corresponde al valor porcentual de la altura del nivel del gas líquido dentro del tanque (0 = vacío, 99 = lleno) (1).

El haber utilizado al convertidor para que únicamente efectuara un conteo de cien números (del cero al noventa y nueve) habría significado un desperdicio de la capacidad del convertidor, utilizándose tan solo  $1/20$  (5%) de su resolución total (pues tiene capacidad para contar dos mil números).

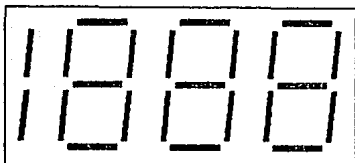


Figura 4.7. Exhibidor digital de 3 1/2 dígitos.

Como el voltaje de referencia especificado para este convertidor A/D es de 2 voltios, esto implica que un cambio en el voltaje de entrada de  $(2 \text{ voltios}/2000) = 1 \text{ mV}$  provoca un cambio unitario en el valor de salida. De esta forma, para obtener un valor de salida de cero (0), el voltaje de entrada debe ser igual a 0 voltios, y para obtener un valor de salida de 99, el voltaje de entrada debe ser igual a  $99 \text{ mV} = 0.099 \text{ voltios}$ .

Manejar valores de esta magnitud habría sido algo problemático, ya que para obtener dichos valores, esto habría implicado manejar valores muy bajos de corriente a través del conductor, lo que a su vez habría acarreado problemas de ruido, oscilación en la lectura de salida, etc.

(1) Como se encontrará posteriormente, se cambió la idea con respecto al valor mínimo (vacío); se recomienda al menos el valor de uno (1) para expresar tanque vacío.

Para atacar este problema, se pensó en la siguiente solución:

Utilizar el convertidor a aproximadamente la mitad de su capacidad total; esto es, obtener lecturas comprendidas entre el 000 y el 999. Para obtener estos valores, es necesario aplicar voltajes de entrada entre 0 y 999 mV (0 y 0.999 V, respectivamente). Esto implica valores diez veces mayores con respecto al rango anterior, lo que también implica una corriente mayor a través del sensor, y por lo tanto, menor susceptibilidad a posibles problemas de ruido.

El lector se preguntará lo sucedido con el hecho que se pretendía alcanzar con respecto a la lectura de salida comprendida entre 0 y 99 %. La respuesta es muy sencilla: se desecharon las lecturas correspondientes al primer dígito (unidades = dígito menos significativo) y al último dígito (el medio dígito correspondiente a unidades de millar = dígito más significativo).

Por lo tanto, el convertidor trabaja realizando conversiones entre el número cero y el número novecientos noventa y nueve (correspondiente a 0 mV y 999 mV de voltaje analógico de entrada, respectivamente), pero tan solo despliega los dígitos correspondientes a decenas y centenas. Como ejemplo, en la conversión interna de 990 mV y 999 mV (correspondientes a conteos de 990 y 999 respectivamente) se tiene la misma representación externa, dada por el número 99.

Esto trae las siguientes ventajas:

- se consigue un mejor aprovechamiento de la resolución total del sistema - 50% comparado con el 5% de no haber aplicado este método - .
- se aplica una corriente mayor y se reducen problemas de ruido.
- se reducen posibles oscilaciones en la lectura de salida, ya que de haber pequeñas oscilaciones ocasionadas por diversos factores, generalmente no trascenderán del dígito menos significativo.

Aunque el convertidor seleccionado no cumple con todos los objetivos planteados inicialmente, el autor quedó plenamente satisfecho con este dispositivo así como con las adaptaciones de que fué objeto para convertirlo en el dispositivo casi ideal para esta aplicación.



#### 4.4.3.3 El convertidor ADD3501. Teoría de operación.

El diagrama esquemático de la realimentación analógica del convertidor empleado se muestra en la figura 4.8. La salida de SW1 está ya sea a  $V_{ref}$  o a 0 voltios, dependiendo del estado del flip-flop D. Si Q está en el estado alto,  $V_{out} = V_{ref}$ , y si Q está en el estado bajo,  $V_{out} = 0$  V. Este voltaje entonces se aplica al filtro paso-bajas compuesto por  $R_1$  y  $C_1$ . La salida de este filtro,  $V_{fb}$  se conecta a la salida negativa del comparador, donde se compara con el voltaje de entrada analógico,  $V_{in}$ . La salida del comparador se conecta a la entrada D del flip-flop D. La información entonces se transfiere de la entrada D a las salidas Q y Q-negada en la transición positiva del reloj. Esta retroalimentación forma un oscilador con un ciclo de trabajo relacionado con precisión a la entrada analógica de voltaje,  $V_{in}$ .

Un pequeño ejemplo demostrará esta relación. Asumase que el voltaje de entrada es igual a 0.5 V. Si la salida Q del flip-flop D es "alta", entonces  $V_{out}$  resulta igual a  $V_{ref}$  (2.0 V) y  $V_{fb}$  se cargará a 2.0 V. con una constante de tiempo igual a  $R_1 * C_1$ . Después de algún tiempo,  $V_{fb}$  excederá 0.5 V. y la salida del comparador conmutará a 0 V. Entonces,  $V_{fb}$  empezará a descargarse hacia 0 V. con una constante de tiempo  $R_1 * C_1$ . Cuando  $V_{fb}$  es menor a 0.5 V., la salida del comparador cambiará al estado alto. En la transición ascendente del siguiente pulso de reloj, la salida Q del flip-flop D cambiará a "alta" y el ciclo se repetirá. En la salida SW1 existe una señal de pulsos cuadrados con amplitud positiva  $V_{ref}$  y amplitud negativa 0 V.

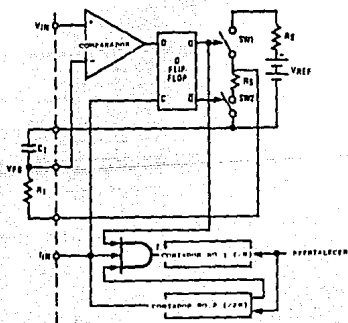


Figura 4.8. Diagrama esquemático del lazo analógico para el convertidor A/D modulado por pulsos.

El valor DC de este tren de pulsos resulta ser :

$$V_{out} = V_{ref} \left( \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \right) = V_{ref}(\text{ciclo de trabajo}) \quad \dots 4.6$$

El filtro paso-bajas permitirá pasar el valor DC; por lo tanto:

$$V_{fb} = V_{ref}(\text{ciclo de trabajo}) \quad \dots 4.7$$

Como el sistema de lazo cerrado siempre forzará a  $V_{fb}$  a igualar a  $V_{in}$ , entonces se puede decir que :

$$V_{in} = V_{fb} = V_{ref}(\text{ciclo de trabajo}) \quad \dots 4.8$$

ó también :

$$\frac{V_{in}}{V_{ref}} = (\text{ciclo de trabajo}) \quad \dots 4.9$$

La frecuencia resultante "f" es igual a :

$$f = (\text{ciclo de trabajo}) * (\text{reloj}) \quad \dots 4.10$$

La frecuencia "f" es acumulada por el contador no. 1 por un tiempo determinado por el contador no. 2. El conteo contenido en el contador no. 1 es entonces :

$$(\text{conteo}) = \frac{f}{(\text{reloj})/N} = \frac{(\text{ciclo de trabajo}) * (\text{reloj})}{(\text{reloj})/N} \quad \dots 4.11a$$

$$= \frac{V_{in}}{V_{ref}} * N \quad \dots 4.11b$$

Para el ADD3501, N=2000

#### 4.4.3.4 Terminales y especificaciones del convertidor ADD3501.

El convertidor utilizado es un dispositivo que cuenta con 28 terminales. En la figura 4.9 se ilustra la localización y el nombre de cada una de estas terminales. A continuación se menciona la aplicación de las terminales del convertidor ADD3501.

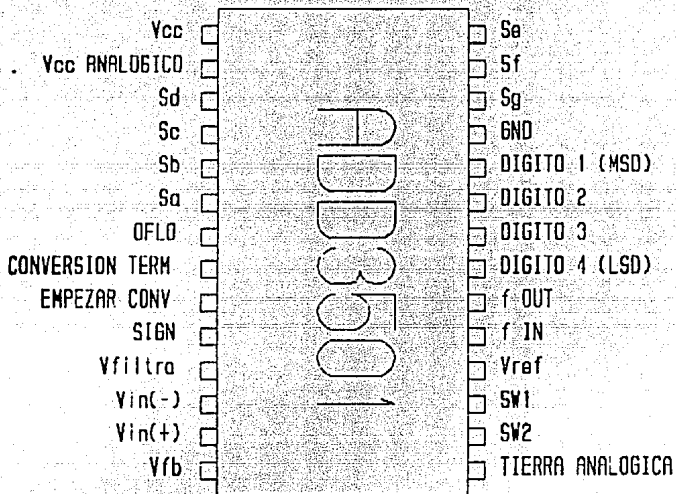


Figura 4.9. El convertidor ADD3501.

#### Terminales que conforman al convertidor ADD3501:

Terminal 1 > Vcc. En ésta se conecta el voltaje de alimentación positiva. El rango de operación comprende desde 4.5 V hasta 6.0 V. El valor máximo absoluto no debe sobrepasar los 6.5 V.

Terminal 2 > Vcc Analógico. Esta terminal generalmente se conecta a tierra mediante un capacitor. Se llega a utilizar para disminuir ruido si es que éste se presenta en la alimentación.

Terminales 3 a 6 y 26 a 28, Sa..Sg. Estas siete terminales son las que alimentan a los segmentos individuales (LEDs) que conforman al indicador visual.

Terminal 7> OFLO "Overflow". En esta terminal aparece una señal de uno lógico cuando se excede la capacidad del convertidor, indicando un error de desbordamiento (v. 4.4.3.1.2); ésto es, la señal de entrada está fuera del rango permisible de voltaje de entrada del convertidor. De no excederse, aparece una señal de cero lógico y el convertidor presenta un resultado.

Terminal 8> Conversión terminada (EOC). En esta terminal aparece una señal de uno lógico cada vez que se concluye una conversión. De esta forma, el convertidor está en posibilidad de informar a cualquier elemento externo al sistema que ha concluido la conversión (v. 4.4.3.1.19). De estar en proceso, la salida es un cero lógico.

Terminal 9> Empezar conversión (SC). El convertidor aguarda la aparición de una señal de uno lógico en esta terminal para empezar la conversión (v. 4.4.3.1.19). Se trata evidentemente de una señal de control.

Terminal 11> Vfiltro. Dependiendo de la aplicación, se puede utilizar como terminal de entrada del voltaje analógico.

Terminales 12 y 13, Vin(-) y Vin(+). Estas terminales se utilizan como entradas del voltaje analógico en caso de que la señal de entrada pueda cambiar de polaridad; de ser éste el caso, el voltaje de alimentación debe estar eléctricamente aislado del voltaje analógico.

Terminal 14> Vfb. Esta terminal se utiliza ya sea para ajustar o corregir el cero de la escala (v. 4.4.3.1.8).

Terminal 15> Tierra analógica. A esta terminal se conecta la tierra de la señal analógica; generalmente está conectada a la tierra de la alimentación.

Terminales 16 y 17. SW1 y SW2. Proporcionan señales cuadradas de amplitud igual a Vref (v. 4.4.3.3).

Terminal 18> Vref. Esta terminal se conecta a un voltaje de referencia a partir del cual el convertidor realiza una comparación para efectuar la conversión (v. 4.4.3.1.2).

Terminal 19> f in. Para controlar la frecuencia de conversión se debe conectar a esta terminal, ya sea una señal de reloj externa (con lo que se puede variar la frecuencia), o una red RC (con lo que se fija la frecuencia de conversión).

Terminal 20> f out. En esta terminal aparecerá una onda cuadrada si es que se utiliza una red RC en la terminal

discutida anteriormente ( 19> ).

Terminales 21 a 24, DIGITO 4, DIGITO 1. Como el convertidor utiliza un método de multiplexado para desplegar los dígitos, mediante estas terminales se controla el dígito que se enciende en la pantalla.

Terminal 25> GND. A esta terminal se conecta la tierra de la alimentación.

Algunas de las especificaciones más importantes que menciona el manual del fabricante son las siguientes:

Voltaje en cualquier terminal	-0.3V a Vcc +0.3V
Rango de temperatura de operación	-40 oC a +85 oC
Rango de operación Vcc	4.5V a 6.0V
Rango de temperatura de almacenamiento	-65 oC a 150 oC
Voltaje de entrada para "1" lógico	Min. (Vcc-1.5 V)
Voltaje de entrada para "0" lógico	Máx. 1.5 V
Consumo mínimo de corriente	0.5 mA
Frecuencia del oscilador	0.6/RC
Frecuencia de reloj (fin)	100 a 640 KHz
Velocidad de conversión	fin/64512 conv./s
No-Linearidad (considerando Vin=0-2V escala comp.)	Max. +0.05 (% escala comp.)
Error de cuantificación	-1 conteo min. +0 conteos max.
Error de cero, Vin=0 V	-0.5 mV min. +3.0 mV max.
Corriente analógica de entrada	5 nA max.

Las características mencionadas anteriormente serán de utilidad para describir posteriormente especificaciones propias del sistema.

#### 4.4.3.5 Conexiones del convertidor ADD3501.

La figura 4.10 muestra un diagrama de las conexiones aplicadas al convertidor ADD3501; muchos de los valores de los diferentes elementos que se interconectaron a este circuito fueron los recomendados por el fabricante.

Se trató de conseguir, a través del fabricante, material donde se especificara la forma de calcular los valores de estos componentes; sin embargo, ésto no fué posible. También se presentó el problema de que ciertos componentes recomendados por el fabricante no se podían conseguir, por lo que había que obtener sustitutos. Estas dos dificultades se superaron empleando largas horas de análisis en el laboratorio, probando diferentes combinaciones de componentes hasta que se obtenían las que resultaban más adecuadas.

A continuación se presenta una breve explicación de la escogencia de ciertos componentes empleados en este circuito principal :

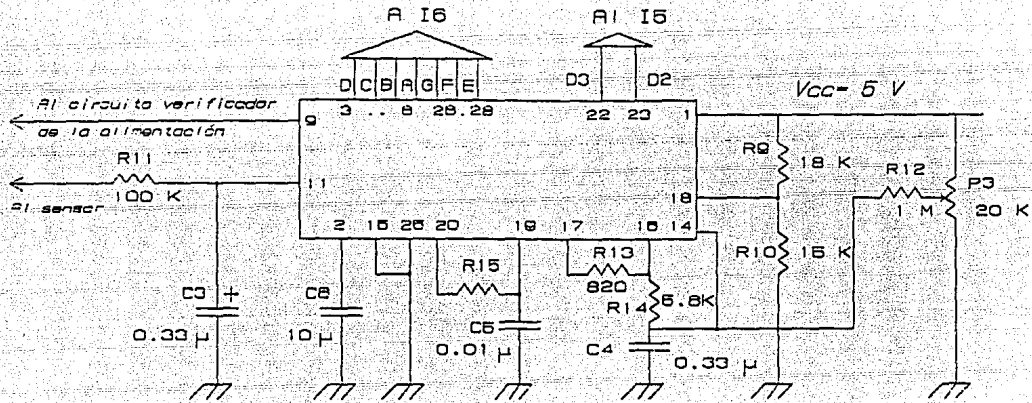
##### 4.4.3.5.1 Referencia de voltaje.

En el manual del fabricante se especifica que se debe conectar a la terminal <18 una referencia de voltaje constante de unos 2 V. De esta manera, y debido a que la resolución del convertidor es de 2000, a cada incremento de 1 mV en el voltaje de entrada corresponde un incremento unitario en la salida digital.

La referencia de voltaje recomendada no se pudo conseguir, pues era una referencia de precisión; para resolver este problema, el primer enfoque fué el de substituir dicha referencia por un arreglo de diodo zener, potenciómetro y resistencia. Aunque la primera solución funcionó, se notó que un simple divisor de tensión a base de dos resistencias proporcionaba prácticamente los mismos resultados. Para minimizar los gastos de corriente, se eligieron las resistencias R9 y R10 con valores de 18 y 15 Kohms respectivamente. Aplicando la fórmula 4.4, y considerando  $V_{entrada} = 5V$ , se determina que el voltaje de referencia resulta ser igual a 2.27 V aproximadamente. Este valor puede presentar variaciones, debido principalmente a las siguientes razones: 1> Tolerancias en las resistencias. 2> Voltaje de entrada no constante.

De estas dos razones, la más crítica resulta ser (2). En efecto, el divisor de voltaje se conecta a la alimentación constante de 5 V proporcionada por el regulador de voltaje LM340 (ver 4.4.6.1.2). Aunque este regulador es de los mejores en el mercado, un rápido vistazo en el osciloscopio muestra que de hecho existe una variación en el voltaje de su salida

Figura 4.10. Elementos conectados al convertidor ADD3501.



(de unos cuantos milivoltios), debida en gran medida a las diferencias de corriente que demanda el circuito. Estas diferencias de corriente se deben principalmente a los cambios de los "LEDs" en el desplegador digital.

Debido a que el conteo de salida es función directa del voltaje de referencia, se entiende que cualquier variación en este voltaje provocará un conteo distinto, lo que traerá por consecuencia que un número diferente de diodos emisores de luz enciendan, lo que provocará a su vez un cambio en la corriente demandada, estableciéndose una oscilación. Esto podría acarrear problemas de oscilación (de aquí que el fabricante recomienda una referencia de voltaje de precisión). Este posible problema se conjuró mediante la combinación de dos variantes: eliminando el dígito menos significativo (v. 4.4.3.2), y reduciendo la velocidad de conversión.

Específicamente, la expresión que determina la relación del conteo de salida como función del voltaje de referencia, resolución y voltaje de entrada, es :

$$\text{Conteo salida} = \frac{\text{Resolución}}{V_{\text{ref}}} * \text{Voltaje entrada} \quad \dots \quad 4.12$$

La no utilización de una referencia de precisión se justifica adicionalmente recordando que el sistema desarrollado no se puede considerar como un instrumento de precisión, debido sobre todo a la no linealidad inherente del arreglo del flotador dentro del tanque (v. 3.1.1.1) y del sensor que se coloca sobre este mismo tanque. Por lo tanto, la solución empleada es satisfactoria y eficiente en costo.

#### 4.4.3.5.2 Circuito sensor de voltaje.

El circuito sensor de voltaje está formado por la resistencia R11 (100 Kohms) y el capacitor C3 (0.33 microfaradios), elementos que se conectan a la terminal <11.

Existen al menos dos métodos para que el circuito cense el voltaje de entrada. Dependiendo del método, se pueden utilizar diferentes terminales de entrada. En este caso, y debido a que el voltaje de entrada no cambia de polaridad, se recomienda utilizar la terminal anteriormente mencionada, y no las correspondientes a Vin(+) y Vin(-).

Los valores de los componentes que se emplearon están de acuerdo con los recomendados por el fabricante. La resistencia



en serie aumenta la resistencia de entrada; el capacitor sirve para eliminar las pequeñas variaciones que pudiera presentar la señal de entrada. Dicho capacitor debe ser de tantalio (estos capacitores presentan corriente de drenado mínima); de lo contrario, la corriente de drenado en el capacitor provocaría una caída de potencial en la resistencia, lo que introduciría un error. Con estos dos componentes prácticamente se cumple el objetivo de no modificar aquello que se pretende medir (pues con estos componentes se reduce en gran medida, como se acaba de mencionar, la circulación de corriente por este circuito).

Como la referencia de voltaje del convertidor suministra aproximadamente 2.27 voltios, un valor de 1.135 V (aproximadamente) provocará que el convertidor despliegue el valor de mil (1000), pues este valor de voltaje corresponde a la mitad del voltaje de referencia, y el valor desplegado también corresponde a la mitad de la capacidad total del convertidor.

Por lo tanto, para que el convertidor despliegue una lectura final de noventa y nueve - 99 - (considerando que solo se le conectan dos dígitos), es preciso que el sensor proporcione un valor de voltaje ligeramente inferior a 1.135 V. Esto es importante, pues como se menciona en 4.4.5.1.1, cuando el sensor marca lleno total, debe aparecer el voltaje antes mencionado.

#### 4.4.3.5.3 Circuito para el ajuste de cero.

Este circuito tiene por objeto corregir los posibles errores de cero (v. 4.4.3.1.8). En la presente aplicación, se seleccionaron los componentes de tal forma que fuera posible ajustar el mínimo valor posible que el instrumento despliega por resultado. En un principio, el autor tenía como propósito que el valor mínimo que el instrumento reporta (caso de tanque vacío) fuera de "0"; posteriormente, el autor tenía la intención de que el valor mínimo fuera de "1". Ambos valores se pueden conseguir fácilmente mediante un pequeño ajuste a un potenciómetro (P3). Sin embargo, la Norma Oficial Mexicana NOM-X-6-1987, en su inciso 5.1.6, indica que el inicio de la graduación para un indicador mecánico situado en la parte superior del tanque estacionario debe ser del 5% de la capacidad total. Con la forma como se construyó este circuito, el usuario tiene la opción de elegir cualquier valor prefijado entre 0 y 7 % aproximadamente como valor mínimo.

El circuito consta del potenciómetro P3, las resistencias R12, R13 y R14, así como del capacitor de tantalio C4. En este arreglo los valores de P3, R12 y R14 difieren substatancialmente de aquellos propuestos por el fabricante; la elección de estos valores se obtuvo realizando pruebas en el laboratorio, hasta que se consiguió que el convertidor diera

los valores mínimos deseados. El capacitor debe ser de tantalio para evitar en lo más posible cualquier corriente de drenado. Las terminales del convertidor que intervienen en este circuito son la 14>, 16> y 17>.

En términos generales, lo que hace este circuito es proporcionar un voltaje a la terminal inversora del comparador de voltaje de entrada del convertidor (ver fig. 4.8), a través de la terminal 14>. Cuando en esta terminal aparece un voltaje  $V_0$ , en la terminal no inversora debe igualarse y luego superarse para que el comparador comience a desplegar resultados diferentes a cero.

#### 4.4.3.5.4 Circuito fijador de la frecuencia de conversión.

La velocidad de conversión se puede controlar mediante la aplicación de una señal oscilatoria externa, o mediante un simple arreglo RC (v. 4.4.3.4). Para esta aplicación se eligió la opción del arreglo RC.

Los elementos que forman este arreglo son la resistencia R15 y el capacitor C5, que se conectan a las terminales 19> y 20>.

Los valores propuestos por el fabricante daban por resultado una frecuencia elevada de conversión, lo que podía ocasionar problemas potenciales de oscilación. Por lo tanto, el autor eligió unos valores con los que se obtuvo una velocidad de conversión de 2.13 conv./seg. aproximadamente.

La elección de estos valores se llevó a cabo mediante la aplicación de la siguiente fórmula empírica encontrada por el autor:

$$V_{\text{conversión}} = 1.8E-4/RC \text{ (conv./seg.)} \quad \dots \quad 4.12$$

Los valores elegidos fueron R15= 8.2 Kohms y C5= 0.01 microF.

#### 4.4.3.5.5 Circuito para el inicio de conversión (SC).

Considerado como circuito, este arreglo tan solo consta de la unión de la terminal <9 del convertidor con la terminal <5 del amplificador operacional que se encuentra en I3.

En efecto, y de acuerdo al inciso 4.4.1.1.2.2, en esta terminal se presentará una señal de "1" lógico si el voltaje de alimentación es superior a un mínimo requerido, y una señal de "0" lógico si este voltaje de alimentación resulta inferior al voltaje requerido. En el convertidor, la terminal <9 se denomina "terminal de inicio de conversión". Siempre que

aparece una señal de "1" lógico en esta terminal, el convertidor despliega el resultado de una conversión realizada recientemente. De lo contrario, si el voltaje de alimentación es inferior al mínimo, el convertidor no despliega el resultado de una conversión (que resultaría errónea, pues el voltaje de suministro al convertidor ya no sería constante e igual a 5V, lo que repercute en el cambio de diferentes parámetros), sino que despliega ya sea "OF" o "00" (1). La señal "OF" es parte de las señales de error "+OFL", o de "-OFL", mismas que aparecerían completas si la pantalla del instrumento contara con cuatro dígitos. Esta señal indica un error de desbordamiento (v. 4.4.3.1.2).

#### 4.4.3.5.6 Terminales conectadas a la alimentación.

La terminal que se conecta a la alimentación positiva (Vcc-5V) es la <9. Las tierras analógica y del circuito son las terminales <15 y <25 respectivamente. La alimentación analógica (terminal <2) se conecta a tierra mediante el capacitor electrolítico C6. Las conexiones de las terminales analógicas se realizaron de esta forma de acuerdo a lo recomendado por el fabricante.

#### 4.4.3.5.7 Terminales para el despliegue visual.

Consta en un total de 9 terminales. De éstas, siete son alimentaciones a los segmentos (3 a 6 y 26 a 28), mientras que las dos restantes son las que habilitan a cada uno de los dos dígitos (22 y 23).

El convertidor tiene un total de cuatro terminales para habilitar a los cuatro dígitos (3 1/2) que soporta, pero debido a las razones dadas en 4.4.3.2, sólo se utilizan dos (correspondientes a los dígitos 2 y 3).

Una explicación detallada de la operación del circuito desplegador se hace en 4.4.4.1.

#### 4.4.3.5.8 Terminales no empleadas.

De las 28 terminales con las que cuenta el convertidor ADD3501, solo se han mencionado 21 terminales. Por lo tanto, siete terminales han quedado sin conexión externa. Las razones de no conectar estas terminales son las siguientes:

(1) Esta es la razón por la que el valor mínimo remanente de gas se debe fijar para que aparezca como un valor superior a "00" (en el instrumento se recomienda fijarlo entre 01 y 07); de lo contrario, este valor se podría confundir con la señal de error.

Terminales 7> y 8>. Son terminales de control para los sistemas externos. La terminal 7> informa la existencia de un error de desbordamiento (v. 4.4.3.1.2 y 4.4.3.4) mediante un "1" lógico, mientras que la terminal 8> informa con un "1" lógico que ha finalizado la conversión (v. 4.4.3.1.19 y 4.4.3.4). Estas señales carecen de utilidad en la presente aplicación.

Terminales 12> y 13>. En estas terminales se conecta la señal de voltaje externo a convertir. Estas terminales solo se utilizan cuando el voltaje a medir puede cambiar de polaridad, y la fuente que alimenta al circuito de donde proviene el voltaje externo está electricamente aislada de la correspondiente alimentación del instrumento. En esta aplicación se conecta el voltaje a medir mediante una forma alterna, utilizando la terminal 11.

Terminales 10>, 21> y 24>. Estas terminales son para el despliegue de información. La primera es la señal que alimenta al segmento con el que se identifica el signo. Debido a que en esta aplicación se convierten voltajes que no cambian de polaridad, esta terminal no se utiliza. Las terminales restantes son para habilitar a los dígitos 1 (MSD) y 4 (LSD). Por las razones dadas en 4.4.3.2, estos dígitos no se utilizan.

Todas las terminales, con excepción de 12> y 13>, se pudieron haber conectado a Vcc o a tierra mediante una resistencia de valor elevado, para no dejarlas al aire; sin embargo, esto no se hizo, debido a que estrictamente no es necesario, ya que se trata de salidas, y además esto aumentaría el costo.

En el caso de las terminales 12> y 13>, éstas son entradas, y no deben conectarse a Vcc o a tierra; se pueden conectar entre sí mediante un capacitor, o dejarlas al aire. Para circuitos como éste, donde el voltaje analógico se introduce por V<sub>filtro</sub> (terminal 11), simplemente se pueden dejar al aire (así lo recomienda el fabricante).

#### 4.4.4 CIRCUITO PARA EL DESPLIEGUE VISUAL.

El circuito para el despliegue visual es la parte del instrumento mediante la cual el usuario puede conocer el resultado que le proporciona el medidor.

Para la presentación de resultados, se eligió un desplegador digital ("display") a base de diodos emisores de luz (LED's); en un principio se consideró la opción de incorporar una pantalla de cristal líquido; sin embargo, esta opción se

desechó rápidamente, pues adaptar un sistema para el convertidor ADD3501 que soportara a este tipo de desplegador implicaba una complicación y un aumento excesivo de costo. Mas fácil resultaría diseñar otro instrumento con un convertidor diseñado específicamente para desplegar sus resultados en este tipo de pantallas. No se encontró ningún convertidor de este tipo que pudiera ser alimentado con una fuente sencilla de +5 voltios.

Este sistema consta de tan solo tres componentes: un desplegador visual, un arreglo resistivo, y un circuito de compuertas lógicas inversoras.

Para el diseño de este subsistema se prefirió la incorporación de circuitos integrados en lugar de componentes discretos. En efecto, el integrado I6 consiste de un total de siete resistencias individuales. Por su parte, el integrado I5 consiste en una serie de compuertas lógicas inversoras; este circuito integrado, al igual que I6, pudo haber sido substituido por componentes discretos (resistencias, diodos y transistores) (1).

La razón de preferir circuitos integrados en lugar de sus equivalentes discretos no fué necesariamente costo de componentes; de hecho, resulta mas económico comprar siete resistencias que comprar el circuito I6 (el circuito I5 resulta mas económico que su equivalente de componentes discretos). Los costos de ensamble se reducen al utilizar circuitos integrados (menos componentes, menos soldadura, menos complicaciones, mayor rapidez, etc.), además de que se consideran mas confiables.

#### 4.4.4.1 Diseño del circuito para el despliegue visual.

El componente sobresaliente de este subsistema es la pantalla digital. Se trata del desplegador de segmentos MAN6440; consta de dos dígitos, con diodos emisores de luz que producen una luz verde. El fabricante lo anuncia como una pantalla de alta eficiencia color verde, de rápida conmutación, ideal para aplicaciones de multiplexado, de bajo consumo de corriente.

El autor escogió este tipo de pantalla debido a diferentes razones, entre las que destacan el color, brillantez y tamaño de los dígitos, su rapidez de conmutación así como su bajo consumo de corriente que lo hace ideal para la presente aplicación al utilizar baterías. Otra de sus características importantes es que se trata de una pantalla de cátodo común, lo cual significa que todos los segmentos tienen una terminal

(1) El diagrama de conexiones de estos circuitos, así como sus equivalentes analógicos, aparecen en el apéndice B.

común, que se conecta a una alimentación negativa; el convertidor ADD3501 requiere de una pantalla con esta característica.

En la figura 4.11 se muestra el diagrama de este circuito.

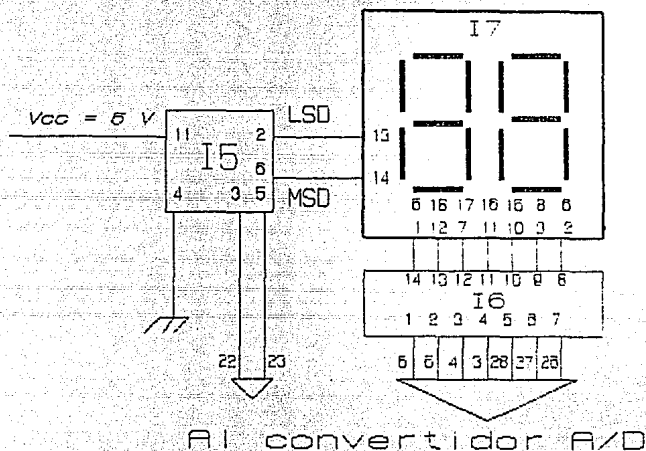


Figura 4.11. Circuito para el despliegue visual de resultados.

Estas pantallas constan de un total de 18 terminales cada una; de éstas, cada dígito utiliza siete terminales para sus segmentos, una para el punto decimal (que no se utiliza en la presente aplicación), y una es la terminal de cátodo común (recuérdese que son dos dígitos por pantalla).

El convertidor ADD3501 tiene siete terminales para habilitar a los siete segmentos con los que se forma un dígito. Para formar un número, el convertidor envía señales lógicas de "1" (cerca de 5 V) a los segmentos de la pantalla con los que se forma un dígito.

Como puede desplegarse un total de cuatro dígitos diferentes, y solo tiene suficientes terminales para desplegar un dígito, utiliza un método de multiplexado, enviando señales mediante la terminal de cátodo común de cada uno de los dígitos de la pantalla para indicar cual dígito es el que debe iluminarse (en la pantalla, los segmentos que ocupan la misma posición en cada dígito se conectan en paralelo).

Las terminales del convertidor que habilitan a cada uno de los siete segmentos que forman un dígito, así como las terminales correspondientes de los dígitos de la pantalla, aparecen resumidas en la tabla 4.1.

ADD3505		MAN6440	
Terminal	Segmento	Dígito 1	Dígito 2
6	a	16	11
5	b	15	10
4	c	3	8
3	d	2	6
28	e	1	5
27	f	18	12
26	g	17	7

Tabla 4.1. Terminales del convertidor ADD3501 y sus correspondientes dígitos que habilitan.

Por su parte, la denominación de los segmentos que forman un dígito aparecen en la figura 4.12.

La conexión de las terminales del convertidor a las terminales de la pantalla (con excepción de las correspondientes a los cátodos comunes) se realiza mediante resistencias que funcionan como limitadoras de corriente. Las resistencias se encuentran en el circuito I6, que se conoce como el paquete resistivo CI 699, dispositivo de 14 terminales y 7 resistencias. El valor de las resistencias es de 47 ohms cada una.

Dos razones apoyaron la elección del anterior valor resistivo: se consiguió una luminosidad en los dígitos que agradó al autor, además de que con este valor se limitó el valor promedio de la corriente en cada dígito a unos 5 mA, que está muy por debajo del valor máximo recomendado por el fabricante de las pantallas. Además, es favorable un valor bajo de

corriente en los dígitos, considerando la posible alimentación del circuito en base a baterías.

Un paquete resistivo como éste puede resultar algo difícil de conseguir; de presentarse esta situación, se puede substituir a este componente por siete resistencias del mismo valor, a  $1/4$  watt. Esta modificación no alterará de ninguna forma al funcionamiento del subsistema.

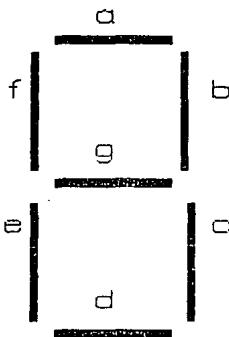


Figura 4.12. Denominación de los segmentos que forman un dígito.

El tercer componente que forma parte de este circuito es el CI 75492, el cual contiene seis compuertas inversoras, de las cuales se utilizan dos en la presente aplicación.

Este circuito es una etapa excitadora para segmentos y dígitos, de circuitos MOS a LED, y es el circuito que recomienda el fabricante del convertidor para utilizarse con el ADD3501.

Cuando el convertidor envía las señales de 5 V a los segmentos que forman un dígito, también envía una señal de "1" lógico al cátodo correspondiente del dígito seleccionado. Esta señal lógica aparece como 5 V. Debido a que para cerrar el circuito de los segmentos a encender se requiere un voltaje de 0 V o cercano a tierra, en el cátodo común de los segmentos del dígito seleccionado, es necesaria la existencia de un circuito



inversor. El CI 75492 es el componente que realiza esta función: es excitado por una señal de 5 V, y responde con una salida prácticamente a tierra. Además, maneja toda la corriente que circula por los segmentos de la pantalla (tiene capacidad para manejar hasta 250 mA).

#### 4.4.5 CIRCUITO DEL TRANSDUCTOR.

Esta parte del instrumento está formada básicamente por dos componentes: el sensor, que es el componente que presenta una resistencia proporcional al nivel del gas L.P. remanente en el tanque, y el alambre conductor, que es el elemento de unión entre el sensor y el convertidor.

##### 4.4.5.1 Diseño del circuito del sensor.

El diseño de esta parte del instrumento fué mínimo, y se limitó a la escogencia del alambre que conduce la señal al convertidor. Sin embargo, los parámetros de operación del sensor fueron determinantes para el diseño de otros subsistemas.

##### 4.4.5.1.1 El Sensor.

Es el único componente que es netamente de importación. Se trata de un transductor que convierte una medida angular en un valor resistivo. El movimiento giratorio proviene del imán que se encuentra en la cabeza del medidor SERIE 6200 (v. 3.1.2), al cual el sensor se enlaza magnéticamente, de tal forma que el movimiento giratorio que se presenta en el eje del flotador se convierte en un movimiento giratorio en la aguja del transductor.

Internamente, el transductor cuenta con una resistencia variable, la cual presenta la resistencia mínima al indicar bajo nivel de gas, y resistencia máxima para indicar alto nivel.

El sensor cuenta con dos terminales donde se puede medir el valor resistivo.

Este sensor es una estructura de unos 4 cm de diámetro y 2 cm de espesor, fabricada en aluminio y con una cubierta de material plástico. Reemplaza completamente a las carátulas modelo "junior" (v. 3.1.2).

El transductor es fabricado por la empresa norteamericana "Rochester Gauges, Inc."; este fabricante anuncia a su producto como un transmisor de 0 a 90 ohms, (indica lleno al 80 %). En mediciones realizadas en el laboratorio, se determinó que la resistencia mínima que presenta es de unos 4.6 ohms, mientras que la máxima es de unos 115 ohms. Cuenta con una escala punteada, indicando valores fraccionarios de la capacidad total del tanque (1/4, 1/2, 3/4, etc.), de tal forma que además de proporcionar un valor resistivo de acuerdo a la altura del gas remanente, también se puede utilizar como una carátula normal.

Aproximadamente al 80% de la escala total, el transductor presenta un valor resistivo cercano a 90 ohms.

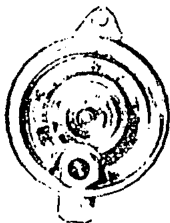


Figura 4.13. Sensor de 0 a 90 ohms.

Aunque los valores anteriores no se pueden cambiar, resultaron decisivos en el diseño de la fuente de corriente constante (v. 4.4.2.1) y en el diseño del circuito de ajuste de cero (v. 4.4.3.5.3). En efecto, como se recordará en el inciso 4.4.3.5.2, para que el convertidor señale una capacidad de 100 %, se necesita un voltaje aproximado de 1.135 V en el circuito sensor de voltaje (v. 4.4.3.5.2). Para que esta condición se presente, el sensor debe registrar máxima resistencia (115 ohms); aplicando 4.2, se obtiene una corriente de aproximadamente 9.86 mA (en la práctica resulta menor) circulando por el sensor y provocando la caída de potencial requerida. Por otra parte, cuando se registra la condición de tanque vacío, la resistencia mínima en el transductor es de unos 4.6 ohms; al circular la corriente recientemente mencionada, se produce una diferencia de potencial de unos 45.4 mV que es necesario compensar, para que el convertidor no indique una cantidad errónea. Esto se soluciona mediante el circuito de ajuste de cero.

Además de este transductor, la empresa fabricante ofrece otros sensores de apariencia externa idéntica, pero con diferentes valores resistivos. El diseñador analizó las diferentes alternativas y seleccionó el sensor 2-90 ohms.

El transductor seleccionado está amparado con el sello UL (v. 2.3).

En México, actualmente no se utilizan medidores de este tipo. Existe una Norma Oficial Mexicana aplicable a las carátulas convencionales que se utilizan en los tanques estacionarios (v. 3.1.2); se trata de la norma NOM-X-6-1987. El medidor empleado en la presente tesis no cumple con todos los requisitos mencionados en esta norma, pues debido a sus características muy particulares debe ser fabricado en forma diferente a la carátula convencional.

Específicamente, este sensor no cumple con los siguientes incisos de esta norma:

- 5.1.3 Liberalidad de la aguja (el sensor no puede girar libremente, pues en su construcción presenta un tope que impide que la aguja gire mas de 340 grados).
- 5.1.4 Líneas de indicación.
- 5.1.6 Inicio de graduación.
- 5.1.7 Alcance máximo de graduación.
- 5.1.8 División de graduación.
- 8.3 Marcado de la carátula.

Se pueden realizar ciertas modificaciones al sensor para que cumpla con algunos de los incisos anteriores, pero definitivamente es imposible que cumpla con todos. Por lo tanto, de llevarse a cabo la comercialización del instrumento, será necesario ya sea una modificación a la presente norma, o la elaboración de una norma especial para este tipo de carátulas.

La norma mencionada anteriormente se presenta en el apéndice C.

La posición del sensor como parte del circuito de la fuente de corriente constante se puede observar en la figura 4.6.

#### 4.4.5.1.2 El alambre conductor.

La selección del alambre conductor no fué tarea fácil. Se tuvo que recurrir con las dos empresas fabricantes líderes en el ramo: Industrias CONDUMEX e Industria CONELEC.

Las características que se requerían para el conductor eran:

- Resistencia eléctrica mínima.
- Resistencia a la humedad e intemperie.

El conductor que resultó más propicio para la presente aplicación fué el alambre de cobre de dos líneas, fabricado por CONDUMEX, y conocido como el tipo "2x18".

Este es el tipo de alambre de dos líneas utilizado por Teléfonos de México (TELMEX) para la instalación a la intemperie.

El conductor está formado por dos alambres de cobre electrolíticamente puro, aislados paralelamente con PVC semirígido en color negro. Se puede utilizar el tipo TELMEX, o el tipo CTN. Este último presenta una cubierta adicional de PVC negro.

Estos conductores presentan una resistencia óhmica máxima de 40 ohm/Km y una capacitancia mutua entre alambres de 100 nF/Km máxima, ambos parámetros a una temperatura de 20 °C. Considerando que la longitud típica de una línea que vaya de la cocina a el tanque estacionario no excede los 15 metros, la resistencia que presenta un conductor de esta longitud no superará los 0.6 ohms totales en condiciones normales. Este valor es pequeño en comparación al valor mínimo de resistencia del sensor, por lo que la resistencia de los alambres casi no influye en la operación del medidor.

De cualquier forma, el error que este valor puede introducir se elimina fácilmente con el circuito de ajuste de cero (v. 4.4.3.5.3).

De preverse la instalación del medidor en una casa a construir, se recomienda colocar un tubo conduit que vaya desde el lugar donde se instalará el instrumento (cocina), hasta el lugar donde se localizará el tanque estacionario (azotea); esto tiene por objeto minimizar cambios en las características del alambre conductor por la exposición prolongada a la intemperie.

Las características de este cable conductor aparecen en el apéndice B.

#### 4.4.6 CIRCUITO DE ALIMENTACION PARA EL INSTRUMENTO.

Esta parte del circuito es la encargada de proveer de energía al instrumento. La alimentación del medidor electrónico puede ser a base de una pila de 9 V ó a través de la alimentación c.a. mediante el uso de un transformador/adaptador que entregue un voltaje regulado a 9 V.

##### 4.4.6.1 Diseño del circuito de alimentación para el instrumento.

El funcionamiento del instrumento medidor hizo necesario que en el circuito electrónico existieran dos líneas con voltajes diferentes para alimentar a los diversos componentes.

Una línea, regulada a 5 V, es la encargada de alimentar a los componentes que requieren de un voltaje estable: el convertidor A/D, referencias de voltaje, y la fuente de corriente constante. Otra línea, alimentada directamente de la fuente de voltaje externo, era necesaria para verificar el estado de esta fuente de alimentación; si el voltaje decae por abajo de un mínimo, ni el convertidor A/D ni la fuente de corriente constante funcionarían adecuadamente, por lo que es necesario que el medidor avise sobre este estado.

##### 4.4.6.1.1 Línea de alimentación con voltaje igual al de la fuente externa.

Como se ha mencionado con anterioridad, el instrumento puede alimentarse ya sea mediante una pila de 9 V, o mediante un adaptador de corriente alterna. Para el caso de la alimentación con pila, se ha incluido un conector especial para este tipo de pila.

Si la alimentación es mediante un transformador/adaptador, el instrumento cuenta con un conector hembra que recibe al macho proveniente del transformador. El conector empleado tiene el nombre comercial de "jack mono 6.3". Este conector es importante en esta aplicación, ya que cuando recibe al macho, automáticamente desconecta a la batería, con lo que se evita que ésta se descargue.

La línea de la alimentación cuenta con un fusible (con su respectivo portafusible) de 250 mA, de fusión rápida preferentemente. La inclusión de este componente es muy importante desde el punto de vista seguridad, ya que por él circula toda la corriente que alimenta al instrumento. Este fusible asegura que no pasen corrientes mayores a la

especificada, puesto que actúa en unas cuantas centésimas de segundo (el instrumento tiene un consumo total de corriente que no supera los 130 mA).

El siguiente componente de esta línea es un interruptor normalmente abierto; al presionarlo, se cierra el circuito, alimentando al instrumento. Como está en serie con la alimentación, por este dispositivo circula toda la corriente que requiere el medidor; su posición es importante ya que impide que existan corrientes de drenado al no utilizar el instrumento.

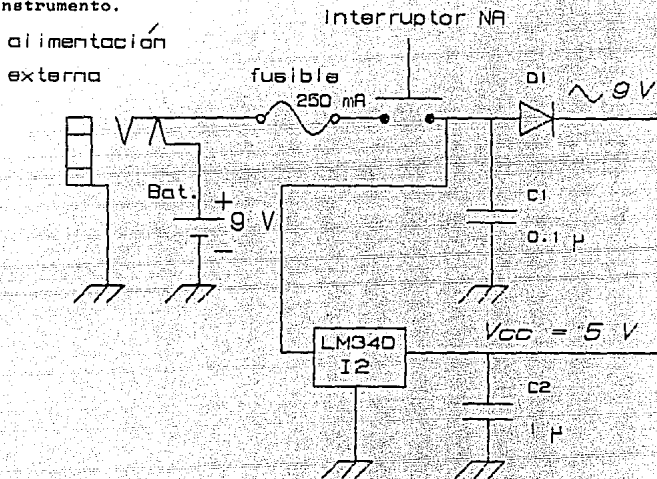


Figura 4.14. Circuito de alimentación para el instrumento.

A la salida del interruptor, existe una bifurcación: una línea alimenta al CI LM340 (I2), que se discute en el inciso siguiente, y otra alimenta al circuito verificador de voltaje (v. 4.4.1).

La línea al verificador de voltaje cuenta con un diodo rectificador (D1) IN914 (de 200 mA máximo). Este componente se incluyó para evitar daños a los componentes que alimenta en caso de que se conecte la fuente de alimentación con polaridad opuesta. La razón de no incluir a este componente antes de la bifurcación del circuito se explica en el siguiente inciso.

Por último, conectado en paralelo al diodo, se incluyó a un capacitor de 0.1 microF (C1) a modo de filtro. Este componente

no es indispensable, pero ayuda a reducir posibles variaciones de la alimentación, sobre todo en el caso de utilizar un adaptador.

#### 4.4.6.1.2 Línea de alimentación con voltaje regulado a 5 V.

El elemento principal de esta parte del circuito es el regulador de voltaje LM340 (I2) conocido popularmente como el CI 7805. En realidad, se trata de una versión mejorada de este componente.

Este regulador es un dispositivo de tres terminales. Su característica más importante para la presente aplicación es que para proporcionar un voltaje regulado a 5 V en su salida, requiere de un voltaje en su entrada con un rango comprendido entre 7.3 y 35 V. Mientras que el límite superior no es importante en esta aplicación, el límite inferior sí lo es. En efecto, al considerar la alimentación del circuito a base de una pila, se comprende la importancia del circuito verificador de la fuente de alimentación. Si el voltaje de entrada a este regulador disminuye del mínimo, la salida de éste será ligeramente inferior a los 5 V. Esto repercute en variaciones de las referencias de voltaje, del convertidor A/D, y de la fuente de corriente constante. De no existir el circuito verificador de la fuente, a un voltaje ligeramente inferior al especificado, el instrumento mostraría lecturas falsas que parecerían correctas; el usuario no tendría forma de percatarse de esta situación.

Si la alimentación es a base de una pila, ésta solo podrá variar hasta un mínimo de 7.3 V, esto es, una variación de 1.7 V. Debido a lo crítico de este rango, no se incluyó al diodo D1 en la alimentación del CI LM340. La protección de este componente habría resultado innecesaria, ya que el LM340 tiene protección propia contra inversiones en la polaridad de alimentación; en cambio, la caída de potencial que presenta el diodo habría hecho aún más crítico el rango de voltajes permisibles de la fuente de alimentación.

Por último, se menciona la inclusión del capacitor C2. Este componente mejora la salida del regulador de voltaje.

#### 4.4.7 COMPONENTES MISCELANIOS.

En el desarrollo anterior se expuso el diseño de los diversos circuitos que forman al instrumento. Además de todos los componentes que se han tratado en este capítulo, existen otros que componen al medidor.

Entre estos componentes se mencionan :

- Caja o empaquetamiento.
- Mica del desplegador visual.
- Circuito impreso.
- Terminales del cable conductor.
- Tornillos.

- La caja o empaquetamiento.

Es el componente que alberga al circuito electrónico. Admite dos conexiones externas: 1> el alambre conductor que une al medidor con el sensor; 2> la terminal del cable para alimentación externa. Presenta una cavidad para la batería. En su carátula se encuentran: la mica de protección detrás de la cual está el desplegador visual, el diodo emisor de luz (LED) para reportar la condición de batería baja, y el botón del interruptor de operación.

La caja se construye de material plástico y no debe fallar al practicarle las pruebas descritas en el siguiente capítulo.

- Mica del desplegador visual.

La mica puede ser transparente, aunque se recomienda que tenga un color verde o gris para que resalten los dígitos al encender. Su función es aislar al circuito electrónico del medio ambiente externo.

- Circuito impreso.

Sobre éste se montan los componentes electrónicos que forman al instrumento.

- Terminales del cable conductor.

Se utilizan para conectar el alambre conductor a las terminales localizadas en el circuito impreso. Se puede utilizar un par extra para conectar al alambre con el sensor.

- Tornillos.

Se utilizan para fijar el sensor al tanque, para fijar las terminales del alambre, para fijar el circuito impreso a la caja, y para fijar a ésta última a la pared.



#### 4.4.8 LISTA Y COSTO DE PARTES.

A continuación se presenta la lista y el costo de los componentes que integran al instrumento medidor de gas L.P.

Los costos se obtuvieron en el mes de Noviembre, de 1988, y se consideran sobre una base de 100 piezas mínimo por componente (para el alambre conductor, 100 m).

Ident.	Nombre comercial y descripción	precio unitario
I1	AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM358	653.00
I2	REGULADOR DE VOLTAJE LM340	1200.00
I3	AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM358	653.00
I4	CONVERTIDOR ANALOGICO/DIGITAL ADD3501	18135.00
I5	DRIVER 75492	796.00
I6	ARREGLO RESISTIVO 699	899.00
I7	CARACTER NUMERICO DOBLE (DISPLAY - MAN6440)	3877.00
R1	RESISTENCIA 220 OHMS @ 1/4 W	17.00
R2	RESISTENCIA 150 OHMS @ 1/2 W	24.00
R3	RESISTENCIA 12 KOHMS @ 1/4 W	17.00
R4	RESISTENCIA 15 KOHMS @ 1/4 W	17.00
R5	RESISTENCIA 47 KOHMS @ 1/4 W	17.00
R6	RESISTENCIA 33 KOHMS @ 1/4 W	17.00
R7	RESISTENCIA 330 OHMS @ 1/2 W	24.00
R8	RESISTENCIA 270 OHMS @ 1/2 W	24.00
R9	RESISTENCIA 18 KOHMS @ 1/4 W	17.00
R10	RESISTENCIA 15 KOHMS @ 1/4 W	17.00
R11	RESISTENCIA 100 KOHMS @ 1/4 W	17.00
R12	RESISTENCIA 1 MOHMS @ 1/4 W	17.00
R13	RESISTENCIA 820 OHMS @ 1/4 W	17.00
R14	RESISTENCIA 5.6 KOHMS @ 1/4 W	17.00
R15	RESISTENCIA 8.2 KOHMS @ 1/4 W	17.00
C1	CAPACITOR POLIESTER 0.1 microF/500 V	119.00
C2	CAPACITOR ELECTROLITICO 1 microF/50 V	130.00
C3	CAPACITOR TANTALIO 0.33 microF/35 V	532.00
C4	CAPACITOR TANTALIO 0.33 microF/35 V	532.00
C5	CAPACITOR CERAMICO 0.01 microF/500 V	119.00
C6	CAPACITOR ELECTROLITICO 10 microF/50 V	115.00
D1	DIODO RECTIFICADOR IN914 (200 mA)	47.00
D2	DIODO RECTIFICADOR BY127 (1.2 A)	97.00
D3	DIODO RECTIFICADOR BY127 (1.2 A)	97.00
Z1	DIODO ZENER IN750A (4.7 V. @ 1/4 W)	105.00
P1	POTENCIOMETRO 78PR20K (20 KOHMS)	5924.00
P2	POTENCIOMETRO 78PR20K (20 KOHMS)	5924.00
P3	POTENCIOMETRO 78PR20K (20 KOHMS)	5924.00
L1	LED COLOR ROJO	160.00
T1	TRANSISTOR BC558	119.00
	CONECTOR JACK MONO 6.3	860.00
	PORTAFUGIBLE A CHASIS	340.00
	FUSIBLE 1/4 A	359.00

(Costo de componentes, continuación).

Ident.	Nombre comercial y descripción	precio unitario
	TERMINAL BATERIA 9 V	153.00
	INTERRUPTOR NA (1 A)	3300.00
	TERMINAL CIRCULAR (#)	120.00
	ALAMBRE CONDUCTOR "2x18" (15 m)	11775.00
	CIRCUITO IMPRESO	2370.00
	EMPAQUETAMIENTO	5670.00
	TORNILLOS (10)	700.00
	MICA	390.00
	SENSOR	12170.00
		-----
		84640.00
	I.V.A.	12696.00
		-----
		\$ 97.336.00

Este costo se podría reducir en al menos un 10 % al considerar producciones mayores a las 500 piezas.

El costo final definitivamente no es el costo unitario por instrumento medidor. En efecto, adicionalmente se deben considerar costos iniciales como los correspondientes al desarrollo del empaquetamiento (diseño, molde y pruebas funcionales), desarrollo del circuito impreso, así como los costos de ensamble y algunos costos misceláneos (taquetes, pegamento, pijas, cinta de aislar, etc.).

El autor de la presente tesis considera que el instrumento se podría poner a la venta a un costo de \$ 180.000.00 pesos M.N. más gastos de instalación.

#### 4.4.9 ESPECIFICACIONES DEL INSTRUMENTO.

A continuación se presentan las especificaciones más importantes del instrumento medidor:

**Alimentación:**

- Batería 9 V (alcalina preferentemente).
- o
- Adaptador c.a., salida a 9 V. 150 mA min.

**Consumo:**

- 120 mA, 1.1 Watts (aproximadamente).

**Temperatura de operación:**

- Desde 0 °C hasta 60 °C.

**Terminales externas:**

- Para alimentación, Jack mono 6.3.

**Velocidad de conversión:**

- Aproximadamente 2.1 conversiones/segundo

#### 4.5 PUESTA EN OPERACION DEL INSTRUMENTO

Debido a las características propias del instrumento, se recomienda ampliamente que el medidor sea instalado únicamente por personal calificado.

Generalmente, el instrumento requerirá de una calibración previa para obtener un funcionamiento adecuado. Debe recordarse que el circuito electrónico cuenta con tres resistencias variables (P1, P2 y P3); la calibración del potenciómetro P1, correspondiente al circuito verificador de voltaje de alimentación, puede hacerse desde el ensamble del circuito (con esto se ajusta que el diodo emisor de luz encienda para reportar la condición de batería baja, a unos 7.3 V o menos en la entrada de la alimentación).

Con el potenciómetro P2 se calibra el valor de corriente constante que circula por el sensor (v. 4.4.2.1), mientras que con P3 se calibra el valor mínimo que reportará el instrumento (v. 4.4.3.5.3). El ajuste de estos dos potenciómetros se realiza en la misma operación.

Para calibrar el potenciómetro P1:

- 1> Con una fuente de voltaje, se ajusta como alimentación al instrumento, un voltaje igual a 7.3 V.
- 2> Se mantiene oprimido el botón de operación.
- 3> Si el diodo emisor de luz está apagado, pasar al punto 5>.
- 4> Si el diodo emisor de luz está encendido, girar el tornillo de P1 hasta que se apague (si se llega al tope, girar en sentido opuesto).
- 5> Girar el tornillo P1 lentamente hasta que el diodo encienda (el sentido del giro es el opuesto al del paso anterior).

Al variar la alimentación levemente por encima de los 7.3 V, el diodo se debe apagar. Al reducir el voltaje de alimentación, el diodo se debe encender al pasar por 7.3 V.

Si no se obtienen los anteriores resultados, repetir la operación.

Para calibrar los potenciómetros P2 y P3:

- 1> Llevar a cabo la instalación del alambre conductor (conectar ambos extremos: a) al medidor; b) al sensor).
- 2> Alimentar al circuito con un voltaje superior a 7.5 V.
- 3> El sensor no debe estar fijado al tanque. Mediante un imán, mover la aguja del sensor hasta que indique vacío (debe topar).
- 4> Mantener oprimido el botón de operación.
- 5> Girar el tornillo del potenciómetro P3 hasta que el instrumento indique la lectura correspondiente a nivel mínimo. Esta se puede ajustar desde aproximadamente cero (0) hasta siete (7). Se recomienda elegir valores mayores a cero.
- 6> Mover la aguja del sensor hasta que marque lleno total.
- 7> Girar el tornillo del potenciómetro P2 hasta obtener un valor que se considerará lleno total (generalmente se toma noventa y nueve - 99 - ).
- 8> Para realizar ajustes finos, continuar con el punto 3> y repetir los pasos hasta verificar que no sea necesario ajustar ningún potenciómetro.

9> Fijar el sensor al tanque.

Las calibraciones de estos potenciómetros son necesarias pues con ellas se compensan las pequeñas desviaciones en los valores de distintos componentes; también se compensa la resistencia inicial del sensor así como la resistencia del alambre conductor.

Al realizar cualquier calibración, se recomienda tener cuidado en tratar de no tocar al circuito impreso, pues el convertidor ADD3501 se fabrica en tecnología CMOS, lo que lo hace susceptible a daños por descargas electrostáticas.

Una vez realizadas las calibraciones, se cubre el circuito electrónico con su tapa correspondiente. Se conecta la fuente de alimentación (la batería y/o el adaptador c.a.). El instrumento está listo. Cuando el usuario oprima el botón de operación (se recomienda mantenerlo oprimido por al menos un segundo), y siempre que la alimentación sea superior a 7.3 V, el instrumento indicará un valor porcentual de la cantidad remanente de gas L.P. en el tanque estacionario.

#### 4.6 PRECISION DEL INSTRUMENTO

Existen diversos factores por los cuales no se puede considerar que el medidor desarrollado sea un instrumento de precisión. La mayoría de estos factores son ajenos al diseño del medidor electrónico, y corresponden al ensamble del flotador-imán.

Entre los principales factores que reducen la precisión del sistema completo, se tienen :

A> Coeficiente de dilatación.

El volumen del gas L.P. líquido (y por ende, su altura dentro del recipiente) aumenta en función de un incremento en temperatura (v. 1.1.9). El instrumento no cuenta con una compensación para temperatura. Sin embargo, el error que se induce por esta causa se puede considerar mínimo.

B> Geometría del tanque presurizado.

Si se considera que la lectura proporcionada por el medidor es un porcentaje del volumen remanente de gas L.P. en el tanque, se cometerá un grave error (v. 3.1). Siempre se debe tener en

cuenta que la lectura proporcionada representa un valor porcentual de la altura de la columna de gas L.P. remanente en el tanque.

C> La medición de nivel por un flotador que gira sobre un eje presenta siempre un error de no linealidad, pues la relación del ángulo girado a la altura del líquido no es lineal (v. 3.1.1.1). El error máximo que esto introduce puede rebasar el 10 X (1). Además, el arreglo flotador-imán utilizado en un tanque estacionario doméstico no es de alta precisión.

D> El sensor utilizado (que substituye a la carátula "JUNIOR") presenta una cierta resistencia al giro que casi no existe en la carátula normal (v. 4.4.5.1.1). Esto se traduce en la existencia de errores de histéresis (la aguja del sensor no siempre gira al mismo paso del imán, sufriendo generalmente un retraso con respecto a éste).

E> El convertidor A/D que se emplea presenta errores de no linealidad, cuantificación, de cero, etc. (v. 4.4.3.4); se pueden inducir otros errores por variaciones en el voltaje y en la corriente tanto del convertidor como del circuito. Sin embargo, éstos errores se pueden considerar como mínimos en comparación con los errores descritos en los incisos anteriores.

Aunque el medidor desarrollado no se puede considerar como un instrumento de alta precisión, los resultados que se obtienen son satisfactorios y comparables a los que se obtienen directamente de una carátula "JUNIOR" (pero con la comodidad de un monitoreo a distancia). Además, para la aplicación que se le da al instrumento, no se requiere de alta precisión. La lectura proporcionada al fin y al cabo tan solo da al usuario una idea de la cantidad de gas L.P. remanente en el tanque estacionario.

#### 4.7 CONCLUSIONES SOBRE EL CAPITULO

El autor del instrumento medidor presentó, al inicio de este capítulo, una serie de objetivos que se proponía cumplir en el

(1) Este error se pudo haber eliminado por completo si en el instrumento se hubiera incluido un microprocesador. Sin embargo, esto habría resultado excesivamente costoso e injustificable para la presente aplicación.

diseño del instrumento. A continuación se comenta brevemente sobre aquellos puntos que no se pudieron alcanzar:

#### Integración nacional.

A excepción del sensor, todos los componentes se pueden conseguir en el mercado nacional. De existir gran demanda, el sensor se podría ensamblar en el país, lo que traería por consecuencia una baja en su precio. A esta conclusión llegó la empresa representante en México de estos sensores.

#### Valor que indica el medidor.

Hubiera resultado en extremo costoso (e injustificable) que el medidor reportara la cantidad, en litros, de gas remanente en el tanque. Este objetivo, no imposible, se podría alcanzar mediante la incorporación de un microprocesador al circuito electrónico, o conectando el instrumento a una computadora, para que ésta efectuara los cálculos necesarios que condujeran a este resultado. De ser éste el caso, se tendrían que conocer (o investigar) las dimensiones exactas de cada tanque donde se llevara a cabo la instalación del medidor.

#### Retención de la lectura después de liberar el botón.

Se intentaron varias formas de conseguir esto. Se presentaron dos obstáculos principalmente: 1> era inevitable la existencia de una corriente de fuga continua; si la alimentación era únicamente a base de una pila, ésta se debilitaría rápidamente. 2> La tolerancia para el debilitamiento de la pila se habría disminuido notablemente (la alimentación debía ser superior a 8.5 V mínimo, en todo momento). Otra razón de importancia es que independientemente del método, cualquier mecanismo que se hubiera incorporado para cumplir con este objetivo habría repercutido en el costo del instrumento.

#### Alarmas.

Los obstáculos discutidos en el párrafo anterior son también aplicables a este caso. Se contempló la incorporación de dos alarmas: una de sobrellenado y otra de bajo nivel. No existe un criterio homogéneo para definir los límites donde estas alarmas entrarían en operación. Una alarma también habría afectado notablemente al costo del instrumento, debido a la gran cantidad de componentes adicionales que requiere. Adicionalmente se consideró el hecho de que sería en extremo molesto que la alarma entrara en operación a mitad de la noche.

De cualquier forma, los objetivos no alcanzados no son de consideración; y no disminuyen las ventajas que este instrumento presenta con respecto a la carátula normal. El autor quedó plenamente satisfecho con el resultado final.

El diseño final requirió de largas horas de esfuerzo y estudio; fueron muchos los cambios y consideraciones que se hicieron al instrumento, siempre tratando de mejorarlo, simplificarlo y reducir su costo.



**CAPITULO V : CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD APLICADAS AL  
INSTRUMENTO**

## " Consideraciones de seguridad aplicadas al instrumento "

### 5.0 INTRODUCCION

El objetivo principal en el diseño de este instrumento fué el de construir un medidor con un alto grado de seguridad.

Definitivamente resulta imposible construir un instrumento que sea completamente seguro. En el diseño de este instrumento se revisaron minuciosamente gran número de detalles, teniendo siempre muy presentes los conceptos de seguridad discutidos anteriormente.

En este capítulo se presentan las consideraciones de seguridad aplicadas a aquellos circuitos y componentes que por su localización y funciones podrían resultar peligrosos.

### 5.1 SEGURIDAD APLICADA A LA FUENTE DE CORRIENTE

La fuente de corriente constante es la parte del circuito electrónico donde se tuvo el mayor cuidado en su diseño debido a que provee de corriente al sensor que va montado sobre el tanque. Este diseño se pudo haber simplificado de no haber aplicado medidas de seguridad. Sin embargo, era fundamental el crear un instrumento con la máxima seguridad posible.

Los conceptos de seguridad que se aplicaron en el presente trabajo, se obtuvieron principalmente de recomendaciones IEC y normas U.L.

#### 5.1.1 SELECCION DE LA CORRIENTE CONSTANTE QUE ALIMENTA AL TRANSDUCTOR.

La selección de esta corriente se basó principalmente en los siguientes factores :

5.1.1.1 La corriente debía ser adecuada para obtener una señal estable y libre de ruido.

5.1.1.2 Debía provocar una caída de tensión tal que fuera la adecuada para la correcta interpretación de ésta por el convertidor A/D.

5.1.1.3 Debía ser inferior a la corriente mínima de ignición (MIC) del gas L.P.

A continuación se analizarán cada uno de los puntos anteriores:

5.1.1.1 Corriente para obtener una señal limpia.

Existen muchos criterios que se pueden aplicar para determinar una corriente adecuada con la que se obtiene una señal limpia, con mínimo ruido eléctrico.

En general, mientras mayor sea la corriente, la señal resultante será más limpia y tendrá porcentualmente menos ruido eléctrico. Además de existir las restricciones de los incisos 5.1.1.2 y 5.1.1.3 que se tratarán posteriormente, se debe considerar el hecho de que el instrumento se puede alimentar con una batería; mientras mayor sea la corriente empleada para este fin, mayor será el desgaste de la batería.

Existen tres consideraciones importantes que apoyaron la elección que se hizo del valor de la corriente:

1) El lugar donde se instalará el circuito formado por el arreglo instrumento-conductor-sensor, será generalmente una casa habitación, donde la existencia de señales de interferencia u otras que provoquen ruido eléctrico será mínima.

En casos extremos donde haya interferencia acentuada, se puede substituir el conductor que se emplea normalmente por un cable coaxial, con lo que se elimina en gran medida este problema.

2) La señal que se aplica es básicamente de corriente constante; este tipo de señal es poco afectada por el ruido eléctrico, en comparación con aquellas señales que son, ya sea directas pero no constantes, o alternas. En general, a medida que una señal de información es de mayor frecuencia, se acentúan los problemas debidos a interferencias y ruido eléctrico. La fuente de corriente del instrumento aquí tratado maneja una señal que se puede considerar con frecuencia muy baja (esencialmente cero).

3) La longitud del conductor es un factor importante en las consideraciones referentes a la intensidad del ruido eléctrico y la caída de tensión a través de él. Para la casa habitación promedio, la longitud total del conductor será de tan solo unos 15 metros, por lo que la caída de tensión y ruido eléctrico a través de este componente serán mínimos (típicamente, la caída de tensión no será mayor a unos 5 mV).

En muchos sistemas de comunicación para computadoras, se manejan señales que presentan corrientes en el rango de 4 a 20 mA. El autor decidió utilizar una corriente de aproximadamente 10 mA para circular por el sensor (se utilizan generalmente 8.5 mA). Este valor está comprendido en el rango anterior. Considerando que el rango de 4-20 mA se aplica en señales con frecuencias diferentes a cero, con una longitud de cable que pueda superar fácilmente los 20 metros, la elección de una señal de 10 mA para la presente aplicación resulta evidentemente correcta.

#### 5.1.1.2 Corriente para provocar una tensión adecuada para el componente central.

En el inciso 4.4.3.5.2 se comprendió que el componente central del instrumento, el convertidor analógico/digital, requiere de una señal con valor de 1 V aproximadamente para dar una lectura de tanque lleno, mientras que con una señal de 0 V indica tanque vacío.

Para cumplir con este requisito, se debe tomar en cuenta que la resistencia del sensor puede variar desde 4.5 hasta 115 ohms aproximadamente (tanque vacío o lleno, respectivamente). Considerando la lectura de tanque vacío (115 ohms), se entiende que se debe aplicar una cierta corriente al sensor para obtener un valor de diferencia de potencial entre sus terminales, señal que se aplica al componente central.

Cualquier cantidad de corriente que se aplique al sensor cae en alguno de los tres rangos que se explican a continuación :

1) La corriente produce una caída de tensión superior a 1 V para la condición "tanque lleno".

En este caso, la corriente debe ser, por lo menos, superior a unos 10 mA. Al aplicarse esta corriente, se obtiene una diferencia de potencial superior a 1 V; luego, mediante redes resistivas (divisores de tensión), se puede atenuar el valor obtenido en las terminales del sensor, a un valor máximo de 1 V. Existe una limitante para el valor máximo de corriente: el sensor tiene una capacidad de disipación de calor limitada, por lo que admite un cierto valor máximo de corriente. El cable que se conecta al sensor también tiene un límite superior de corriente, pero definitivamente es mucho mayor que el correspondiente al sensor.

Entre los inconvenientes de utilizar una corriente mayor a 10 mA, están los siguientes :

A) A mayor corriente, mayor riesgo de explosión. La

corriente mínima de explosión para el gas L.P. se especifica posteriormente.

B) Una mayor corriente implica una duración menor de la batería, si es que ésta es la fuente de alimentación.

C) Una mayor corriente implica la inclusión de un arreglo resistivo para atenuar el valor del voltaje que se aplica al convertidor A/D, desde el valor en los bornes del sensor hasta el valor requerido de 1 voltio (el instrumento se complica y aumenta su costo).

2) La corriente produce una caída de tensión inferior a 1 V para la condición "tanque lleno".

Esto sucede cuando se aplica una corriente inferior a unos 7 mA. Entonces, se obtiene una caída de tensión entre los bornes del sensor inferior a 1 V. Entre los inconvenientes de esta técnica se encuentran:

A) Debido a que el convertidor A/D requiere necesariamente de una señal de voltaje cercana a 1 voltio para indicar la condición de tanque vacío, el circuito requeriría en este caso de la adición de un amplificador de voltaje directo (se complicaría el instrumento y aumentaría el costo).

B) El circuito, al requerir de un amplificador adicional, tendría mas posibilidades de ser sensible al ruido.

C) Los factores anteriores darían por resultado que el instrumento fuera menos preciso.

3) La corriente produce una caída de tensión igual a 1 voltio para la condición "tanque lleno".

Dependiendo de la tolerancia de los valores resistivos del sensor, así como de la longitud del conductor, éste sucede cuando se aplica una corriente cuyo rango aproximado esta entre 7 y 10 mA.

En este caso, se conectan en paralelo las terminales del sensor a las terminales correspondientes del convertidor A/D destinadas a censar el voltaje externo. Este es el método que se decidió utilizar por considerarlo como el más sencillo y con menos problemas.

### 5.1.1.3 Corriente inferior a la corriente mínima de ignición para el gas L.P.

Este es el factor más importante y que necesariamente se debe respetar para la elección de la corriente a pasar a través del sensor.

De acuerdo a lo visto en el inciso 2.3.2, se recordará que el gas L.P. tiene una clase de temperatura T2 (puede arder si se le aplica una temperatura superior a los 380 °C). En el inciso 2.3.1.3 se explicó el concepto de la corriente mínima de explosión; se encontró que el gas L.P. cae dentro del grupo de explosión IIA.

Para el diseño de la fuente de corriente, el concepto de clase de temperatura es irrelevante, pues es poco probable que se alcancen temperaturas superiores a los 380 °C en la operación normal de un tanque de este tipo. Estrictamente hablando, este concepto sería aplicable si el sensor que se coloca en el tanque pudiera alcanzar esta temperatura. Para que esto sucediera, la corriente por el transductor debería ser de unas decenas de amperes, lo cual es improbable (sería más probable que primero se quemara el sensor y que quedara como un circuito abierto). Por lo tanto, se debe cuidar principalmente el aspecto de corriente máxima permitida (corriente mínima de ignición).

Para determinar esta corriente, se recurre a ciertas gráficas de voltaje/corriente aplicables a compuestos que caen dentro del grupo de explosión IIA; los parámetros de voltaje y corriente se toman como aquellos que se pueden presentar en el circuito a consideración. Para aplicarlas en la presente tesis, estas gráficas se obtuvieron de la recomendación IEC, Publicación 79-11 (Construcción y prueba de aparatos con protección intrínseca).

Para utilizar las gráficas, primero se tiene que considerar el tipo de circuito que se utiliza (en este caso, el circuito a analizar es el que se coloca cerca de la posible fuente de ignición, o sea, el sensor con su conductor); el circuito puede ser capacitivo, resistivo o inductivo. Aunque todo circuito eléctrico tiene por naturaleza características capacitivas, resistivas e inductivas, se debe considerar únicamente el efecto que predomina (si no hay predominio, el proceso se complica, requiriéndose de más gráficas y de más consideraciones), y de acuerdo a esto se concluirá que el circuito es, por ejemplo, puramente resistivo.

El circuito compuesto por el cable y el sensor es básicamente resistivo (prácticamente toda la resistencia del circuito se debe al sensor; la resistencia del cable es despreciable y se especifica en 4.4.5.1.2). Se midió la capacitancia e

inductancia del circuito, con una longitud de conductor de 20 metros (se tomó esta longitud por considerarla como la distancia típica entre la cocina y el tanque estacionario de gas). Al realizar la medición de estos valores, se encontró que la inductancia máxima no sobrepasa los 2 microH, mientras que la capacitancia es inferior a 0.1 nF.

Estos valores son en verdad muy pequeños, por lo que se puede afirmar que el circuito se comporta como un circuito puramente resistivo.

Por lo tanto, se recurrió a una gráfica de curvas límite para circuitos óhmicos (1). Esta es la figura 5.1.

De lo que se observa en la figura 5.1, el eje de las abscisas corresponde al voltaje máximo presente en el circuito, mientras que el eje de las ordenadas representa los correspondientes valores máximos de corriente. La curva aplicable al circuito analizado es la indicada IIA (que es la correspondiente al grupo de explosión); todo valor de corriente a un voltaje determinado, presente en el circuito, debe situarse por debajo de esta curva.

Como se mencionó anteriormente, el voltaje máximo que puede existir en el sensor es de aproximadamente 1 voltio. Este es el valor que se debe buscar en el eje que corresponde a voltajes. Para nuestro asombro, la tabla no ilustra voltajes menores a 10 V; sin embargo, a este valor, se observa que la corriente mínima de ignición rebasa los 5 amperes. De esta tabla es fácil imaginar que para valores de voltajes cercanos a 1 voltio, la corriente mínima de ignición debe ser al menos de unos 10 A. En el circuito de corriente constante se están utilizando tan solo unos 10 mA, que constituyen una milésima parte del valor máximo permisible.

Si se define como factor de seguridad al cociente de la corriente máxima permisible y la corriente actual en el circuito, con esto se podría concluir que el factor de seguridad empleado es de 1000. Sin embargo, se debe hacer una consideración adicional:

La curva anterior se obtiene a partir de circuitos puramente resistivos, alimentados con una batería, pila o fuente de voltaje lineal.

(1) Las tablas aplicables a circuitos que se consideran predominantemente inductivos o capacitivos, comienzan con valores mínimos de 0.1 mH y de 0.01 microF (inductancia y capacitancia, respectivamente). El hecho de haber medido valores inferiores a éstos en el sensor, respalda el hecho de considerar al arreglo conductor-sensor como un circuito puramente resistivo.

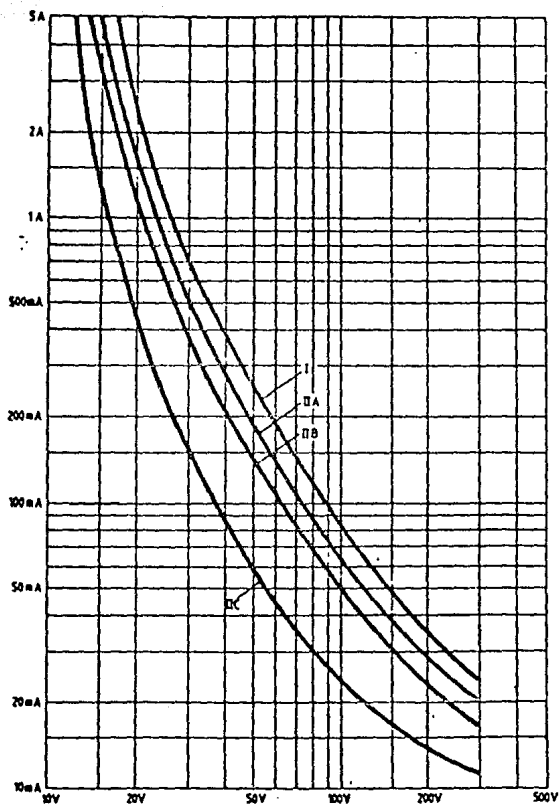


Figura 5.1 . Curvas limite para circuitos ôhmicos.



Como la alimentación del circuito en consideración es una fuente de corriente constante (que constituye un circuito no lineal), la recomendación IEC 79-11 estipula en su apéndice A4 que en estos casos se debe tomar tan sólo una quinta parte del valor de corriente encontrado en la correspondiente curva. De cualquier forma, el valor máximo permisible de corriente debe ser superior a 2 amperes; el factor de seguridad continua siendo extremadamente alto; al menos, 200.

Finalmente, con respecto a la elección de la corriente en el sensor, a modo de comparación se menciona el caso de la medición de gasolina en un tanque de automóvil.

Para medir la cantidad de combustible remanente en un automóvil, se emplea un flotador que se coloca dentro del tanque de combustible. El flotador acciona directamente al cursor de un potenciómetro, dispositivo que también se encuentra dentro del mismo tanque. Se realizaron mediciones en varios dispositivos para diversas marcas de automóviles (cada marca presenta diferentes variaciones), y se encontraron valores tan elevados como 280 mA para registrar tanque lleno.

Este valor definitivamente es muy elevado en comparación con el que se escogió para el sensor del instrumento. Además, hay que considerar que el potenciómetro del flotador de un auto está en contacto directo con la gasolina, a diferencia del sensor empleado para la medición del gas L.P., que se coloca afuera del tanque presurizado. De cualquier forma, el método con el que se mide combustible en un auto es muy seguro, pues la corriente que se emplea para este fin también está muy por debajo de la corriente mínima de ignición para la gasolina.

### 5.1.2 SELECCION DE COMPONENTES PARA ALCANZAR LA SEGURIDAD INTRINSECA EN LA FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE.

La recomendación IEC 79-11 establece, en su punto 7, que todos los componentes de los cuales depende la seguridad intrínseca de un circuito, deben ser operados a no más de dos terceras partes de su valor nominal de corriente, voltaje o potencia, según sea aplicable. Esta consideración se tuvo muy en cuenta para la selección de los componentes que integran a la fuente de corriente constante.

El diseño de la fuente de corriente constante se trató en el inciso 4.4.2.1; aquí se ampliará la explicación con respecto a la elección de ciertos valores de componentes.

En la figura 5.2 se ilustra nuevamente el diagrama de la fuente de corriente constante.

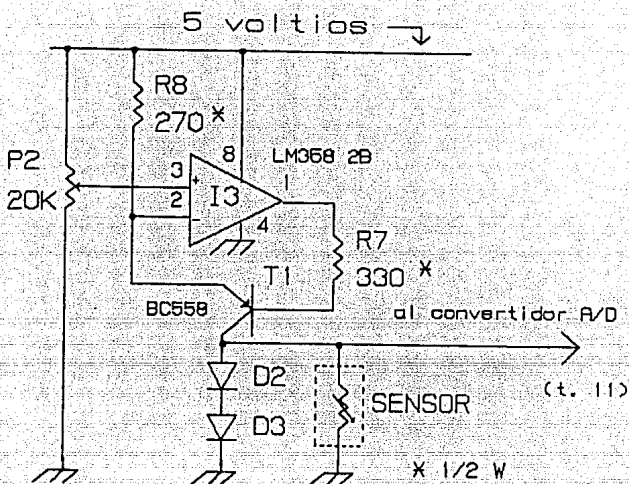


Figura 5.2. Fuente de corriente constante.

En el análisis que sigue se puede considerar el caso crítico en el que la resistencia del sensor está en su valor mínimo posible: 4.5 ohms (tanque vacío).

#### 5.1.2.1 Resistencias limitadoras de corriente.

La resistencia R8 es el componente a través del cual pasará prácticamente toda la corriente que alimenta al sensor. Como se indicó en 4.4.2.1, su valor es de 270 ohms, 0.5 W; se pudo haber utilizado una resistencia de 0.25 W. Sin embargo, esto no se hizo, debido a la siguiente razón:

Se consideró una posible falla del regulador de 5 V consistente en que este componente quedara en corto circuito

(ésto es muy improbable). En este caso, un extremo de R8 estaría unido a un potencial de 9 V. Aplicando las fórmulas 4.1 y 4.2, se determina que la potencia máxima disipada en esta resistencia sería de 0.3 W, y que circularía una corriente máxima de 33 mA (en realidad, estos valores son menores pues la resistencia se conecta en serie al transistor T1 y al paralelo sensor/diodos). La potencia es inferior a 2/3 de la potencia máxima permisible para la resistencia, mientras que la corriente que circula de cualquier forma se mantiene muy por debajo de la corriente mínima de ignición.

Como se mencionó en 4.4.2.1, la inclusión de la resistencia R7 no es indispensable para el funcionamiento de la fuente de corriente constante. Sin embargo, se utilizó previniendo una posible falla del circuito I3, del transistor T1, y del regulador de 5 V (todos quedando en corto circuito). De presentarse esta situación, los valores de potencia disipada y de corriente en la resistencia se mantienen por debajo de los considerados para R8.

#### 5.1.2.2 El transistor T1.

Este transistor tiene especificaciones de voltajes y corrientes muy superiores a los valores con los que se está utilizando en el circuito, de tal forma que los valores con los que opera el transistor están muy por debajo de las dos terceras partes del valor máximo permitido. En caso de que falle en corto circuito, las resistencias R7 y R8 mantendrán la seguridad del instrumento, limitando el valor de la corriente que pasa por el sensor.

#### 5.1.2.3 El amplificador operacional LM358 2B (I3).

Como se puede observar en el apéndice B, este dispositivo puede operar con una alimentación hasta de 32 V, y puede proporcionar una corriente máxima de 60 mA. Los valores con los que se utiliza están muy por debajo de las 2/3 partes del valor máximo permitido.

En caso de corto circuito de la salida, la resistencia R7 funciona como limitadora de corriente.

#### 5.1.2.4 El regulador de voltaje LM340 (I2).

Este componente se trató en 4.4.6.1.2. En el apéndice B aparecen algunas características de este circuito. El fabricante del dispositivo señala que el regulador está diseñado para manejar hasta 1.5 A. En caso de corto circuito,

internamente se activa un circuito limitador de corriente que desconecta la salida. Es muy improbable que se presente un corto circuito; de cualquier forma, el valor de 1.5 A está por debajo de la corriente mínima de ignición.

De presentarse valor tan elevado de corriente, inmediatamente se fundiría el fusible de acción rápida que se encuentra a la entrada de la alimentación (v. 4.4.6.1.1).

#### 5.1.2.5 Incorporación de una barrera zener.

Los diodos D2 y D3, cuya serie se conecta en paralelo al sensor, constituyen lo que se conoce comunmente como una barrera zener.

Esta barrera se forma normalmente con un diodo zener; sin embargo, debido a los valores tan bajos de voltaje en el sensor, fué necesario reemplazar al diodo zener por un par de diodos de silicio BY127, de 1.2 A.

El principio de funcionamiento es el siguiente: para que cada diodo se active y opere como circuito cerrado, se requiere de un voltaje mínimo entre terminales de 0.7 V aproximadamente. Debido a que hay dos de estos diodos en serie, se requiere un total de 1.4 V. Este valor de voltaje no debe presentarse en el sensor (recuérdase que el voltaje máximo entre los bornes del sensor es de 1.1 V aproximadamente). Si por alguna situación hay un crecimiento en la corriente del sensor, rápidamente se alcanzarán los 1.4 V, por lo que los diodos se pondrán en corto circuito, encausando toda la corriente a través de ellos, y no a través del sensor.

Si la corriente por los diodos supera los 250 mA, el fusible colocado en la alimentación se fundirá, impidiendo el paso de cualquier corriente riesgoza (de cualquier forma, las resistencias R7 y R8 deben limitar a esta corriente).

#### 5.1.2.6 Entrada al convertidor A/D.

La conexión adicional por donde se podría introducir una corriente peligrosa es la que va al convertidor A/D, terminal 11. Como se puede observar en la figura 4.10, y de acuerdo a 4.4.3.5.2, esta conexión se realiza mediante la resistencia R11, que tiene un valor de 100 Kohms.

Este valor resistivo tan elevado impide la circulación de cualquier corriente peligrosa aún en caso de corto circuito a la fuente de alimentación.

## 5.2 SEGURIDAD APLICADA EN OTROS COMPONENTES

A continuación se mencionan algunas otras consideraciones de seguridad aplicadas en la selección de diversos componentes del instrumento medidor.

### 5.2.1 SELECCION DE OTROS COMPONENTES DEL INSTRUMENTO.

#### 5.2.1.1 El alambre conductor.

La selección del alambre conductor que une al sensor con el circuito electrónico se trató en el inciso 4.4.5.1.2. En el presente inciso se considerarán brevemente algunos aspectos de seguridad relacionados con este conductor.

Es recomendable que el trayecto del conductor desde la cocina hasta el tanque se realice a través de un tubo conduit; sin embargo, en ocasiones será impráctico adaptar tal tubo. Esta recomendación es válida principalmente en casas que se planean construir, donde se incorporará el medidor.

Muchos cables presentes en circuitos con seguridad intrínseca deben estar entubados (para que estén aislados de la atmósfera con peligro de explosión); además, es común la utilización de cortafuegos y prensaestopas. En la presente aplicación no es indispensable tal entubamiento, ya que el sensor es la única parte del medidor que está en la zona con peligro de explosión, y debido a su distancia con respecto al circuito electrónico, se puede considerar aislado con respecto a éste.

La recomendación IEC 79-7, en su inciso 3.6, señala que el aislamiento de conductores en circuitos de seguridad aumentada debe ser térmicamente estable a una temperatura igual a 80 °C, o superior en al menos 20 °C a la temperatura máxima de operación del equipo (se toma la temperatura que resulte mayor). El conductor que se utiliza en este instrumento pasó la prueba a 80 °C.

De acuerdo a la recomendación IEC 79-8, en su inciso 15, el paso del cable al interior del equipo debe ser de tal forma que no se cause daño al conductor; las aberturas que presenta el equipo para recibir conductores deben cerrarse si no se utilizan.

Por último, la recomendación IEC 79-11 en su inciso 6.1, establece que para conductores empleados en clase de

temperatura IIA, y que conduzcan como máximo 0.5 A, no es necesario realizar una prueba de temperatura máxima del alambrado. Como el alambre utilizado conduce un máximo de 10 mA, no se realizó esta prueba.

#### 5.2.1.2 Bornes de conexión/espacio de conexión.

La conexión de los extremos del conductor, que une al sensor con el circuito electrónico, debe hacerse de una forma segura.

La recomendación IEC 79-7, en sus incisos 3.2 y 3.3, establece que estos tipos de conexiones deben estar generosamente dimensionados, aseguradas contra autoaflojamiento y doblamiento, así como de una forma tal que no se dañe el cable. Esta misma recomendación menciona que para realizar estas conexiones, se permiten tornillos, conectores, o soldadura.

Para evitar la posible existencia de chispas entre los bornes de los cables, la recomendación IEC 79-11, en su inciso 6.6, establece que debe existir un espaciado mínimo de 3 mm para bornes de conexión a 60 V. Aunque en la presente aplicación se trabaja con tensiones siempre inferiores a 10 V (en el caso del sensor, inferiores a 1.4 V), se siguió esta recomendación).

El sensor presenta dos tornillos (separados a más de 3 mm) para realizar la conexión del conductor. Para evitar cambios en las características resistivas del conductor (causados por oxidación principalmente), se recomienda soldar los extremos del alambre conductor al sensor.

En cuanto a la conexión del alambre al circuito electrónico, ésta se puede realizar de cualquiera de las tres formas mencionadas anteriormente (tornillos, conector, o soldada).

#### 5.2.1.3 El circuito impreso.

La recomendación IEC 79-11, en su inciso 6.6.1, especifica que la distancia mínima entre pistas de un circuito impreso destinado a satisfacer requisitos de seguridad intrínseca, debe ser de al menos 1 mm. Esta distancia se respetó en el diseño del circuito impreso.

#### 5.2.1.4 La cubierta del circuito electrónico.

La cubierta protectora del circuito electrónico se puede construir de diversos materiales, pero se prefiere una envolvente plástica por diversas razones, entre las que se encuentran costo, estética, etc. Independientemente del material utilizado, la cubierta debe cumplir con ciertas medidas de seguridad.

La recomendación IEC 79-8, en su inciso 6.8, estipula que de utilizarse una cubierta en material plástico, ésta debe tener adecuada resistencia mecánica, térmica y química.

Las pruebas con las que debe cumplir esta cubierta son principalmente:

##### A> Prueba de impacto.

Se requieren dos muestras, las cuales se probarán dos veces cada una, y en el mismo punto. Como esta cubierta se montará en locales cerrados (por ejemplo, en la cocina), las temperaturas extremas de prueba son de -7 °C a 50 °C.

Según IEC 79-8, inciso 22.4.3.1, para este tipo de cubiertas (clasificadas como grupo II normal), se les debe aplicar una energía de impacto de 7 Joules. El procedimiento de prueba indica dejar caer una pequeña pieza de acero endurecido, en forma de hemisferio de 25 mm de diámetro, de 1 kg de masa, y desde una altura de 0.7 m. El impacto debe aplicarse en el punto más débil de la cubierta.

La muestra se considera que pasa la prueba si no se daña la protección del instrumento. Se deben ignorar pequeños daños superficiales tales como fisuras, indentaciones, etc.

##### B> Prueba de estabilidad térmica.

Según IEC 79-8, inciso 22.4.6.2, la muestra debe permanecer 4 semanas a una temperatura de 20 °C por encima de la máxima temperatura de servicio (sin embargo, la temperatura mínima de prueba nunca será inferior a 80 °C), y a una humedad relativa de 90 %; también debe pasar 24 horas a una temperatura de -30 °C.

Se considera que la muestra pasa la prueba si no se altera la protección que proporciona.

##### C> Prueba de resistencia eléctrica.

Según IEC 79-8, inciso 6.3, la resistencia óhmica máxima

permisible de la cubierta es de 1 Gohm (esta prueba es con el objeto de asegurar la no existencia de chispas debidas a descargas electrostáticas en materiales aislantes).

Las recomendaciones aplicables a este instrumento, para confirmar una seguridad adecuada, son entre otras:

A> Según IEC 79-8, inciso 8.1: La tapa de la cubierta protectora de partes no aisladas, debe diseñarse de tal forma que solo se pueda retirar mediante la ayuda de herramienta.

B> De acuerdo a UL508, inciso 4.42: Cualquier ventana de observación debe asegurarse de tal forma que proporcione una adecuada protección mecánica, y debe ser de un espesor mínimo de 1.4 mm (el instrumento cuenta con una de estas ventanas, a través de la cual se puede ver el resultado reportado por el desplegador visual).

La cubierta puede o no aterrizarse. La recomendación IEC 79-14, inciso 14.1, estipula que el equipo eléctricamente aislado, que cuenta con seguridad intrínseca, puede o no aterrizarse (si se aterriza hay que tener cuidado en escoger una línea adecuada).

Por último, según IEC 529 y DIN 40 050, el grado de protección que presenta esta cubierta puede clasificarse como :

#### IP 40

Las letras IP significan índice de protección. El primer dígito corresponde a la clasificación de la protección contra contactos o ingreso de cuerpos sólidos extraños al interior del instrumento. El número cuatro corresponde a:

A> Protección contra el ingreso de cuerpos sólidos con un diámetro mayor a 1 mm (objetos granulares).

En cuanto al segundo dígito, éste corresponde a la clasificación de la protección contra el ingreso de agua.

El número cero equivale a:

0> Ninguna protección especial.

Por lo tanto, la cubierta no está diseñada contra el ingreso de agua. La razón de no proteger al circuito contra este elemento radica en la consideración de que la parte electrónica no permanecerá en la intemperie. Equipos similares al desarrollado en este proyecto utilizan el mismo índice de protección.



### 5.2.1.5 El sensor.

El sensor es el único elemento que no fue diseñado en el desarrollo de la presente tesis (v. 4.4.5.1.1). Este componente no puede ser modificado; esto por ningún motivo representa desventaja alguna, ya que el sensor utilizado cumple con todas las normas UL508 en su inciso 93 (cuenta con el sello UL); el diseño del instrumento se basó en los valores del transductor.

Según la recomendación IEC 79-14, en su inciso 14.11, aquellos componentes que no excedan los valores: 1.2 V, 0.1 A, 20 mJ, y 25 mW, se pueden considerar como intrínsecamente seguros, sin necesidad de que se les practiquen pruebas. El sensor presenta todos sus valores inferiores a los especificados anteriormente (si se alimenta el sensor por un tiempo superior a unos 2 segundos, se exceden los 20 mJ). Sin embargo, como se conecta a un circuito donde se exceden estos valores, es necesario verificar que se cumplan con los requisitos de seguridad correspondientes.

### 5.3 MARCADO DEL INSTRUMENTO

La recomendación IEC 79-0, en su inciso 25.2, señala que los equipos que se utilicen en atmósferas potencialmente explosivas deben tener impresas, principalmente, las siguientes características:

- 1> Marca o nombre del fabricante.
- 2> Identificación del fabricante.
- 3> Símbolo (tal como "i" (ia o ib) y/o "e") para distinguir el tipo de seguridad empleada.
- 4> Grupo de explosión, así como clase de temperatura.
- 5> Número de serie.
- 6> Nombre o marca del certificado que ampara al equipo; número del certificado + año.

Dentro de las características que se imprimirán en el instrumento, de llevarse a cabo su comercialización, se tienen:

- 3> Seguridades "ia", "e".
- 4> Grupo IIA, clase T2.
- 6> Norma NOM (identificación por determinarse una vez que se redacte la norma correspondiente).

#### 5.4 CONCLUSIONES SOBRE EL PRESENTE CAPITULO

Definitivamente es imposible crear un equipo que sea completamente seguro. Sin embargo, de la exposición presentada en este capítulo, queda claro que el instrumento desarrollado es sumamente seguro.

Nada es infalible, pero para que este instrumento pudiera causar una explosión en un tanque estacionario, se tendrían que conjugar una serie de factores:

1> Existencia de una gran fuga de gas L.P. en el tanque estacionario. La mezcla aire-gas debe tener una concentración adecuada.

2> Existencia de una fuente de ignición:

- a) Una temperatura elevada (superior a 300 °C).
- b) Una chispa. Si su energía proviene de una corriente, se requiere de más de 2 A.
- c) Cualquier otra fuente de ignición (una flama).

Para que ocurra una temperatura elevada en el sensor, sería necesaria la circulación de una gran cantidad de corriente a través de este transductor. Prácticamente es imposible alcanzar los 300 °C en el sensor sin que se queme; por otra parte, para que ocurra una corriente superior a 2 A en el sensor, es preciso que los siguientes elementos fallen:

- a) El fusible no corta a 250 mA.
- b) El regulador no se desconecta al conducir más de 1.5A.
- c) El CI LM358 (el de la fuente de corriente constante) falla y se pone en corto.
- d) Las resistencias R7 y R8 no limitan a la corriente.
- e) Los diodos rectificadores D2 y D3 se abren.

Obviamente, si intencionalmente se toman los cables del sensor y se conectan a una fuente de voltaje de valor elevado, definitivamente habrá peligro de explosión. Para

lograr esto, se tendría que cortar el cable, o abrir la cubierta del circuito electrónico y desprender los cables. Esta posibilidad de sabotaje no puede ser prevenida mediante ningún tipo de protección.

El medidor desarrollado se puede considerar que fué construido en apego a la seguridad intrínseca y a la seguridad aumentada.

Es intrínsecamente seguro pues la energía liberada por algún cortocircuito, apertura o puesta a tierra, ya sea durante la operación normal del circuito o en ciertas condiciones de falla, es inferior a la energía de ignición del gas L.P. Además, el calentamiento de cualquier componente, en la operación normal del instrumento es muy inferior a la temperatura máxima permisible para el gas L.P.

La categoría "ia" es aplicable al equipo desarrollado, pues el medidor es incapaz de causar la ignición durante su operación normal, o inclusive en el caso de la combinación de dos fallas, y además porque cuenta con un factor de seguridad superior a 1.5.

Por otro lado, el medidor también cuenta con protección aumentada "e", pues durante sus condiciones normales de servicio no provoca chispas, arcos eléctricos, o temperaturas inadmisibles.

Después de leído este capítulo, el autor espera que el lector comparta su confianza en la operación, prácticamente sin riesgos, del instrumento desarrollado.

## CONCLUSIONES

## " Conclusiones "

Con gran satisfacción presento esta Tesis Profesional, resultado de casi un año de esfuerzo y laborioso trabajo.

Durante las investigaciones y desarrollo de mi instrumento, me di cuenta de varias situaciones que me gustaría comentar a continuación:

Todo trabajo siempre es perfectible, y bajo este punto de vista, interminable. En efecto, a lo largo del desarrollo del proyecto, pensé en completar una serie de adiciones, simplificaciones y modificaciones; inclusive, una vez terminado el diseño del circuito, pensé en cambios adicionales. Estoy seguro que con el tiempo, y con el advenimiento de nuevos avances tecnológicos, pensaré en otras modificaciones. En general, ésto siempre se presenta en todo trabajo de diseño y desarrollo. Por lo tanto, al desarrollar un proyecto, siempre se deben establecer ciertos objetivos, así como el tiempo respectivo para alcanzarlos. En mi proyecto, cumplí con la mayoría de los objetivos planteados; me fijé como tiempo máximo un año.

El ingeniero siempre quiere utilizar los mejores materiales y componentes en el equipo que está desarrollando. Al inicio del proyecto, quise incorporar lo mejor (y por lo tanto, lo más costoso) a mi proyecto; poco a poco me di cuenta que la ingeniería es una balanza beneficio-costo, un compromiso entre los parámetros utilidad/funciones y precio. Las mejores opciones no necesariamente dan por resultado el mejor producto. Hay que cuidar la funcionalidad y la tecnología del equipo, pero siempre hay que tener muy presente el aspecto costo.

Dabo reconocer que aunque el precio final de mi instrumento no es elevado, tampoco se puede considerar como económico. Definitivamente tenía la idea de alcanzar un costo menor. No obstante, de fabricarse en gran escala, estoy seguro que el precio descenderá notablemente.

Con respecto a la industria mexicana y algunas situaciones que vive el país actualmente, me gustaría comentar lo siguiente:

Uno de los objetivos que me había planteado al inicio de esta tesis, era el de efectuar un estudio de mercado; busqué información en varias fuentes, entre las cuales estaban dos fábricas de tanques estacionarios, así como la Asociación

Nacional de Distribuidores de Gas, A. C.; en todas los lugares consultados se me informó que no existían estadísticas con respecto a número de tanques en operación, número de usuarios, etc. Las compañías distribuidoras de gas no hacen disponible la información que poseen. Me parece que esta información debería estar disponible en al menos la Asociación Nacional de Distribuidores de Gas A.C., pero no fué así.

Un aspecto algo desalentador que encontré en algunas empresas visitadas, es la notoria dependencia tecnológica que existe en muchas industrias de nuestro país; en efecto, en algunas fábricas visitadas me di cuenta de la falta de conocimiento profundo y detallado del producto que se fabrica. Creo que es deber de nosotros, la nueva generación de ingenieros que está emergiendo, colaborar para evitar ésto y lograr la independencia tecnológica tan necesaria de nuestro país.

Con respecto a las regulaciones y normas aplicables al instrumento que desarrollé, todas provienen del extranjero. En nuestro país todavía no existe algo parecido; de comercializar mi instrumento, tendré que desarrollar una norma que regule a este tipo de medidores.

Como anteriormente lo he mencionado, al inicio de este desarrollo me fijé muchas metas que convertían a mi instrumento en un proyecto sumamente ambicioso. Aunque ciertamente tuve que eliminar muchos objetivos por razones de costo, tiempo o prácticas, no puedo ocultar mi satisfacción por el producto final que obtuve. Espero que el instrumento que desarrollé se convierta muy pronto en una realidad. Confío en que este medidor tenga gran impacto y que sea de utilidad en mi país.

A medida que una persona se compenetra más y más en un tema, se da cuenta de los alcances de su ignorancia. Con respecto al tema de peligro de explosión, creo que ha quedado claro que las posibilidades de que ésta surja son limitadas, y que dependen de muchos factores. Espero que este trabajo haya contribuido a resolver dudas que la gente tiene con respecto a los posibles riesgos de que suceda una explosión.

Finalmente, debo agradecer a todas las personas que directa o indirectamente colaboraron al desarrollo de la presente Tesis Profesional. La gran mayoría de las personas consultadas fueron muy amables conmigo. El año que invertí en el desarrollo de esta tesis será definitivamente inolvidable.

México, muchas gracias por la oportunidad que me brindaste de desarrollar mi Tesis Profesional.

**APENDICES :**

## APENDICE A

### MEDICION DE NIVEL EN EL TANQUE DE UN CAMION REPARTIDOR DE GAS L.P.

La medición de nivel en un tanque de este tipo (cilíndrico) se efectúa mediante el método del flotador. Sin embargo, la disposición del ensamble para este caso es un tanto diferente a la analizada en 3.1.1.1.

En este ensamble, una esfera (flotador) está unida a una varilla, la cual a su vez está unida a un eje formando un ángulo de 90 grados con respecto a éste.

El eje se coloca en el tanque mediante soportes y chumaceras. En el extremo del eje se coloca una aguja montada sobre una escala graduada. De esta forma, el movimiento vertical del flotador se transmite en forma de movimiento giratorio en el eje, para finalmente, con una aguja montada sobre una escala graduada, proporcionar una medida del nivel del líquido.

El ensamble no cuenta con engranes, en contraste con el analizado en 3.1.1.1.

A este sistema se le denomina comunmente "tubo giratorio".

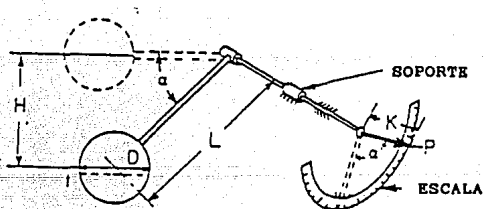


Figura A.1. Método del tubo giratorio para la medición de nivel.



## APENDICE B

ESPECIFICACIONES DE CIRCUITOS INTEGRADOS UTILIZADOS EN EL INSTRUMENTO Y ALAMBRE CONDUCTOR DEL SENSOR. DIAGRAMA GENERAL DEL MEDIDOR ELECTRONICO.

### EL CIRCUITO INTEGRADO 75492.

El 75492 es un manejador de corriente para LED; funciona como interfaz entre circuitos MOS y desplegados digitales LED de cátodo común. Debido a su capacidad de alta corriente de salida, son ideales en sistemas de multiplexado.

#### Especificaciones principales:

- Entradas compatibles con MOS.
- Bajo consumo de corriente en modo de espera.
- Seis circuitos darlington en cada CI.
- Capacidad de manejo de corriente (colector) 250 mA
- Capacidad de corriente (todos los colectores) 600 mA
- Voltaje de alimentación máximo 10 V
- Disipación total de potencia (máx.) 800 mA
- Temperatura de operación 0 °C a +70 °C

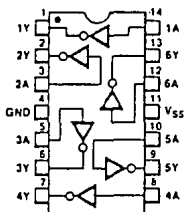


Figura B.1. Terminales del circuito integrado 75492.

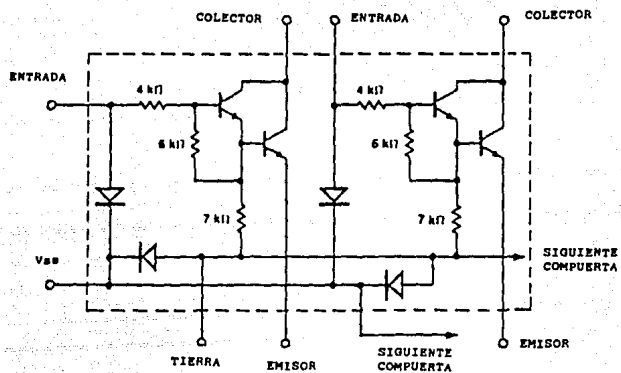


Figura B.2 Circuito equivalente del CI 75492.

## EL CIRCUITO INTEGRADO LM358.

El LM358 consiste en dos amplificadores operacionales independientes, de alta ganancia y compensados en frecuencia. Este circuito está diseñado especialmente para operar con una fuente de poder sencilla, en una gran variedad de voltajes. La corriente de drenado (muy baja) es prácticamente independiente de la magnitud del voltaje de alimentación.

Especificaciones principales:

- Ganancia de voltaje C.D.	100 dB
- Rango de alimentación	3 Vcd a 30 Vcd
Fuente sencilla	+/-1.5 Vcd a +/-15 Vcd
Fuente simétrica	
- Drenado de corriente	500 microA
- Discipación de potencia (máx.)	570 mW
- Corriente de corto circuito (máx.)	60 mA
- Temperatura de operación	0 °C a +75 °C

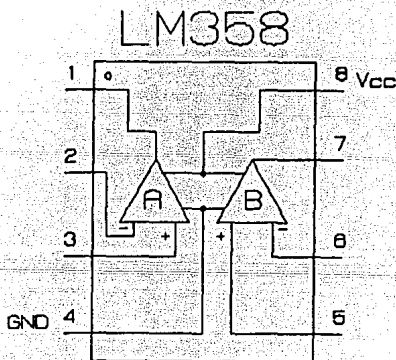


Figura B.3. Terminales del circuito integrado LM358.

## EL DESPLEGADOR DIGITAL MAN6440.

Se trata de un desplegador de dos dígitos a base de diodos emisores de luz (LED), configurados en cátodo común. El modelo incluye puntos decimales a la derecha de cada dígito.

### Características principales:

- Dígitos grandes, fáciles de leer
- Sus características de conmutación lo hacen ideal para aplicaciones de multiplexado
- Bajo consumo de corriente
- Componente de estado sólido - larga vida de operación
- Alta brillantez con alto contraste
- Corriente continua máxima 30 mA @ 2.2 V
- Disipación de potencia (máx.) 1140 mW
- Temperatura de operación -40 °C a +85 °C
- Intensidad luminosa 510 microcd @ 10 mA

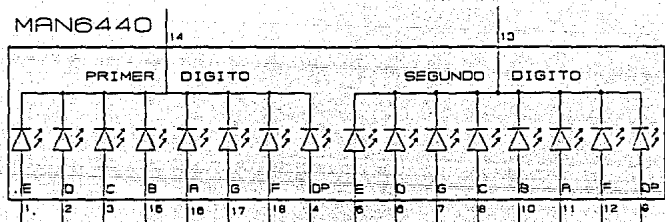


Figura B.4. Terminales del circuito integrado MAN6440.

## EL REGULADOR DE VOLTAJE LM340.

Este regulador presenta una operación superior a la que se obtiene con el regulador 7805. Este circuito tiene una tolerancia de voltaje de salida de  $\pm 2\%$ , con una regulación de línea de  $0.01\%/V$ , así como con una regulación de carga de  $0.3\%/A$ .

El circuito presenta protección para corriente máxima. Si la disipación interna de potencia excede cierto valor, el circuito termal de corte abre la salida.

### Especificaciones principales:

- Limitador interno de corriente de corto-circuito (LM340T) 1.5 A
- Disipación máxima de potencia (LM340T) 7.5 W
- Voltaje máximo de entrada 35 V
- Temperatura de operación  $0^{\circ}C$  a  $+70^{\circ}C$

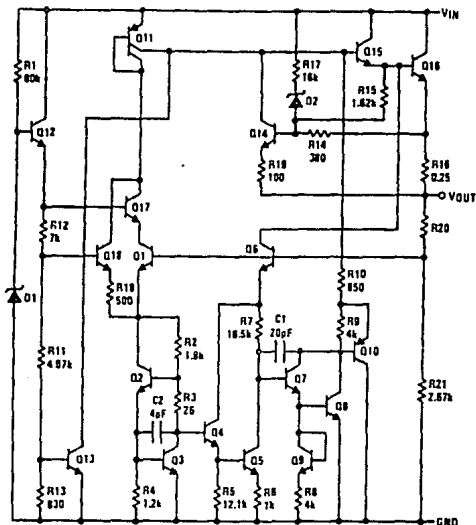


Figura B.5. Circuito equivalente del LM340.

EL ARREGLO RESISTIVO RESNET 699.

Es un arreglo de resistencias que se encuentran en un encapsulado epóxico

**Especificaciones principales:**

- |                                       |                |
|---------------------------------------|----------------|
| - Número de terminales                | 16             |
| - Rango óhmico                        | 22 - 100 Kohms |
| - Tolerancia                          | +/- 1%         |
| - Coeficiente de temperatura (PPM/°C) | +/- 50         |
| - Máxima tensión de operación         | 100 Vcc        |

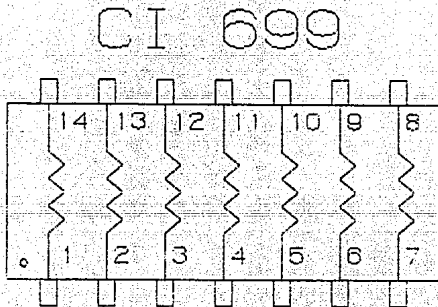
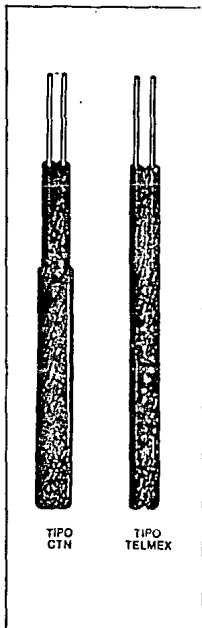


Figura B.6. Terminales del CI RESNET 699.



## CONDUMEX

CORDONES TELEFONICOS PARALELOS  
PARA ACÓMETIDA EXTERIOR



### DESCRIPCION:

Tipo TELMEX: Dos alambres de cobre duro electroliticamente puro, aislados paralelamente con PVC semirigido en color negro.

Tipo CTN: Dos alambres de bronce 55, o cobre duro, aislados individualmente con PVC negro, reunidos en forma paralela y cubierta exterior de PVC negro.

### APLICACION:

Interconexión entre caja terminal en poste o edificio y red local de abonado.

### PROPIEDADES:

Ligeros y buenas características mecánicas.

### ESPECIFICACIONES:

TELMEX 266300-5 y CTN-Condumex.

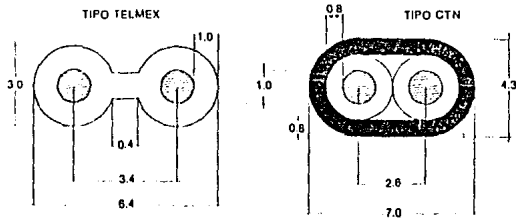
### CALIBRES:

1.024 mm (18 AWG)

**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS:**

TIPO CORDON	RESISTENCIA OHMICA MAX. CON C. D. A 20°C (ohm/Km)	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO MINIMA A 20°C (Megohms-Km)	CAPACIDAD MUTUA MAXIMA (nF/Km)	PRUEBA ALTO VOLTAJE SIN FALLAR (VOLTS C.A.)
TELMEX	22.2	121	100	1500
CTN	40	121	100	1500

**CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS**



Anotaciones en mm

CORDON TIPO	PESO NETO APROX. (Kg/Km)	LONGITUD NORMAL* EMBARQUE (m)
TELMEX	35	500
CTN	48	500

\* Longitud mínima aceptable es 160 m.

Los datos anteriores son aproximados y están sujetos a tolerancias normales de manufactura.

**DATOS PARA PEDIDO:**

Cordón paralelo acometida tipo TELMEX o CTN y longitud en metros

**REGISTROS:**

EN

Para cualquier consulta adicional favor de comunicarse con nuestro Departamento Técnico





APENDICE C

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-X-6-1987: INDICADORES DE NIVEL DE GAS LICUADO DE PETROLEO Y AMONIACO ANHIDRO.



SECRETARIA DE COMERCIO  
Y  
FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA OFICIAL MEXICANA  
NOM-X-6-1987

INDICADORES DE NIVEL DE GAS LICUADO DE  
PETROLEO Y AMONIACO ANHIDRO

LEVEL INDICATORS OF LIQUEFIED PETROLEUM  
GAS AND ANHYDROUS AMMONIA

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

**P R E F A C I O**

**En la elaboración de esta Norma participaron las siguientes Instituciones:**

- **HEBIDORES INTERNACIONALES ROCHESTER, S.A. de C.V.**
- **CHS INTERNACIONAL, S.A. de C.V.**



**NORMA OFICIAL MEXICANA**  
**INDICADORES DE NIVEL DE GAS LICUADO DE**  
**PETROLEO Y AMONIACO ANHIDRO**  
**LEVEL INDICATORS OF LIQUEFIED PETROLEUM**  
**GAS AND ANHYDROUS AMMONIA**

NOM-X-6-1987

La Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, con fundamento en los artículos 10., 20., 40., 23 inciso c), 28 y demás relativos de la Ley General de Normas y de Pesas y Medidas; 55 del Reglamento de la Distribución de Gas; 90. y 21 fracciones I y XII del Reglamento Interior de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y 40. fracción X inciso a) del Acuerdo que adscribe unidades administrativas y delega facultades en los Subsecretarios, Oficial Mayor Directores Generales y otros subalternos de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, publicados estos dos últimos ordenamientos en el Diario Oficial de la Federación de 20 de agosto y 12 de septiembre de 1985, respectivamente, expide la siguiente:

**NORMA OFICIAL MEXICANA: NOM-X-6-1987 "INDICADORES DE NIVEL DE GAS LICUADO DE PETROLEO Y AMONIACO ANHIDRO".**

**1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION**

Esta Norma Oficial Mexicana, establece las especificaciones y métodos de prueba que deben cumplir los indicadores de nivel de la fase líquida del gas L.P. o de amoníaco anhidro, que se instalan en los recipientes de almacenamiento de dichos fluidos.

**2 REFERENCIAS**

Para la correcta aplicación de esta Norma se deben consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

- NOM-Z-12** Muestreo para inspección por atributos.
- NOM-D-122** Determinación de la resistencia a la corrosión de partes metálicas empleadas en vehículos automotores (método de niebla salina).
- NOM-X-11** Funcionamiento de reguladores de baja presión para gas licuado de petróleo.

**Referencias**

La Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial aprobó la presente Norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el

17 DE 1987

**Autores encargados**

**ESTA NORMA CANCELA:**  
**NOM-X-6-1986.**

**3 DEFINICIONES**

Para efectos de esta Norma se establece lo siguiente:

**3.1 Indicador de nivel**

Dispositivo mecánico de acción manual o automática, el cual indica la relación porcentual entre el volumen de líquido total de un recipiente y el nivel en que se encuentra la fase líquida del gas almacenado.

**4 CLASIFICACION****4.1 Los indicadores que cubre la presente Norma se clasifican en dos tipos y un solo grado de calidad.****4.1.1 TIPO I: Indicador de nivel de tipo flotador con carátula de transmisión magnética.****4.1.2 TIPO II: Indicadores de tubo giratorio****5 ESPECIFICACIONES****5.1 TIPO I****5.1.1 Carátula**

Las partes y componentes de la carátula deben ser de materiales que garanticen que sean resistentes a la corrosión del medio ambiente y debe comprobarse según lo indicado en 7.4.6

**5.1.2 Hermeticidad**

El diseño de la carátula debe ser tal que impida la entrada de agua a su interior, cuando se pruebe de acuerdo a lo indicado en el inciso 7.3.1

**5.1.3 Liberalidad de la aguja**

La aguja debe desplazarse sin presentar resistencia al girar, cuando se someta a la prueba indicada en 7.3.2

**5.1.4 Línea de indicación**

El ancho de los trazos debe ser igual al ancho de la punta de la aguja indicadora.

**5.1.5 Aguja indicadora**

La punta de la aguja indicadora debe llegar por lo menos al inicio del trazo mas corto de la graduación.

**5.1.6 Inicio de la graduación**

El inicio de graduación debe ser al 5% de la capacidad total de llenado.

**5.1.7 Alcance máximo de indicación**

El alcance máximo de indicación debe ser al 95% de la capacidad total de llenado.

**5.1.8 División de graduación**

Los valores de las divisiones de graduación deben ser: iniciando al 5%, pasando a 10% y de 10 en 10 hasta 90% terminando en 95%.

**5.1.9 Visibilidad**

El indicador debe proporcionar visibilidad del porcentaje de volumen del tanque, a una distancia mínima de 30 cm en condiciones normales de lectura.

**5.1.10 Intercambiabilidad**

La carátula debe ser intercambiable. El diseño de intercambiabilidad debe ser tal que al retirar la carátula del cuerpo del indicador, no sea necesario retirar del tanque todo el indicador y provocar fuga del fluido.

5.1.11 Indicación de máximo llenado a temperatura del líquido.

El indicador debe indicar el máximo llenado en función de la temperatura ambiente del líquido.

5.1.12 Cabeza

La cabeza del indicador debe ser de una sola pieza y construída en materiales que no sean susceptibles a corrosión y a la acción del gas L.P., y debe soportar la prueba indicada en 7.4.6

5.1.13 Hermeticidad

La cabeza del indicador debe ser completamente hermética y no debe permitir fuga del fluido (debe cumplir con la prueba indicada en 7.3.3)

5.1.14 Ensamble al tanque

El ensamble de la cabeza del indicador con la brida del tanque, debe ser tal que tenga un empaque elástico que no permita fugas del fluido. En el caso del indicador del tipo II, éste se ensambia roscando al cuerpo a un niple instalado en el tanque, la cuerda debe ser del tipo NPT.

5.1.15 Empaque

El empaque debe ser resistente a la exposición de gas L.P. y al medio ambiente. Debe comprobarse de acuerdo a lo indicado en 7.3.5

**5.1.16 Tubo de soporte**

Debe ser de un material resistente a la acción del gas L.P. en que va a estar sumergido y a la corrosión, el tubo debe ser sin costura en su interior, no debe tener deformaciones, abolladuras o alteraciones que impidan el libre giro del eje y debe comprobarse según lo indicado en 7.3.5

**5.1.17 Elementos de la transmisión**

Los materiales de las partes componentes del sistema de transmisión, los ejes y caja, deben ser resistentes a la corrosión de los gases licuados, libres de deformaciones, cuarteaduras o alteraciones que impidan su funcionamiento. La transmisión debe funcionar libremente dentro de sus límites de operación sin presentar oposición al movimiento del flotador en toda su carrera, deben estar diseñados de tal forma que con su funcionamiento normal, no se atoren o desalinen, debe comprobarse según lo indicado en 7.3.5

**5.1.18 Eje de transmisión**

El eje debe ser de un material que resista la fricción y la corrosión e ir soportado en guías que conserven su rectitud, debe comprobarse según lo indicado en 7.3.5

**5.1.19 Flotador**

Los materiales que componen el flotador, deben ser resistentes a los gases licuados, libres de deformaciones o alteraciones que impidan su funcionamiento, debe comprobarse según lo indicado en 7.3.5

**5.1.20 Bulbo flotador**

El bulbo del flotador debe ser hermético, sin porosidades al someterlo a la prueba indicada en 7.3.4 y 7.3.5 y no se debe colapsar al someterlo a la prueba hidrostática indicada en 7.3.6



**5.1.21 Brazo y contrapeso del flotador**

El brazo y el contrapeso del flotador deben estar dimensionados de acuerdo al tipo y diámetro del tanque.

**5.1.22 Calibración**

El indicador se calibrará correspondiendo al 50% de la indicación de la carátula, con el punto medio del giro del flotador.

**5.2 Especificaciones para el tipo II****5.2.1 Carátula**

La carátula debe ser de un material que garantice su resistencia a la acción del gas L.P. y a la corrosión del medio ambiente y tener una graduación clara, nítida y duradera - que permita leer los porcentajes de llenado que marque el indicador a una distancia mínima de 30 cm.

Las partes metálicas que componen el cuerpo del indicador de nivel y que deben ser de acero, deberán llevar un recubrimiento propio para evitar la corrosión de los gases líquidos así como la del medio ambiente; este recubrimiento puede ser cadmio, cromo, pintura o cualquier combinación - de éstos, dependiendo de su diseño, además deberán resistir las pruebas indicadas en 7.4.1, 7.4.2, 7.4.3 y 7.4.6.

Todas las empaquetaduras deberán ser de un material que no se distorsione, sufra deformaciones o deterioro, tales como grietas, corrosión o deformaciones bajo condiciones normales de servicio, cuando se sometan a la prueba indicada en 7.4.7.

Las partes soldadas dentro de un indicador de nivel deberán hacerse de tal forma que resistan un torque de 4.9 N-m (0.5 kg-m), verificándose con lo indicado en el inciso 7.4.5

5.2.2 Intercambiabilidad

El indicador deberá estar diseñado de tal forma que una vez instalado permita el intercambio de las partes exteriores del mismo sin riesgo para el usuario, siempre y cuando el tanque se encuentre vacío.

5.2.3 Ensamble

Los indicadores de nivel deberán ensamblarse de tal manera que todas sus piezas coincidan perfectamente, permitiendo así una óptima operación.

El indicador de nivel deberá permitir un giro de 360° sin presentar obstrucción alguna para ello.

Los indicadores rotatorios de nivel deben ser instalados en cualquier parte del plano horizontal que pasa por el eje central del tanque.

5.2.4 Todos los componentes del indicador deberán soportar, instalados en el tanque de almacenamiento, la presión del gas L.P., cuando se sometan a la prueba indicada en 7.4.3

6 MUESTREO

Cuando se requiera de un muestreo, Este se efectuará de acuerdo entre productor y comprador, recomendándose la aplicación de la Norma NOM-Z-12 vigente. Para efectos oficiales, el muestreo estará sujeto a las disposiciones reglamentarias de la dependencia oficial que efectúa la inspección.

7 METODOS DE PRUEBA GENERALES

Las especificaciones contenidas en esta Norma se verificarán de acuerdo con los métodos de prueba siguientes:

**7.1 Inspección visual y/o manual**

Esta verificación debe llevarse a cabo para las especificaciones indicadas en los incisos (para el tipo I): 5.1.4; 5.1.5; 5.1.6; 5.1.7; 5.1.8; 5.1.9; 5.1.10; 5.1.11; 5.1.22; 5.2.1; 5.2.2 y 5.2.3

**7.2 Expresión de resultados**

- 5.1.4 Se indica si el ancho de los trazos es menor que el ancho de la punta de la aguja indicadora.
- 5.1.5 Se verifica si la punta de la aguja indicadora llega al inicio del trazo más corto de la graduación.
- 5.1.6 Se indica si el inicio de la graduación es el 5% de la capacidad total de llenado.
- 5.1.7 Se anota si el alcance máximo de graduación es de 95% de la capacidad de llenado.
- 5.1.8 Se indica si los valores de las divisiones de graduación van de 10 en 10.
- 5.1.9 Se anota si las indicaciones de la carátula son visibles a 30 cm de distancia mínima.
- 5.1.10 Se indica si la carátula es intercambiable.
- 5.1.11 Se anota si indica la escala de temperatura de máximo llenado.
- 5.1.22 Se indica si el punto medio de giro del flotador, el indicador señala el 50%.
- 5.2.1 Se anota si el material es resistente a la corrosión y se toma nota de la graduación si es nítida clara y se puede ver a una distancia mínima de 30 cm. Se anota si las partes metálicas están protegidas con cromo, cadmio, pintura o una combinación de ellos (para el tipo II).
- 5.2.2 Se verifica anotando si las partes exteriores del indicador son intercambiables (para el tipo II).

- 5.2.3 Se anota si el indicador está correctamente ensamblado. Se indica si el indicador gira 360° sin obstrucción (para el tipo II).

7.3 Métodos de prueba para los indicadores del tipo I

7.3.1 Hermeticidad de la carátula

Aparatos y equipo

- Cámara de presión hidrostática para 98.10 kPa (1 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Manómetro
- Cronómetro
- Azul de metileno

Procedimiento

Se llena la cámara de presión con agua coloreada con azul de metileno y en ella se sumerge la carátula, se cierra y se eleva la presión a 98.10 kPa (1 kgf/cm<sup>2</sup>) por espacio de 60 segundos.

Resultados

No debe existir ninguna señal de colorante de azul de metileno en el interior de la carátula a temperatura ambiente.

7.3.2 Liberalidad de la aguja indicadora

Aparatos y equipo

- Dispositivo que haga girar continuamente la aguja indicadora a una velocidad de 15 r.p.m.
- Cronómetro

Procedimiento

Se acopla la carátula al dispositivo de rotación y se acciona por espacio de 60 segundos.

**Resultados**

Al hacer girar la aguja indicadora, ésta debe girar libremente.

**7.3.3 Hermeticidad de la cabeza del indicador.**

**Aparatos y equipo**

- Sistema neumático capaz de proporcionar una presión de 1372 kPa (14 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Depósito con agua
- Cronómetro

**Procedimiento**

Se acopla la cabeza del indicador al sistema neumático y se sumerge en el depósito con agua y se incrementa la presión de aire hasta alcanzar una presión de 1372 kPa (14 kgf/cm<sup>2</sup>), manteniendo esta presión durante 60 segundos.

**Resultados**

Al alcanzar y mantener la presión indicada durante el tiempo estipulado, no se deben presentar burbujas en el agua.

**7.3.4 Hermeticidad del bulbo**

**Aparatos y equipo**

- Tina de calentamiento para 120°C
- Calentador
- Aceite que alcance una temperatura de 120°C sin ebullición
- Cronómetro
- Termómetro con alcance de medición de 200°C

**Procedimiento**

Se pone el aceite en la tina y se calienta a 120°C, armado el bulbo con el brazo y se sumerge en el aceite caliente - durante 2 minutos.

**Resultados**

Al estar sumergido completamente el flotador durante 2 minutos en el aceite caliente, no se deben presentar burbujas.

**7.3.5 Resistencia del empaque, tubo de soporte, elemento de la transmisión.**

**Aparatos y equipo**

- Recipiente para gas L.P. de 3 litros como mínimo
- Gas L.P.

**Procedimiento**

Se introduce el empaque en el recipiente y se llena con el gas L.P., dejándolo 96 horas.

**Resultados**

Después de 96 horas de exposición en gas L.P., el empaque no debe presentar deterioros tales como grietas, corrosión y deformaciones.

**7.3.6 Prueba del flotador**

Esta prueba es para fines de auditoría, por parte de la Dirección General de Normas.

**Procedimiento**

Los flotadores se someten a una presión hidrostática externa de 4410 kPa (54 kg/cm<sup>2</sup>), en cámara cerrada durante un lapso de 3 segundos.

**Resultado**

Los flotadores no deben presentar deformaciones

**7.4 Métodos de prueba para los indicadores del tipo II**

**7.4.1 Prueba de hermeticidad (1a. parte)**

**Procedimiento**

Se conecta(n) al aparato de prueba por la parte del tubo - conductor el o los indicadores en posición cerrada, en estas condiciones se le(s) somete a una presión neumática de 607 kPa (7 kgf/cm<sup>2</sup>). A continuación se le aplica a todo - el indicador solución jabonosa.

**Resultados**

Se verifica y anota que no existan fugas a través de todo - el tubo conductor.

**7.4.2 Prueba de hermeticidad (2a. parte)**

**Procedimiento**

Se conecta(n) al aparato de prueba por la parte del cuerpo conector el o los indicadores en posición cerrada, en estas condiciones se le(s) somete a una presión neumática de 607 kPa (7 kgf/cm<sup>2</sup>); a continuación se le aplica una película de solución jabonosa en toda la parte del cuerpo conector.

**Resultados**

Se verifica y anota que no existan fugas a través de cualquier parte del ensamble del cuerpo conector.

**7.4.3 Prueba hidrostática**

**Procedimiento**

Terminada la prueba de hermeticidad, el o los indicadores de nivel, se someten a una presión hidrúlica de 2746 kPa (28 kgf/cm<sup>2</sup>), a través del tubo de inmersión y con la vólvula de purga en posición cerrada.

**Resultados**

El o los indicadores de nivel no deberán presentar fugas, deformaciones permanentes ni mal funcionamiento después de esta prueba.

**7.4.4 Prueba del torque mínimo****Procedimiento**

En las condiciones del inciso 7.4.2, el indicador es sometido a un torque de 4.9 N-m (0.5 kg-m), aplicado en la palanca indicadora.

**Resultados**

Se verifica y anota que al aplicar un torque de 3.9 N-m (0.4 kg-m), el indicador no debe girar y empezará a hacer lo cuando se aplique un torque de 4.9 N-m (0.5 kg-m), con una tolerancia en ambos casos de  $\pm 15\%$ .

**7.4.5 Prueba de torque para los cordones de soldadura****Procedimiento**

En las condiciones del inciso 7.4.1, el indicador es sometido a un torque de 4.9 N-m (0.5 kg-m), aplicado en la palanca indicadora.

**Resultados**



El o los cordones de soldadura no deben presentar cuartas duras o indicios de éstas, además se verifica que por entre ellos no existan fugas, para lo cual se utiliza solución jabonosa, comprobándose lo indicado en 7.4.1

**7.4.6 Prueba de niebla salina**

Esta prueba se efectúa una sola vez, siempre y cuando el fabricante demuestre que utiliza los mismos materiales.

Esta prueba se debe efectuar nuevamente si existe cambio de materiales.

Esta prueba debe realizarse de acuerdo a lo indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-D-122 vigente, con una duración de 48 horas.

**Resultados**

Los componentes no deben presentar signos de oxidación y - corrosión roja.

**7.4.7 Variación de volumen y pérdida de peso para materiales flexibles.**

**Procedimiento**

Esta prueba debe realizarse de acuerdo a lo indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-X-11 vigente, con la salvedad de que cuando el indicador sea para ser usado con amoníaco anhidro, se debe usar amoníaco; si el indicador se usa indistintamente para amoníaco y gas L.P., se deben usar ambos líquidos en la prueba.

**8 MARCADO**

Los indicadores a que se refiere esta Norma, deben llevar marcado en forma legible e indeleble los siguientes datos:

- 8.1 En la cabeza del indicador (para el tipo I)
- Logotipo del fabricante
  - Fecha de fabricación (mes y año)
  - Modelo
  - El símbolo de autorización, otorgado por el Sello Oficial de Garantía (NOM)
- 8.2 En el cuerpo del indicador (para el tipo II)
- Fecha de fabricación (mes y año)
  - Número de serie
- 8.3 En la carátula (para el tipo I)
- Nombre y razón social del fabricante
  - La leyenda "Hecho en México"
  - La leyenda porcentaje de capacidad total
  - El símbolo de autorización otorgado por el Sello Oficial de Garantía (NOM)
- 8.4 En la carátula (para el tipo II)
- Nombre o razón social del fabricante
  - La leyenda "Hecho en México"
  - Indicación del porcentaje máximo de llenado

- Símbolo de autorización otorgado por el Sello Oficial de Garantía (NOM)

9 ENVASE Y EMBALAJE

Todo indicador debe estar contenido en envases y embalajes contruidos de tal manera que garanticen seguridad al instrumento en su transportación, manejo y almacenamiento.

10 OBSERVANCIA OBLIGATORIA DE ESTA NORMA

De conformidad con el artículo 55 del Reglamento de la Distribución de Gas, la presente Norma es de carácter obligatorio, como han sido todas aquellas expedidas para el equipo, manejo y uso del gas L.P. Por consiguiente, los indicadores a que se refiere esta Norma deberán cumplir invariablemente con las especificaciones establecidas en la misma, pues solo podrá permitirse el uso de aquellos que cumplan dichas especificaciones, independientemente de que los consumidores tienen derecho cuando se trata de normas de carácter obligatorio, como la presente, a que los productos sean precisamente de la calidad inherente a norma obligatoria.

México, D.F., a 17 FEB 1987

EL DIRECTOR GENERAL DE NORMAS

LIC. CONSUELO SAEZ PUEYO.

JMS/CRO/JCM/rat.

## BIBLIOGRAFIA

**BIBLIOGRAFIA :**

Process instruments and controls handbook.  
Douglas M. Considine. 2a. ed., Editorial  
McGraw-Hill. EE.UU., 1974.

Data conversion/acquisition databook. National  
Semiconductor. Edición 1984. EE.U.U.

Conceptos Fundamentales de la Protección  
contra Explosión. Manual elaborado por  
Brown Boveri. México, 1987. 92 pp.

Explosion protection acc. to European standards.  
Elaborado por Brown Boveri. R.F.A., 1987.  
51 pp.

Bases generales del diseño de instalaciones de  
gas. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial  
México, D.F., 1978. 72 pp.

Level measurement. Manual elaborado por  
Endress+Hauser. R.F.A., 1987. 42 pp.

Electrical apparatus for explosive gas atmospheres.  
Part 8: General requirements. IEC Standard,  
publication 79-8. 2a. ed., International  
Electrotechnical Commission. Génova, Suiza, 1983.

Electrical apparatus for explosive gas atmospheres.  
Part 7: Construction and test of electrical  
apparatus, type of protection "e". IEC Standard,  
publication 79-7. 1a. ed., International  
Electrotechnical Commission. Génova, Suiza, 1969.

Electrical apparatus for explosive gas atmospheres.  
Part 10: Classification of hazardous areas. IEC  
Standard, publication 79-10. 2a. ed., International  
Electrotechnical Commission. Génova, Suiza, 1983.

Electrical apparatus for explosive gas atmospheres.  
Part 11: Construction and test of intrinsically-safe  
and associated apparatus. IEC Standard, publication  
79-11. 2a. ed., International Electrotechnical  
Commission. Génova, Suiza, 1984.

Electrical apparatus for explosive gas atmospheres.  
Part 14: Electrical installations in gas atmospheres  
(other than mines). IEC Standard, publication 79-14.  
1a. ed., International Electrotechnical Commission.  
Génova, Suiza, 1984.

Standard for safety: Industrial control equipment.  
UL 508. Underwriters Laboratories, Inc., 14ta. ed.,  
EE.UU., 1984.

Introduction to the principles of explosion  
protected electrical switchgear and plant.  
Stahl 1 Elektronik. R.F.A., 1980

Intrinsically safe electronic modules.  
Stahl 8 Elektronik. R.F.A., 1987.

Precisión, S.A. Catálogo General.  
México, D.F., 1987. 32 pp.

Electrónica. Teoría de circuitos.  
Robert Boylestad, Louis Nashelsky. 1a. ed.,  
Editorial Prentice-Hall. México, 1982.  
784 pp.

Indicadores de nivel de gas licuado de  
petróleo y amoníaco anhidro. Norma Oficial  
Mexicana, NOM-X-6-1987. Dirección general  
de normas. México, 1987. 16 pp.

Mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas que colaboraron al desarrollo de esta tesis:

Sr. Salvador Arreola  
Lic. Legaspi  
Ing. Jorge Gobeia  
Sr. Florentino Hernández  
SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

Ing. Benjamin Arellano  
INFOTEC

Ing. Romeo Rodríguez  
CHRYSLER DE MEXICO, S.A. DE C.V.

Ing. Jorge Pedrero  
Ing. Miguel Calderón  
Sr. Marcos Muratalla  
GENERAL MOTORS DE MEXICO, S.A. DE C.V.

Ing. Victor Manuel Alcaraz  
Ing. Victor Manuel Vázquez  
TANQUES DE ACERO TRINITY, S.A. DE C.V. (TATSA)

Ing. Javier Montejano  
AMPERE, S.A.

Ing. Pedro Echeverría  
MEDIDORES INTERNACIONALES ROCHESTER, S.A. DE C.V.

Sr. Raúl Gómez  
GAS SATELITE, S.A. DE C.V.

Ing. Roberto E. González  
ELECTRONICA NATIONAL SEMICONDUCTOR DE MEXICO, S.A.

Ing. Vicente Robles  
DIELEKTRA, S.A.

Ing. José Cruz Jiménez  
INDUSTRIAS CONELEC, S.A.

Ing. Victor López  
CONDUTEL, S.A.

Ing. Francisco Ramirez Cuevas  
CONDUMEX, S.A.

Ing. Gregorio Hernández  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS

Ing. Edgar Martínez  
ASOCIACION NACIONAL DE DISTRIBUIDORES DE GAS, A.C.



**Ing. Alfonso Ortega.**  
**PRESICION, S.A.**

**METALICOS ARMEBE, S.A.**

**NOTAS I**

**TESIS PROFESIONALES**  
**TESIS PROFESIONALES**

**Mecanografía e Impresión**

**Campeche No. 156, Col. Roma**  
**México, D. F. 06700**

**564-3954 y 584-8153**