



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ELECTROFORESIS  
PARA DESESTABILIZAR EMULSIONES AGUA EN  
ACEITE MEDIANTE COALESCENCIA A FRECUENCIA  
Y POTENCIAL VARIABLE.

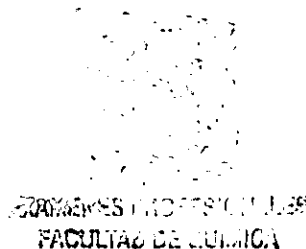
TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

ADRIÁN BARRIOS MARTÍNEZ



*[Firma manuscrita]*



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

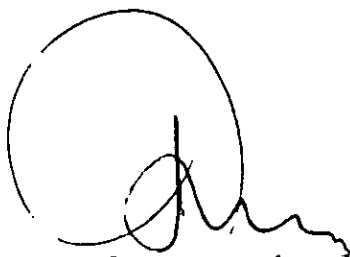
**JURADO ASIGNADO:**

Presidente	Prof. SILVIA LILIA TEJADA CASTAÑEDA.
Vocal	Prof. SERGIO TREJO MARTÍNEZ.
Secretario	Prof. CARLOS MAURICIO CASTRO ACUÑA.
1er. Suplente	Prof. AMANDO JOSE PADILLA RAMIREZ.
2do. Suplente	Prof. AURORA DE LOS ANGELES RAMOS MEJIA.

**Sitio donde se desarrolló el tema:**

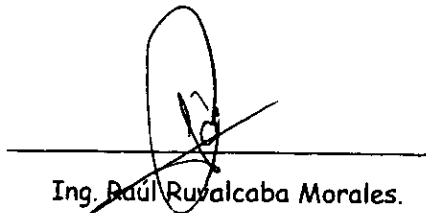
Laboratorio 222 del conjunto E de la facultad de Química y  
Laboratorio de electrónica del Centro de Instrumentos, en ciudad universitaria UNAM.

**Asesor del tema:**



Dr. Sergio Trejo Martínez.

**Supervisor técnico:**



Ing. Raúl Ruvalcaba Morales.

**Sustentante:**



Adrián Barrios Martínez.

## AGRADECIMIENTOS:

A dios (Jehová) por darme la vida y por darme tantas bendiciones...

A la UNAM por permitirme ser parte de ella y a la Facultad de Química por darme una formación profesional.

Al Dr. Sergio Trejo Martínez por su amistad y apoyo en la realización de esta tesis.

Al Ing. Raúl Rubalcava Morales y al Centro de calibración de equipo e instrumentos, por su apoyo y amistad durante la realización de la tesis.

## DEDICATORIAS:

A mis padres, por su amor, ayuda, comprensión y apoyo incondicional a través de toda mi vida. Por que los valores que me permiten seguir adelante los aprendí de ustedes gracias!!

A mis hermanos Araceli, Damaris, Esther, David y Magdalena, por su cariño alegría y su apoyo incondicional, este logro va por ustedes.

A mis Tíos Fernando y Felisa por su interés en mí, por su cariño, apoyo y por llenar mi infancia de alegría.

A mi Tíos Juana y Joaquín por su gran cariño y alegría que me impulsa a seguir adelante.

A mis tíos Angela y Wenceslao por su interés en mi.

A mi primo Víctor porque a través de mi vida es como otro hermano y a su esposa Alejandra Bienvenida a la familia.

A toda mi familia que siempre a estado ahí, en los momentos difíciles y en los momentos alegres en especial a las familias:

Barrios Salcedo  
Ortíz Barrios  
Chavez Barrios  
Martínez Pérez  
Martínez Baranda

Que sigamos apoyándonos como hasta ahora y que estos momentos nos sirvan para estar más unidos.

A la memoria de mi Abuela Juana Martínez B. y de mi tío Raymundo Martínez G. Por el cariño que me brindaron y por su valor para enfrentar la vida...los extraño.

A mis amigos de siempre:

**Moisés Martínez Figueroa**

**Sergio Carpinteiro M.**

**Israel Cazares**

**Cesar flores R.**

**Laura García**

**Adriana Arzate**

**Mónica García I.**

**Alejandra García I.**

A mis amigos del Gpo. 9:

Olga N. Pérez Quiroz, Norma Marquez González, Patricia(Chiquis) , Gabriel, Paty H., Sandra G. Y Alejandra.

A mis amigos:

Federico P. Cesar R. Miguel C. Alejandro R. Abigail N. Mónica B. Elisa M. Alfonso H. Por compartir su alegría en la facultad.

A Juan Rojas León que resulto ser un gran amigo, gracias por tu amistad y apoyo.

A mi amigo Israel González Bonifacio por su alegría y por compartir grandes momentos que hicieron de mi estancia en la facultad algo inolvidable.

En especial a Sandra E. Sánchez Chavez por brindarme tu amistad, cariño y apoyo tan especial, Gracias por ser mi amiga.

A Angeles B. M. Por la confianza y el cariño que me has brindado en tan poco tiempo.

A Mis amigos del Instituto de Ingeniería y Maestría:

**Reynaldo C. Vicente Q. Raquel M. Rosario G. Francisco A. Wilson M.**

A mis amigos:

**Cesar D. Gabriel B. Gerardo...**

A mis amigos del CCH 1:

Lourdes M. Roberto, Jorge, Marco Antonio, Francia Y Olivia....

En general a todos los que han confiado en mi y que de alguna manera ayudaron a mi formación....

## **ÍNDICE**

### **Capítulo I**

<b>1.1 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 ESTRATEGIA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 ALCANCES .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 PROPUESTA DE TRABAJO. ....</b>	<b>4</b>

### **Capítulo II**

<b>2.1 HIDRÓLISIS DE SALES EN EL CRUDO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 TIPOS DE SEPARACIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 EFECTO DEL CAMPO ELÉCTRICO.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 COALESCENCIA .....</b>	<b>9</b>
<b>2.5 FUENTES DE ALIMENTACIÓN Y AMPLIFICADORES DE POTENCIA .....</b>	<b>12</b>
2.5.1 INTRODUCCIÓN.....	12
2.5.2 FUENTES DE ALIMENTACIÓN NO REGULADAS .....	12
2.5.3 FUENTES DE ALIMENTACIÓN REGULADAS .....	13
<b>2.6 OSCILADOR CI 555.....</b>	<b>14</b>
2.6.1 DESCRIPCIÓN.....	14
2.6.2 CARACTERÍSTICAS.....	15
2.6.3 CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN.....	15
2.6.4 APLICACIONES .....	15
2.6.5 CONFIGURACIÓN DE PINES.....	16
<b>2.7 TRANSFORMADORES .....</b>	<b>16</b>
2.7.1 GENERALIDADES .....	16
2.7.2 CONVERTIDOR INDUCTIVO (TRANSFORMADOR) .....	17

### **Capítulo III**

<b>DIAGRAMA DE BLOQUES.....</b>	<b>20</b>
3.1.1 ETAPA DE ALIMENTACIÓN.....	20
3.1.2 ETAPA DE CONTROL .....	21
3.1.3 ETAPA DE ACOPLAMIENTO.....	23
3.1.4 ETAPA DE POTENCIA .....	23
3.1.5 ETAPA DE SEPARACION .....	24
<b>3.2 FOTOGRAFÍAS DEL SISTEMA CONSTRUIDO .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3 CALCULOS DEL SISTEMA .....</b>	<b>29</b>



3.4 LISTA DE COMPONENTES.....	33
3.5 METODOLOGÍA DE SEPARACIÓN.....	35
3.6 CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA.....	35
3.7 CONSIDERACIONES Y ESPECIFICACIONES.....	36
3.8 CARACTERÍSTICAS DE LA EMULSIÓN.....	37
3.9 PARAMETROS DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN.....	37

*Capítulo IV*

4.1 RESULTADOS.....	39
4.1.1 SECUENCIA DE RESULTADOS.....	39
4.1.2 RESULTADOS PRIMERA SERIE.....	41
4.1.3 RESULTADOS SEGUNDA SERIE.....	42
4.1.4 RESULTADOS DE TERCERA SERIE.....	43
4.1.5 RESULTADOS DE CUARTA SERIE.....	44
4.1.6 RESULTADOS DE QUINTA SERIE.....	45
4.2 GRAFICAS DE RESULTADOS.....	47

*Capítulo V*

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
5.2 CONCLUSIONES.....	56

BIBLIOGRAFÍA.....	59
-------------------	----

*Anexos*

A.1 ESPECIFICACIONES DEL C.I LM317.....	61
A.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	61
A.1.2 RANGOS MÁXIMOS DE FUNCIONAMIENTO.....	62
A.1.3 DIAGRAMA DE CONECCIONES.....	63
A.2 ESPECIFICACIONES DEL C.I 555.....	64
A.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	64
A.2.2 RANGOS MÁXIMOS DE FUNCIONAMIENTO.....	65
A.3 CIRCUITO OPTOACOPLADOR.....	66
A.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	66
A.3.2 CARACTERÍSTICAS.....	67

A.3.3 CURVAS DE OPERACIÓN.....	68
<b>A.4 TRANSISTOR BU205.....</b>	<b>69</b>
A.4.1 ESPECIFICACIONES. ....	69
<b>A.5 DIAGRAMA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN.....</b>	<b>70</b>
<b>A.6 CURVAS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA. ....</b>	<b>71</b>

# CAPÍTULO I

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años los estudios sobre separación de emulsiones han tenido grandes avances; éstos han sido muy importantes para la industria del petróleo, debido a que el problema de separar dos líquidos inmiscibles cuando uno se dispersa en el otro, se presenta frecuentemente en la tecnología petrolera, en particular en el proceso de desalado del petróleo(1); ya que cuanto menor sea el contenido de agua y sales en el crudo que pasa a destilación, los problemas causados por corrosión en los equipos y los costos de producción disminuyen.

Por lo anterior, explorar nuevas y diversas técnicas de separación se hace cada vez más importante. En los últimos años se han hecho estudios de separación, enfocados a la creación de agentes desemulsificantes que ayudan a disminuir la tensión superficial de la emulsión; éstos se adicionan a la emulsión a contracorriente, para proveer un máximo mezclado entre las fases agua aceite en el desalador.

Los agentes desemulsificantes conocidos incluyen sales solubles en agua, glicerinas sulfonadas, aceites sulfonados, resinas fenólicas etoxiladas y una gran variedad de compuestos comercialmente disponibles (2).

Otros inducen la separación por métodos físicos mediante esparcido de la emulsión; finalmente otros han realizado sus estudios utilizando un campo eléctrico para inducir la separación(3); sin embargo los estudios enfocados a la modificación de la frecuencia del potencial inducido en campo eléctrico utilizado han sido muy pocos (4).

Por lo anterior, este trabajo propone el diseño de un sistema que nos permita efectuar separaciones teniendo como variable de estudio la frecuencia del potencial inducido al campo eléctrico aplicado a una celda de separación.

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivos:

- Diseñar un sistema electroforético en el que se pueda efectuar experimentos de separación de emulsiones a nivel laboratorio.
- Establecer como variables de control, la frecuencia e intensidad de campo eléctrico.
- Construir el sistema propuesto, con la finalidad de analizar la respuesta del experimento a diferentes frecuencias, haciendo un análisis de la señal obtenida y modificada, en función del potencial aplicado.
- Realizar pruebas de funcionalidad del equipo construido.

### 1.3 ESTRATEGÍA

Para resolver este problema se diseñó un sistema electroforético que permite aplicar diferentes intensidades de potencial y al mismo tiempo variar la frecuencia de una manera controlada. El sistema propuesto cuenta con las siguientes etapas:

- Etapa de alimentación
- Etapa de control
- Etapa de acoplamiento
- Etapa de potencia
- Etapa de separación

Estas etapas serán descritas posteriormente.

### 1.4 ALCANCES

Este proyecto pretende diseñar, construir y evaluar el sistema de separación propuesto, realizar separación de emulsiones que se prepararán con propiedades establecidas previamente. Encontrar condiciones óptimas de operación que permitan mostrar una disminución sustancial en el contenido de agua a nivel laboratorio.

## 1.5 PROPUESTA DE TRABAJO.

En el desarrollo de este proyecto se propone la construcción del sistema de separación de emulsiones. Este implica la aplicación de un campo eléctrico inducido en el seno de una emulsión, en el que la frecuencia y la intensidad del campo eléctrico sean variables.

Con lo anterior se propone:

*Mejorar la separación al aumentar la intensidad del campo eléctrico y la frecuencia.*

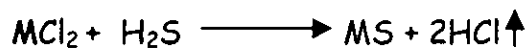
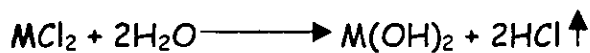
# *CAPÍTULO II*



## 2.1 HIDRÓLISIS DE SALES EN EL CRUDO

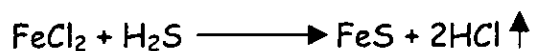
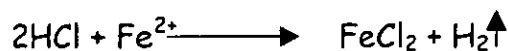
En el proceso de destilación primaria es muy importante que el crudo contenga la menor cantidad de agua y sales tales como: cloruros de sodio, magnesio y calcio ya que cuando se eleva la temperatura y estas sales están presentes son precursoras de HCL, por hidrólisis. Después reaccionan con el ácido sulfhídrico que se encuentra en el crudo y forman así el sulfuro del metal y más ácido clorhídrico; este ácido recién formado reacciona con el fierro presente en el crudo, forma cloruro de fierro y con la presencia del ácido sulfhídrico reacciona formando el sulfuro ferroso y nuevamente más ácido clorhídrico.

Las reacciones ocurren de la siguiente manera:



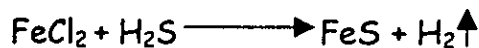
Donde M puede ser Na, Mg ó Ca.

Inmediatamente:



Las dos últimas reacciones son cíclicas ya que el HCl producido reacciona nuevamente con el Fe repitiendo así el ciclo.

En tal caso, si las sales no estuvieran presentes en el crudo, la reacción de hidrólisis no se llevaría a cabo y con esto el ácido sulfhídrico no reaccionaría para formar ácido clorhídrico sino:



Solo se formaría el sulfuro de hierro é hidrógeno que no causarían problemas de corrosión(5).

Por estas razones encontrar condiciones óptimas de operación que permitan mostrar una disminución sustancial en el contenido de agua y con esto de las sales debido a que son solubles en agua, se evitaría la corrosión en los equipos y se tendría un mejor aprovechamiento de los equipos en el proceso.

## 2.2 TIPOS DE SEPARACIÓN

El problema de separar dos líquidos inmiscibles cuando uno se dispersa en el otro se encuentra frecuentemente en la tecnología petrolera. Desemulsificación, por definición es aglomeración y coalescencia de gotas en la fase dispersa, resultando eventualmente en una separación de la emulsión en dos fases. Se han probado una gran cantidad de materiales para acelerar la separación de las emulsiones. El uso de fibras naturales, como el algodón, lana, así como fibras sintéticas (fibra de vidrio y teflon) se han utilizado. Otros métodos implican el uso de técnicas eléctricas, la aplicación de altos potenciales en emulsiones soportando cargas conllevan a una coagulación de las gotas de agua. Además en otros métodos se

considera la presencia de cargas en las partículas de las gotas, la adición de ácidos y bases aparentemente causa una neutralización en las partículas y una subsecuente coagulación(1).

## 2.3 EFECTO DEL CAMPO ELÉCTRICO

El método de separación utilizado para romper la emulsión es del tipo eléctrico, en este se aplica un campo eléctrico cambiando la polaridad de las moléculas en la interface, modificando así el estado de fuerzas y disminuyendo la tensión interfacial. Con esto las gotitas de agua que están en la fase dispersa coalescen, es decir se separan y por diferencia de gravedad descienden al fondo de la celda. La base para la coalescencia de las gotas la da la propia molécula de agua, en esta la unión de un oxígeno con dos hidrógenos (ver figura 2.3.1) forman un campo eléctrico dipolo, al aplicarle el campo eléctrico las gotas en la fase dispersa se deforman y se polarizan chocando entre sí, debilitando y rompiendo la película que las rodea, de esta manera las gotas coalescen (figura 2.3.2).

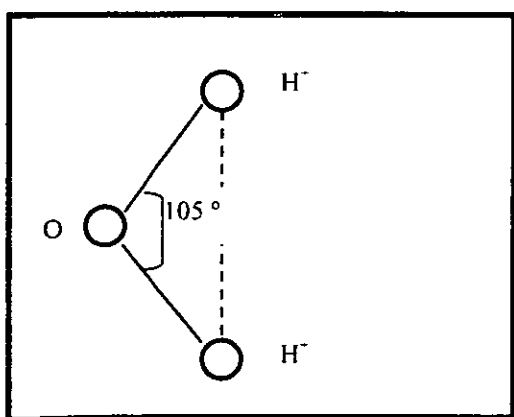


Figura 2.3.1. Dipolo de la molécula de agua.

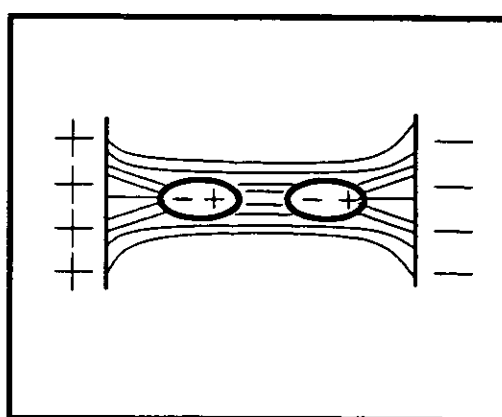


Figura 2.3.2. Efecto del campo eléctrico sobre la molécula de agua.

## 2.4 COALESCENCIA

Este método es comúnmente usado para romper emulsiones agua en aceite (especialmente agua en petróleo crudo) aplicando un campo eléctrico en la emulsión. El principio de éste inicia al inducir la coalescencia eléctricamente mediante un campo eléctrico, para el alargamiento de las gotas de la fase dispersa. Después de este paso inicial, la fase acuosa ocupa la parte más baja por diferencia de densidades.

Son varios factores que influyen en la coalescencia eléctricamente inducida, como:

- Las propiedades dieléctricas de la fase dispersa y continua
- La fracción de volumen de la fase dispersa
- La conductividad
- La medida de distribución de la dispersión de las gotas
- La geometría de los electrodos
- La intensidad del campo eléctrico
- La naturaleza del campo eléctrico (CA ó CD, uniforme ó no uniforme)

El proceso de colapso es conectado con la ruptura de la bicapa estabilizadora de los alrededores de las gotas acuosas que interactúan. Este proceso es de difícil estudio, pero es muy importante en aspectos científicos y tecnológicos; en biotecnología se ha utilizado recientemente para un mejor entendimiento de celdas de fusión y celdas de hibridación;(1) en la industria del petróleo es de uso común en la ruptura de emulsiones agua-petróleo crudo, por la aplicación de un campo eléctrico grande de corriente alterna ó corriente directa.

En la tecnología petrolera se ha encontrado que los sistemas, que se emulsionan espontáneamente coalescen más rápido que los que no se forman espontáneamente y forman emulsiones más estables. El mismo comportamiento ha sido observado en estudios microvisuales acerca del desplazamiento inicial de hidrocarburos residuales por soluciones tensoactivas acuosas. De los estudios anteriores se puede concluir que la velocidad de coalescencia de las emulsiones depende de la naturaleza de la emulsión, la tensión interfacial y la viscosidad de la superficie(1).

La figura 2.4.1 muestra de una manera esquemática como se va separando una emulsión; primero, formando floculos y sedimentando. Además al separarse por coalescencia, muestra como se van alargando las gotas hasta juntarse y finalmente separarse las dos fases.

## FLOCULACIÓN Y COALESCENCIA EN EMULSIONES

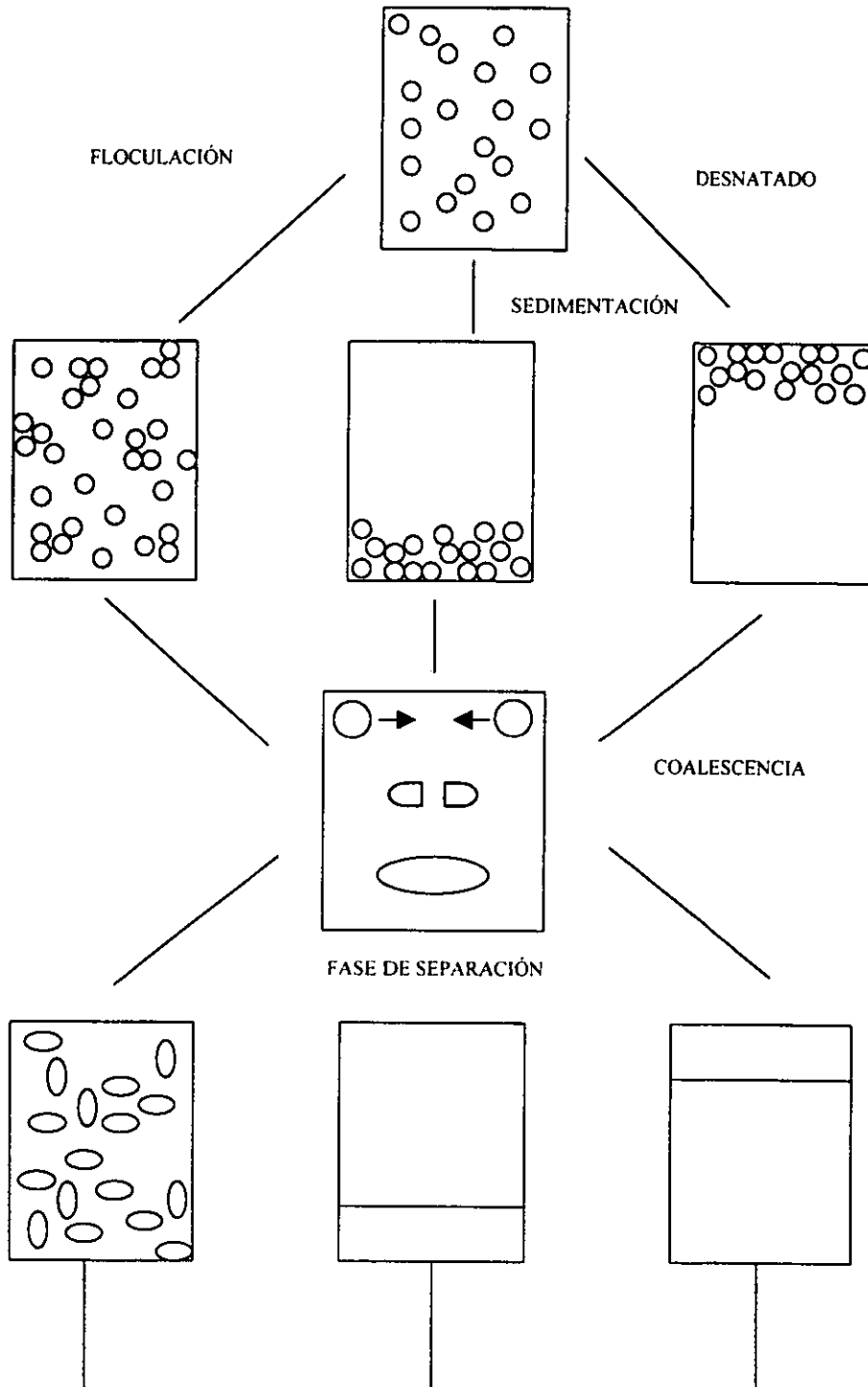


Figura 2.4.1. Representación esquemática del proceso de separación en una emulsión.

## 2.5 FUENTES DE ALIMENTACIÓN Y AMPLIFICADORES DE POTENCIA

### 2.5.1 Introducción

La mayoría de los dispositivos electrónicos requieren voltajes de *CC* para operar. La fuente disponible de potencia que es más fácil de obtener es el contacto de pared a 110 V *CA*, a 60 Hz. El circuito que convierte este voltaje de *CA* en un voltaje de *CC* se denomina fuente de alimentación a *CC*.

La fuente de alimentación a *CC* más económica, es del tipo de circuito rectificador. Desafortunadamente el voltaje de rizado de *CA*, carga en el voltaje de *CC*, de modo que el circuito rectificador no suministra *CC* pura. Una característica por igual indeseable es una reducción en el voltaje de *CC* conforme se retira más corriente de carga de alimentación(6).

Los parámetros que describen el rendimiento de las fuentes de alimentación son:

- Ondulación de rizo. Un componente de *CA* del voltaje de salida que se superpone sobre el voltaje de *CC*.
- Regulación de línea. El cambio en el valor de estado permanente del voltaje de salida, que acompaña a un cambio en el voltaje de línea, con todas las demás condiciones constantes.
- Regulación de carga. El cambio del valor de estado permanente del voltaje de salida que acompaña a un cambio en la corriente de carga, con todas las demás condiciones constantes.

### 2.5.2 Fuentes de alimentación no reguladas

Las fuentes de alimentación no reguladas se utilizan cuando no son críticas las variaciones del voltaje de salida. Se encuentran en muchos circuitos de radio y

televisión; sus características principales son su simplicidad y su bajo costo(7). Existen de varios tipos entre ellos están:

1. Fuente de alimentación de rectificador de media onda
2. Fuente de alimentación de rectificador de onda completa
3. Fuente de alimentación de rectificador de puente de onda completa
4. Fuente de alimentación de multiplicador de voltaje

El diagrama generalizado de una fuente de este tipo es el siguiente:

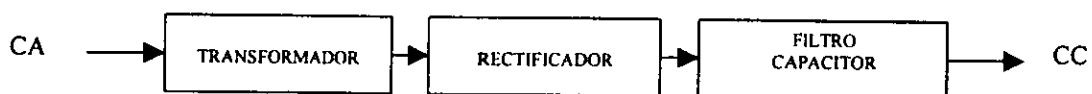


Diagrama 2.5.2 Fuente de alimentación no regulada.

### 2.5.3 Fuentes de alimentación reguladas

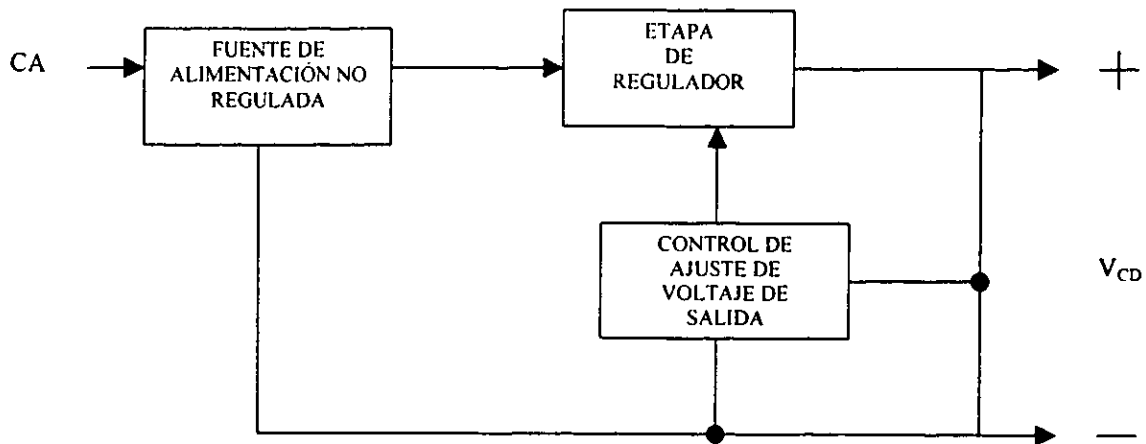
En muchas aplicaciones no se pueden tolerar los cambios del voltaje de la fuente de alimentación, que se obtienen de las fuentes no reguladas; generalmente el voltaje de salida varía principalmente con el voltaje de línea, la corriente carga y el grado de filtración. Para controlar esto se debe utilizar algún tipo de regulación de voltaje.

Los tipos de regulación más utilizados son:

1. Fuentes de alimentación reguladas en paralelo.
2. Fuentes de alimentación reguladas con paso en serie, con referencia Zener.

El método de regulación más usado es el de tipo en serie, el diagrama básico de esta fuente se muestra a continuación:





**Diagrama 2.5.3** Fuente de alimentación regulada y variable.

La figura anterior muestra un diagrama básico de una fuente de alimentación regulada en serie. Esta configuración nos permite además de regular el voltaje, variarlo mediante un potenciómetro en la etapa de control y ajuste. En el sistema construido se utiliza una fuente con esta configuración.

## 2.6 OSCILADOR CI 555

### 2.6.1 Descripción

El circuito temporizador NE/SE 555 monolítico es un controlador altamente estable capaz de producir retardos exactos de tiempo, u oscilaciones. Cuenta con terminales adicionales para disparo o restablecido si se desea. El modo de operación de retardo de tiempo, se controla con precisión mediante un resistor y un capacitor externos. Para operación astable como oscilador, la frecuencia de oscilación libre y el ciclo del circuito se controlan con exactitud con dos resistores y un capacitor externos. El circuito puede dispararse y restablecerse en formas de ondas descendentes, y la estructura de la salida puede ser fuente ó drenador hasta 200 mA.

### 2.6.2 Características

El temporizador CI 555 tiene dos modos de operación, ya sea como multivibrador astable (oscilación libre) o como multivibrador monoestable (un disparo). El voltaje de salida cambia de un estado alto a uno bajo y reinicia el ciclo. El tiempo de la salida es ya sea alto o bajo, según se determine por el circuito resistor-capacitor conectado en forma externa al temporizador 555(6).

### 2.6.3 Características de operación

El CI 555 ofrece las siguientes características:

- Temporizado desde microsegundos hasta horas
- Opera tanto en modo astable como en monoestable
- Ciclo de trabajo ajustable
- La corriente alta de salida puede ser fuente o drenador de 200 mA
- La salida puede impulsar circuitos TTI
- Estabilidad de temperatura de 0.005% por °C
- Salida normalmente encendida y normalmente apagada

### 2.6.4 Aplicaciones

El CI 555 permite las siguientes aplicaciones:

- Temporizador de precisión
- Generación de pulso
- Temporizador secuencial
- Generación de retardo de tiempo
- Modulación de ancho de pulso
- Modulación de posición de pulso
- Detector de pulso perdido

## 2.6.5 Configuración de pines

La configuración de pines del CI 555 tipo encapsulado V, se muestra en la figura. 2.6.5.

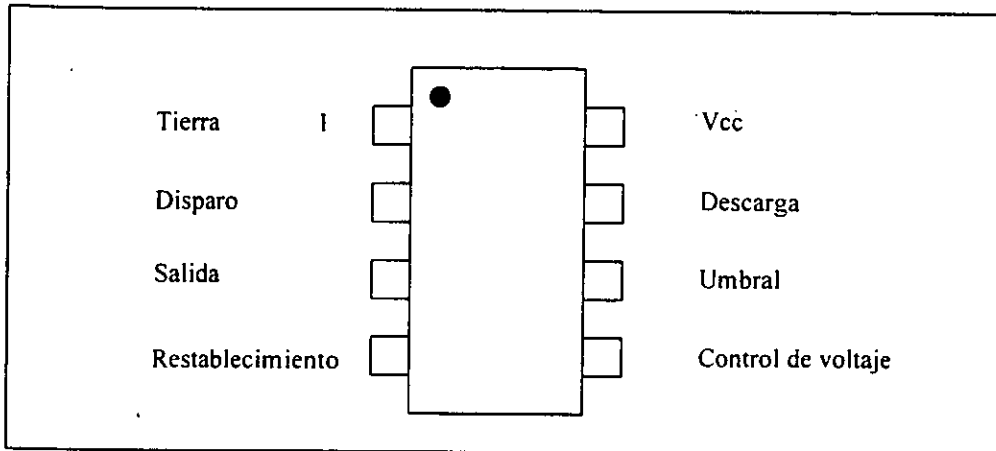


Figura 2.6.5. Configuración de pines del CI 555.

El apéndice A.2 muestra las hojas de especificación del CI 555.

## 2.7 TRANSFORMADORES

### 2.7.1 Generalidades

El aprovechamiento de los recursos naturales es inconcebible sin la transformación de unas formas de energía a otras. En nuestros días, una parte considerable de la energía reservada en la naturaleza está en forma de: energía química, energía nuclear, energía de movimiento en los ríos y mares, energía del viento y energía de radiación del sol. Esta es transformada en energía eléctrica. La utilidad de semejante transformación consiste en que en muchos casos, la energía eléctrica puede transmitirse a grandes distancias a bajo costo, distribuirse entre los consumidores y de nuevo convertirse en energía mecánica, calorífica ó química.

Las máquinas que transforman la energía mecánica en eléctrica y viceversa, se llaman máquinas eléctricas. En las máquinas eléctricas la transformación

electromecánica de la energía, está basada en el fenómeno de la inducción electromagnética, y ligada con las fuerzas electromotrices (f.e.m) inducidas en el proceso de la variación periódica del campo magnético, el cual tiene lugar durante el desplazamiento mecánico de los elementos del circuito magnético.

Las máquinas eléctricas, cuya acción está basada en la ley de inducción electromagnética se llaman máquinas de inducción. En este mismo fenómeno, se basa el funcionamiento de los convertidores inductivos destinados a transformar la energía eléctrica con parámetros de unos valores (corriente, voltaje, frecuencia) en energía de la misma forma, pero con parámetros de otros valores.

### 2.7.2 Convertidor inductivo (transformador)

El *convertidor inductivo* más sencillo y más difundido, por medio del cual la corriente alterna de una tensión se transforma en corriente alterna de otro voltaje es el *transformador*. En éste sus devanados y el circuito magnético son mutuamente inmóviles, y el proceso de variación periódica del campo magnético por el cual se inducen las f.e.m en los devanados, se realiza eléctricamente.

Se llama transformador al convertidor inductivo estático que consta de dos o más devanados mutuamente fijos y acoplados inductivamente entre sí, y destinado para transformar los parámetros de la energía eléctrica de corriente alterna (tensión, corriente, frecuencia y número de fases) mediante la inducción electromagnética.

La energía eléctrica de corriente alterna es suministrada al devanado primario del transformador desde una red que tiene un número de fases  $m_1$ , una tensión de fase  $U_1$  y una frecuencia  $f_1$ . Una vez transmitida mediante un campo electromagnético al devanado secundario que tiene un número de fases  $m_2$ , una

tensión de fase  $U_2$  y una frecuencia  $f_2$ . En la mayoría de los casos con ayuda del transformador sólo se convierten las tensiones  $U_2 \neq U_1$ , y las corrientes  $I_2 \neq I_1$ , sin variar la frecuencia y el número de fases (figura 2.7.2).

Generalmente entre los devanados primario y secundario de un transformador no existe ninguna conexión eléctrica y la energía se transmite de un devanado a otro mediante el acoplamiento magnético existente entre ellos(8).

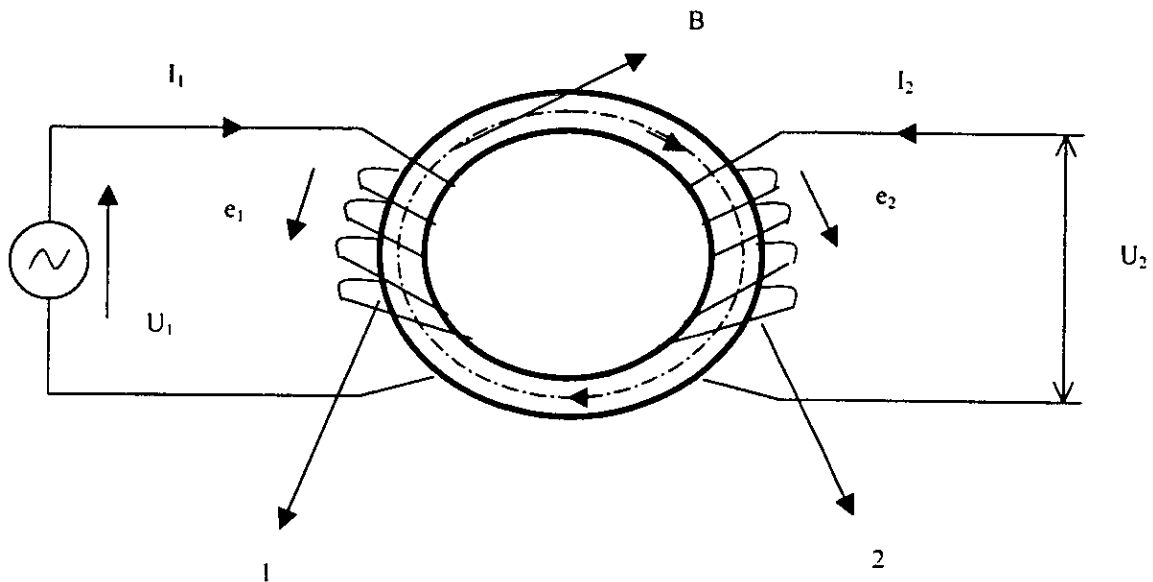


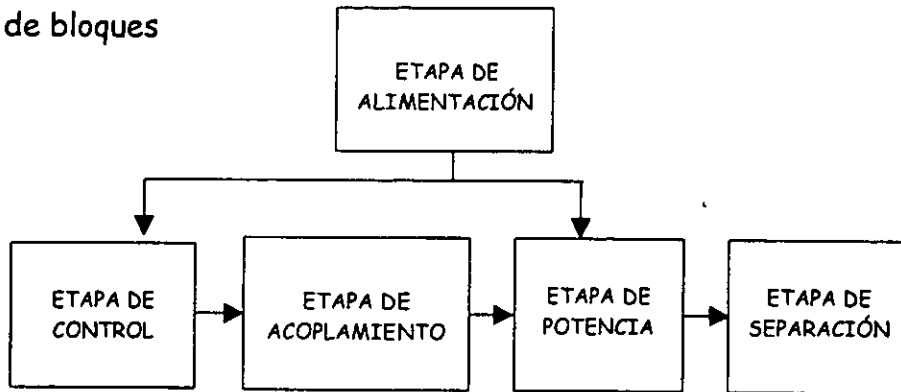
Figura 2.7.2 Esquema electromagnético de un transformador.

# CAPÍTULO III

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN

El diseño del sistema electroforético propuesto consta de las siguientes etapas:

Diagrama de bloques



#### 3.1.1 ETAPA DE ALIMENTACIÓN

La etapa de alimentación consta de una fuente de alimentación de CD regulada, de voltaje variable entre 5 y 15 volts, la cual sirve para energizar al circuito de control. Esta fuente consta de un transformador reductor, un rectificador de onda completa tipo puente, un C.I. regulador de voltaje LM 317 (Anexo A.1) y un led que indica el encendido del equipo.

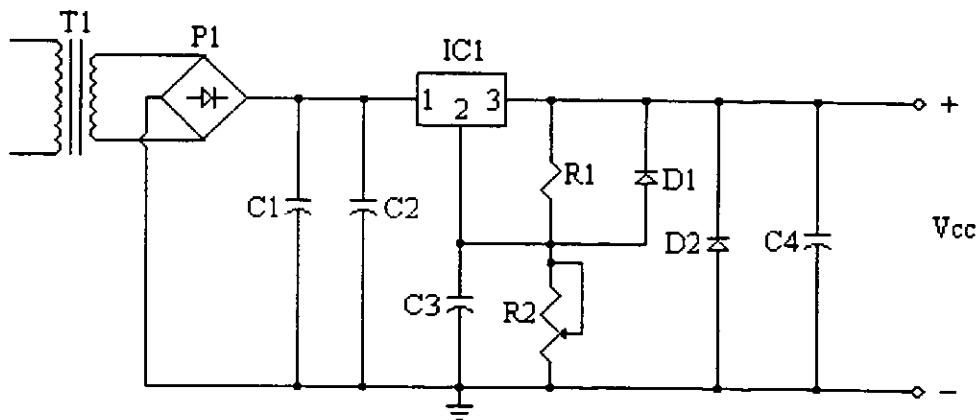


Figura 3.1.1. Diagrama de fuente de alimentación.

### 3.1.2 ETAPA DE CONTROL

La etapa de control consiste de un circuito oscilador que fue realizado con un circuito integrado (C.I) conocido como 555 (Anexo A.2), en su configuración astable (oscilación libre). Se sabe que este circuito se puede trabajar también en su configuración monoestable (un solo disparo). Para generar el alto voltaje se necesita una señal oscilatoria, para tener control en la frecuencia de oscilación.

El principio de operación se basa en el cálculo de dos resistencias y un capacitor, los cuales se encargan de proporcionar una frecuencia variable desde 0.1 kHz hasta 10 kHz.

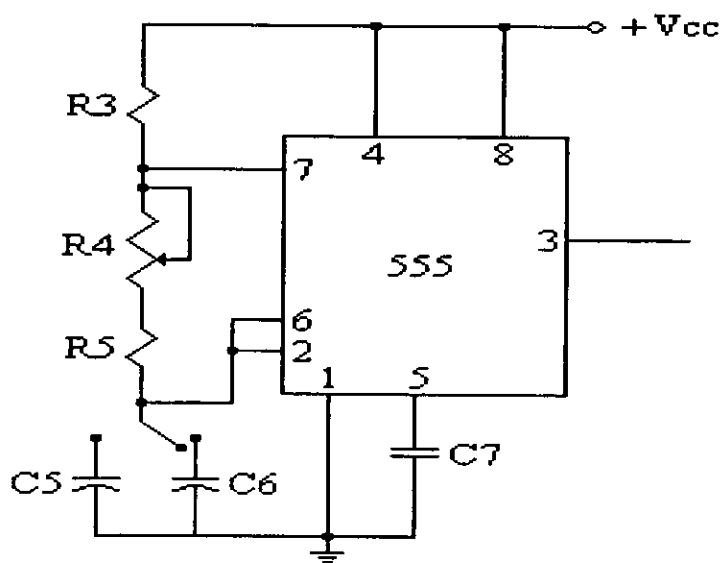


Figura 3.1.2a. Generador de onda cuadrada de ciclo de trabajo variable.



Las ecuaciones que rigen el comportamiento de esta configuración son las siguientes:

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C} \quad \text{ec. (3.1)}$$

$$t_a = 0.695 (R_A + R_B) C \quad \text{ec. (3.2)}$$

$$t_b = 0.695 * R_B * C \quad \text{ec. (3.3)}$$

$$T = 0.695 (R_A + 2R_B) C \quad \text{ec. (3.4)}$$

$$\% D = \frac{t_b}{T} * 100 \quad \text{ec. (3.5)}$$

donde:

$R_A$  = Resistencia A

$R_B$  = Resistencia B

$C$  = Capacitancia

$D$  = Ciclo de trabajo

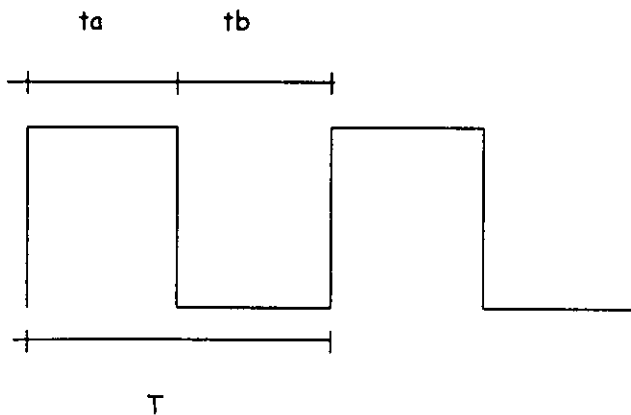


Figura 3.1.2b Onda de salida.

La figura 3.1.3 nos muestra la onda que el sistema propuesto genera, donde:

$t_a$  = Tiempo de baja

$t_b$  = Tiempo de alta

$T$  = Período completo

### 3.1.3 ETAPA DE ACOPLAMIENTO

La etapa de acoplamiento está conformada principalmente por un circuito integrado optoacoplador, el cual tiene la función de aislar eléctricamente al circuito de control con la etapa de potencia, evitando con esto que se ocasionen daños en ambas etapas cuando estas lleguen a fallar.

El circuito integrado encargado de esta operación es un DIAC activado por luz (CI optoacoplador). Ver Anexo A.3.

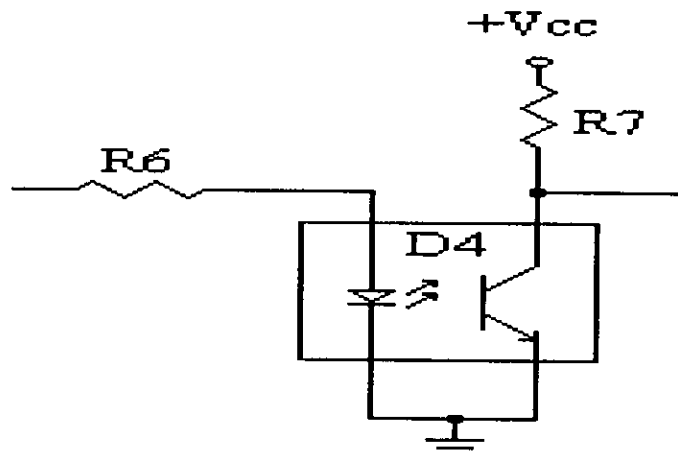


Figura 3.1.3 Circuito de acoplamiento.

### 3.1.4 ETAPA DE POTENCIA

En esta etapa la potencia se proporciona con un transformador fly back y un transistor BU 205 (Anexo A.4), que es el que proporciona la corriente demandada por el fly back. El alto voltaje es proporcionado por el transformador fly back. En el Anexo A.5 se muestra el diagrama de diseño completo, realizado con un software especializado(Tango).

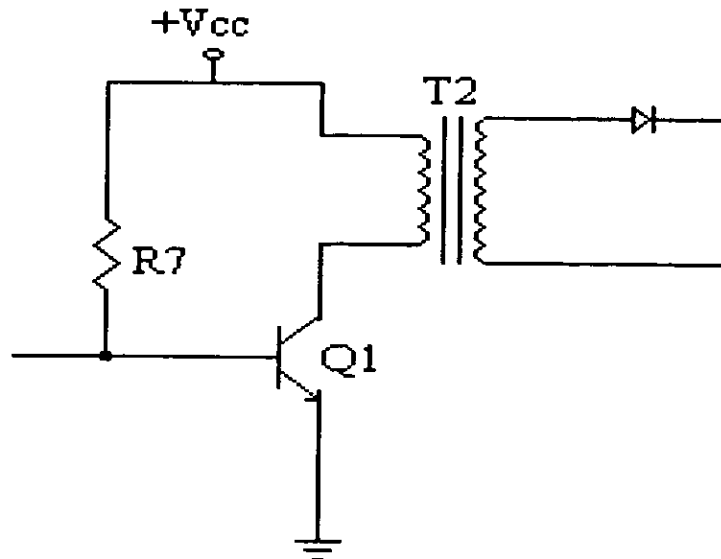


Figura 3.1.4. Circuito de potencia.

### 3.1.5 ETAPA DE SEPARACIÓN

Esta etapa se consta de una celda cilíndrica con dos electrodos de cobre (figura 3.1.5), que al proporcionar el potencial forman un campo eléctrico que se aplica a la emulsión a separar.

El diagrama total del sistema se muestra en el Anexo A.5.

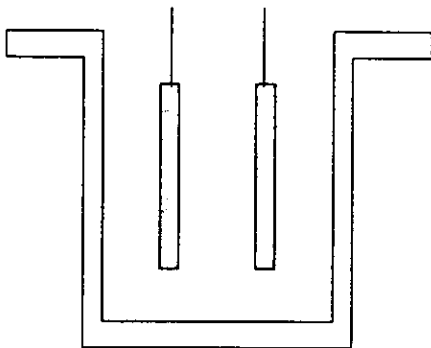
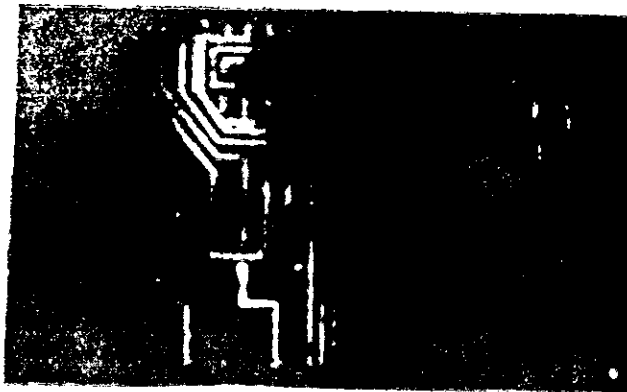


Figura 3.1.5. Celda de separación.

### 3.2 FOTOGRAFÍAS DEL SISTEMA CONSTRUIDO

Después de completar el diseño del sistema propuesto, se hacen pruebas preliminares de una tabla protoboar; en la que se prueba la configuración del circuito diseñado. A partir de éste se inicia la construcción en un circuito impreso, como el que se muestra en las fotografías 1 y 2. Éste será la base para la construcción del sistema.

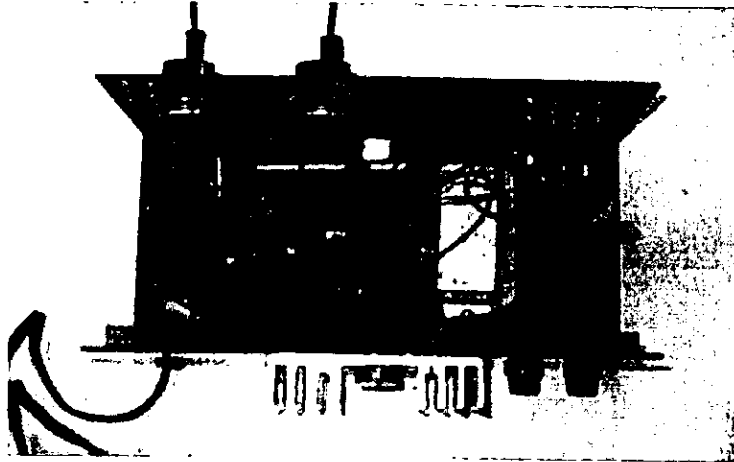


Fotografía 1. Circuito impreso.



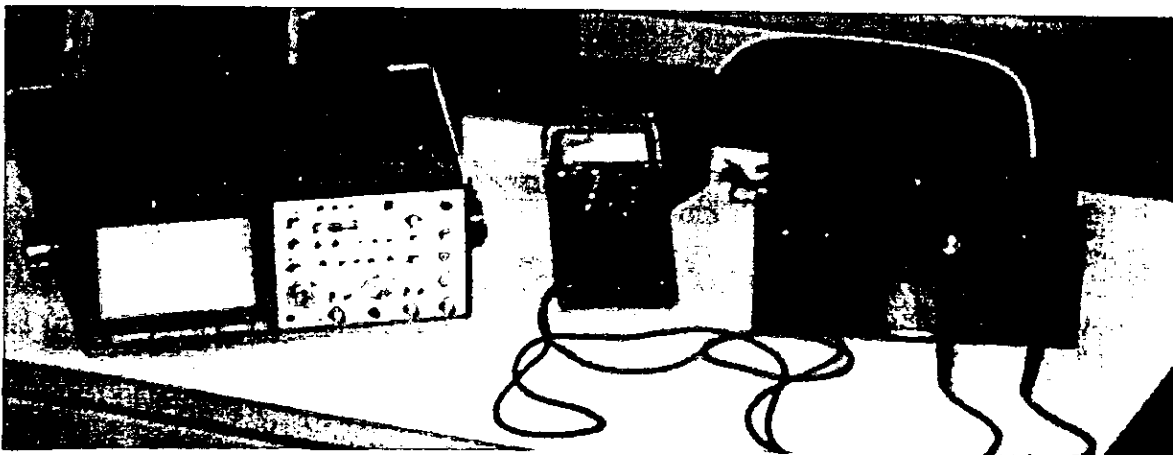
Fotografía 2: Circuito impreso 2.

El sistema construido quedo como se muestra en la fotografía 3. Después se procede a recalibrar y revisar el equipo ya que durante su construcción, algunos elementos pueden tener alguna falla que causaría daño a todo el sistema.

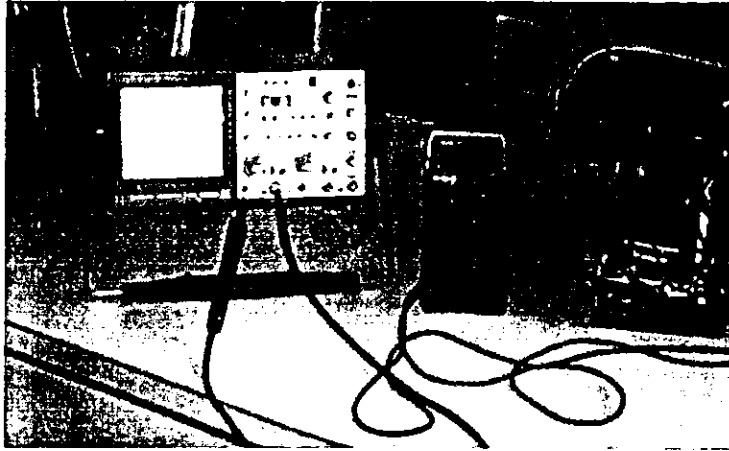


Fotografía 3. Fuente de poder.

Para la calibración se utilizaron dos equipos, un analizador de señales (osciloscopio), un medidor de potencial y corriente (multímetro), además de una interface para medir alto voltaje esto se muestra en las fotografías 4 y 5.

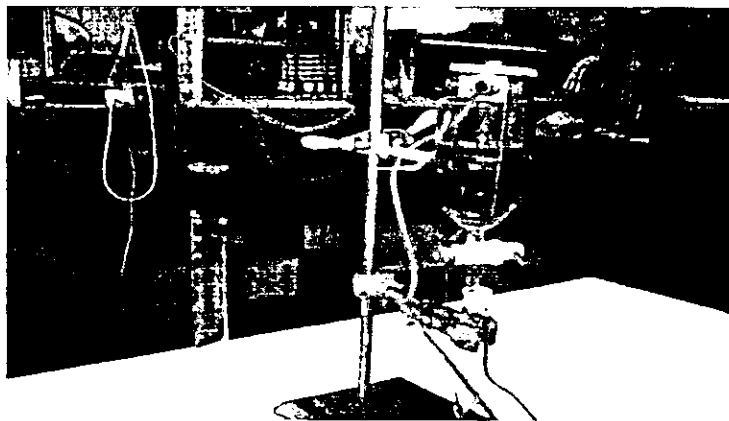


Fotografía 4. Fuente y equipo de calibración.



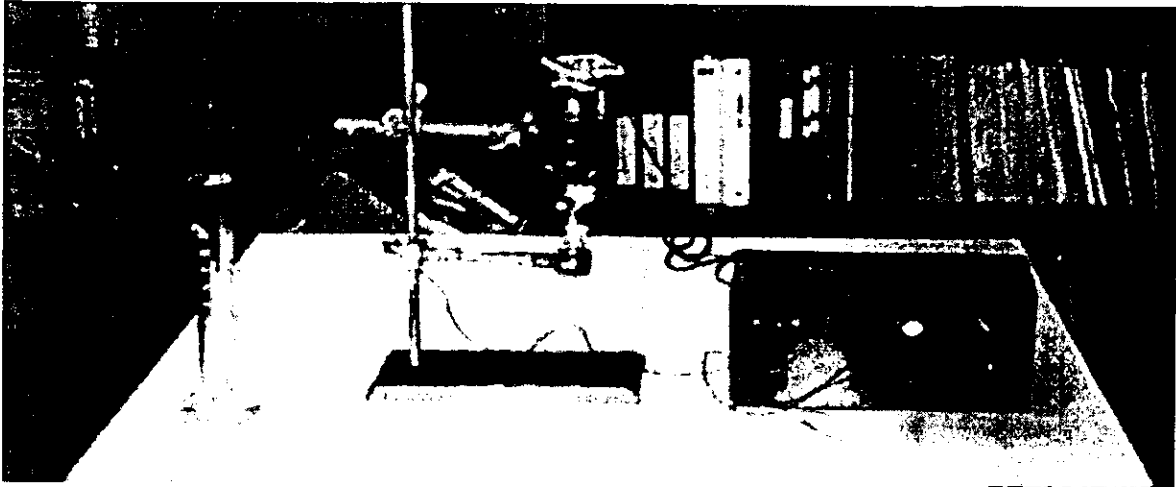
Fotografía 5. Calibración de equipo.

Durante la calibración se acopla la celda de separación, para tener un comportamiento real del sistema y así tener el comportamiento del equipo funcionando (Anexo A.6). La fotografía 6 muestra la celda de separación construida.

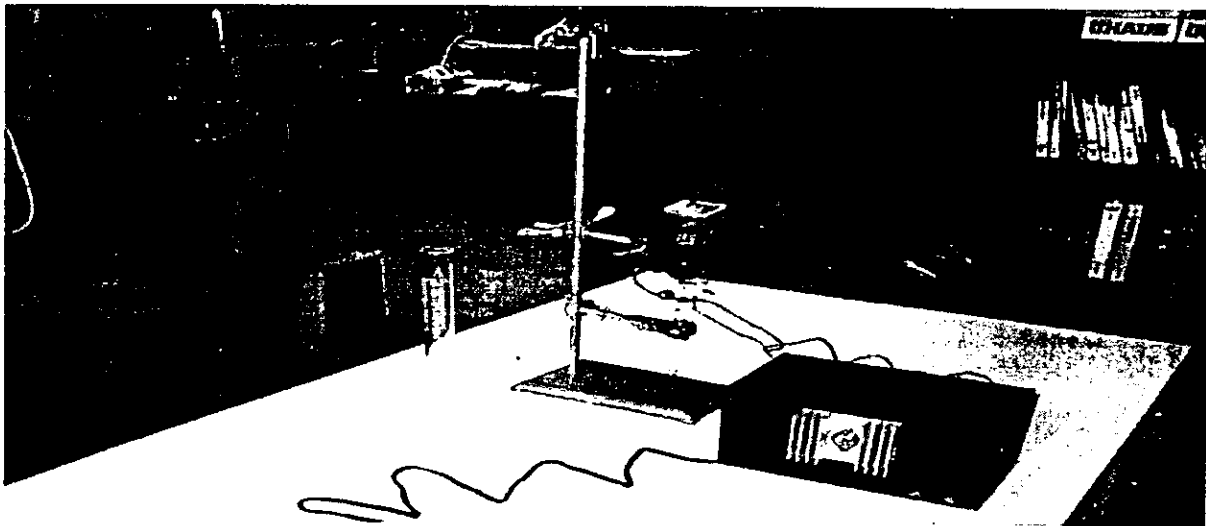


Fotografía 6. Celda de separación.

Finalmente las fotografías 7 y 8 muestran el sistema separación construido completo.



Fotografía 7. Sistema de separación completo.



Fotografía 8. Sistema de separación (vista posterior).

### 3.3 CÁLCULOS DEL SISTEMA

Los cálculos del sistema se aplican a la etapa de control, debido a que las variables que se quieren controlar son: frecuencia e intensidad de campo eléctrico.

Rango de operación: de 100 Hz a 10000 Hz.

El rango de operación se divide en dos secciones:

1. Rango de 100 a 1000 Hz.
2. Rango de 1000 a 10000 Hz.

Para iniciar los cálculos se proponen los siguientes valores:

$$R_A = R_5 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Capacitor } 1 = C_5 = 0.1 \mu\text{F}$$

Rango 1. Límite superior 1000 Hz.

Unidades que intervienen:

$$\Omega = \text{ohm} \quad \mu\text{F} = \text{microfaradios} \quad \text{Hz} = \text{Hertz (ciclos / segundo)}$$

Cálculo de  $R_B$ :

Sabemos que:  $R_B = R_4 + R_5$ .  $R_4$  es el potenciómetro

$R_1 = 0$  para máxima frecuencia

De la ecuación 3.1 despejamos  $R_B$  quedando la ecuación:

$$R_B = \left( \frac{1.44}{f * C} - R_3 \right)$$



sustituyendo valores:

$$R_B = \left( \frac{1.44}{1000 \text{ Hz} * 0.1 \mu\text{F}} - 1000 \text{ ohms} \right) / 2$$

$$R_B = 6700 \Omega \quad (\text{valor comercial } 6.8 \text{ k}\Omega)$$

Como  $R_B = R_4 + R_5$  Para mínima frecuencia  $f = 100 \text{ Hz}$

Como  $R_4$  es el potenciómetro

$$R_B = R_4 + R_5 = \left( \frac{1.44}{f * C} - R_3 \right) / 2$$

$$R_4 = \left( \frac{1.44}{100 \text{ Hz} * 0.1 \mu\text{F}} - 1000 \text{ ohms} \right) / 2 - R_5$$

$$R_4 = \left( \frac{1.44}{100 \text{ Hz} * 0.1 \mu\text{F}} - 1000 \text{ ohms} \right) / 2 - 6700 \Omega$$

$$R_4 = 64800 \Omega \quad (\text{valor comercial } 100 \text{ k}\Omega)$$

Comprobar frecuencia superior:

$$f = \frac{1.44}{(R_3 + 2R_B)C}$$

$$f = \frac{1.44}{(1000 \Omega + 2 * 6700 \Omega) * 0.1 \mu F}$$

$$f = 1000 \text{ Hz}$$

Ciclo de trabajo: Cuando  $R_5 = 0$

De la ecuación 3.3 tenemos que:

$$tb = 0.695 * R_4 * C$$

$$tb = 0.695 * 64800 \Omega * 0.1 \mu F$$

$$tb = 0.0045036 \text{ s}$$

Ahora de la ecuación 3.4 tenemos:

$$T = 0.695 (R_3 + 2R_B) C$$

$$T = 0.695 (1000 \Omega + 2 * 64800 \Omega) * 0.1 \mu F$$

$$T = 0.0090767 \text{ s}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 3.5 tenemos:

$$\% D = \frac{tb}{T} * 100$$

$$\% D = \frac{0.0045036}{0.0090767} * 100$$

$$\% D = 49.6171$$

Para el rango 2 (10,000 kHz),

Se calcula el capacitor necesario para ampliar el rango:

Cuando  $R_4 = 0$

De la ecuación 3.1

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C}$$

Despejando  $C$  obtenemos  $C_6$ .

$$C = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)f}$$

$$C_6 = \frac{1.44}{(1000 \Omega + 2 * 6700 K\Omega) * 10000 Hz}$$

$$C_6 = 0.01 \mu F$$

**\*\*Los demás elementos permanecen constantes**

### 3.4 LISTA DE COMPONENTES

Para la construcción del sistema se utilizaron los siguientes componentes y materiales:

A. FUENTE DE ALIMENTACIÓN:	CANTIDAD
Interruptor	1
Porta fusible tipo americano	1
Fusible tipo americano 5 amp, 250 V.	1
Transformador reductor 127 a 12 V. 3 amp.	1
Puente rectificador 4 amp.	1
Regulador de voltaje variable LM 317.	1
Capacitor electrolítico 1000 $\mu$ F 25 V.	1
Capacitor electrolítico 22 $\mu$ F 25 V.	1
Capacitor 0.1 $\mu$ F	2
Potenciómetro 100 k $\Omega$	1
<b>B. CONTROL</b>	
CI. NE 555	1
Diodo 1N 4004	2
Resistencia 270 k $\Omega$ 5 W	1
Resistencia 1 k $\Omega$	1
Potenciómetro 5 k $\Omega$	1
Capacitor 0.1 $\mu$ F	1
Capacitor 0.01 $\mu$ F	1
Switch 1P 1T	1
Porta fusible tipo americano	1
Fusible tipo americano 3 amp.	1
<b>C. ACOPLAMIENTO</b>	
CI optoacoplador	1
Resistencia 120 $\Omega$	1
<b>D. POTENCIA</b>	
Transistor BU 205	1
Resistencia de 5.8 k $\Omega$	1
Transformador fly back DCF 1551 (3L21)	1

E. MISCELÁNEOS	
Disipadores de calor	3
Placa de fibra de vidrio	1
Placa de cobre	1
Conectores	varios
Cable de cobre	varios
Paquete de soldadura	1
Caja de acrílico	1
Tornillos	varios
Pintura aislante	250 mL

### 3.5 METODOLOGÍA DE SEPARACIÓN

El método utilizado para romper la emulsión es del tipo eléctrico, en éste se aplica un campo eléctrico en el seno de la emulsión cambiando así la polaridad de las moléculas en la interface; modificando el estado de fuerzas y disminuyendo la tensión interfacial.

La base para la separación (coalescencia) de las gotas la da la propia molécula de agua, en esta la unión de un oxígeno con dos hidrógenos forman un campo eléctrico dipolo. Al aplicarle un campo eléctrico externo, las gotas en la fase dispersa se deforman (se alargan) y se polarizan chocando entre sí; de esta manera, la película que las rodea se debilita y las gotas coalescen.

### 3.6 CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA

La celda está construida de vidrio, tiene un volumen aproximado de 150 mL, y el volumen efectivo es de 100 mL. Cuenta con un tubo con llave en la parte inferior que permite drenar el sistema y cuantificar la separación sin necesidad de parar el equipo.

### 3.7 CONSIDERACIONES Y ESPECIFICACIONES

Para realizar estos experimentos se establecieron las siguientes consideraciones:

- Se prepararon emulsiones al 10% en volumen de 100 mL para cada ensayo.
- Se utilizó un recipiente de la misma forma y volumen en todos los ensayos.
- Se tomó como separación total el 90% del volumen total de la fase dispersa en la emulsión, y así normalizar los resultados.
- Se realizaron curvas de calibración del equipo (Anexo A.6).
- Se midió el volumen separado en función del tiempo.
- Se hicieron gráficas de tiempo vs. volumen normalizado

$$\text{volumen normalizado} = \frac{\text{volumen separado}}{\text{volumen máximo de separación}} \quad \text{ec. (3.7)}$$

Para el desarrollo del proyecto se realizaron cinco series a separar, las cuales se preparaban previamente; éstas se planearon de la siguiente manera:

- A) Separación sin la aplicación de campo eléctrico
- B) Separación aplicando un campo eléctrico de 394 V/cm, variando la frecuencia del potencial de inducción de 60 a 1000 Hz.
- C) Separación aplicando un campo eléctrico de 394 V/cm, variando la frecuencia del potencial de inducción de 1000 a 10000 Hz.
- D) Separación aplicando un campo eléctrico de 788 V/cm, variando la frecuencia del potencial de inducción de 60 a 1000 Hz.
- E) Separación aplicando un campo eléctrico de 788 V/cm, variando la frecuencia del potencial de inducción de 1000 a 10000 Hz.

### 3.8 CARACTERÍSTICAS DE LA EMULSIÓN

Emulsión w/o (agua en aceite) al 10% v/v.

Fase dispersa (agua) 10 mL.

Fase continua (aceite) 90 mL.

Volumen total 100 mL.

Volumen máximo de separación 9.0 mL.

### 3.9 PARÁMETROS DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN

Fuente regulada de potencial y frecuencia variable.

Potencial de operación 1000 a 5000 Volts en corriente directa (C.D).

Frecuencia de operación 100 a 10000 Hz.

Campo eléctrico aplicado 394 Y 788 V/cm de C.D.

Frecuencia del potencial:

Se manejaron dos rangos.

1. De 100 a 1000 Hz.
2. De 1000 a 10000 Hz.



# CAPÍTULO IV

## 4.1 RESULTADOS

### 4.1.1 SECUENCIA DE RESULTADOS

En éste capítulo se presentan los resultados obtenidos al probar el sistema construido. Los resultados que se obtuvieron se distribuyeron en cinco series que se muestran a continuación:

- En la serie 1 se muestran los resultados obtenidos de separación de la emulsión sin la aplicación de un campo eléctrico.
- En la serie 2 se muestran los resultados de los experimentos realizados en el sistema de electrofóresis aplicando un campo eléctrico de 394 V/cm y un intervalo de frecuencias de 100 a 1000 Hz.
- En la serie 3 se muestran los resultados de los experimentos realizados en el sistema de electrofóresis aplicando un campo eléctrico de 394 V/cm y un intervalo de frecuencias de 1000 a 10000 Hz.
- En la serie 4 se muestran los resultados de los experimentos realizados en el sistema de electrofóresis aplicando un campo eléctrico de 788 V/cm y un intervalo de frecuencias de 100 a 1000 Hz.
- En la serie 5 se muestran los resultados de los experimentos realizados en el sistema de electrofóresis aplicando un campo eléctrico de 788 V/cm y un intervalo de frecuencias de 1000 a 10000 Hz.
- Finalmente se graficaron y se compararon los resultados obtenidos.

Cabe mencionar que las características de la emulsión son las mismas para todas las separaciones y son las siguientes:

- Emulsión w/o (agua en aceite) al 10% v/v.
- Fase dispersa (agua) 10 mL.
- Fase continua (aceite) 90 mL.
- Volumen total 100 mL.
- Volumen máximo de separación 9.0 mL. \*\*

Todas las pruebas se realizaron a la misma temperatura en el laboratorio (20°C) y presión atmosférica. No se observaron cambios en las mismas.

Las emulsiones se preparaban el mismo día que se separaban y no se agregó ningún reactivo que la estabilizara.

EMULSIÓN AL 10% v/v	APLICACIÓN DE CAMPO ELÉCTRICO		POTENCIAL V/cm	FRECUENCIA Hz
	NO	SÍ		
1	XX			
2		XX	394	100 A 1000
3		XX	394	1000 A 10000
4		XX	788	100 A 1000
5		XX	788	1000 A 10000

**Tabla 4.1.1.** Condiciones de cada experimento de separación.

\*\* ver ecuación 3.7

#### 4.1.2 RESULTADOS PRIMERA SERIE

En la serie número 1, se realizó una separación de la emulsión preparada sin la aplicación de un campo eléctrico; de esta manera se pudo hacer un análisis comparativo con las otras separaciones en las que sí se aplicó un campo eléctrico para acelerar la separación.

TIEMPO min	VOLUMEN mL	VOLUMEN NORMALIZADO $V/V_{max}$
0	0	0
74	1	0.1
80	1.5	0.15
95	2	0.2
113	2.5	0.25
121	3	0.3
135	3.5	0.35
147	4	0.4
164	4.5	0.45
186	5	0.5
210	5.5	0.55
254	6	0.6
320	7	0.7
365	7.5	0.75
<b>420</b>	<b>8</b>	<b>0.8</b>
<b>480</b>	<b>8</b>	<b>0.8</b>
<b>520</b>	<b>8</b>	<b>0.8</b>

Tabla 4.1.2. Resultados de separación sin aplicación de campo eléctrico.

### 4.1.3 RESULTADOS SEGUNDA SERIE

En la segunda serie se aplicó un campo eléctrico de 394 V/cm, y se hizo un barrido en frecuencias de 100 a 1000 Hz. A este intervalo lo llamamos de frecuencias bajas, la tabla 4.1.3 muestra los resultados obtenidos.

FRECUENCIA	100 Hz	200 Hz	400 Hz	600 Hz	800 Hz	1000 Hz
TIEMPO (min)	VOLUMEN NORMALIZADO					
1	0.22222222	0.105882353	0.129411765	0.094117647	0.07058823	0.094117647
2	0.33333333	0.2	0.294117647	0.188235294	0.129411765	0.17647058
3	0.55555555	0.50588235	0.45882352	0.435294118	0.36470588	0.45882352
5	0.77777777	0.823529412	0.823529412	0.705882353	0.741176471	0.84705882
7	0.81111111	0.894117647	0.941176471	0.858823529	0.88235294	0.91764705
9	0.86666666	0.97647058	1	0.905882353	0.941176471	1
11	0.88888888	1	1.023529412	0.941176471	1	1.023529412
13	0.88888888	1.023529412	1.058823529	1	1.04705882	1.05882352
15	0.88888888	1.02352941	1.05882352	1.011764706	1.04705882	1.05882352

Tabla 4.1.3. Resultados de separación a 394 V/cm y frecuencias bajas.

#### 4.1.4 RESULTADOS DE TERCERA SERIE.

En esta serie se aplicó el mismo campo eléctrico que en la serie anterior (394 V/cm), pero se cambió el rango de frecuencias de 2000 a 10000 Hz. A este intervalo se le llamó frecuencias altas.

FRECUENCIA	2000 Hz	4000 Hz	6000 Hz	8000 Hz	10000 Hz
TIEMPO (min)	VOLUMEN NORMALIZADO				
1	0.07777778	0.11111111	0.1	0.1	0.07777778
2	0.16666667	0.2	0.16666667	0.14444444	0.12222222
3	0.24444444	0.34444444	0.27777778	0.26666667	0.2
5	0.47777778	0.58888889	0.56666667	0.54444444	0.52222222
7	0.6	0.83333333	0.77777778	0.74444444	0.72222222
9	0.66666667	0.88888889	0.83333333	0.84444444	0.85555556
11	0.77777778	0.94444444	0.88888889	0.92222222	0.94444444
13	0.86666667	0.96666667	0.92222222	0.96666667	0.96666667
15	0.91111111	1	0.95555556	1	0.98888889

Tabla 4.1.4. Resultados de separación a 394 V/cm y frecuencias altas.

#### 4.1.5 RESULTADOS DE CUARTA SERIE

En la cuarta serie se modifico el campo eléctrico aplicado y la frecuencia se aplico en el intervalo bajo (100 a 1000 Hz). La tabla 4.1.5 muestra los resultados obtenidos.

FRECUENCIAS	100 Hz	200 Hz	400 Hz	600 Hz	800 Hz	1000 Hz
TIEMPO (min)	VOLUMEN NORMALIZADO					
1	0.133333333	0.111111111	0.144444444	0.088888889	0.1	0.111111111
2	0.211111111	0.188888889	0.244444444	0.133333333	0.144444444	0.166666667
3	0.311111111	0.344444444	0.377777778	0.277777778	0.3	0.333333333
5	0.666666667	0.444444444	0.611111111	0.477777778	0.5	0.722222222
7	0.866666667	0.611111111	0.744444444	0.655555556	0.688888889	0.811111111
9	0.888888889	0.755555556	0.944444444	0.811111111	0.777777778	0.933333333
11	0.944444444	0.888888889	1	0.877777778	0.888888889	1
13	1	0.944444444	1.033333333	0.911111111	0.922222222	1
15	1.022222222	0.977777778	1.033333333	0.944444444	0.944444444	1.011111111

TABLA 4.1.5. Resultados a 788 V/cm frecuencias bajas.

#### 4.1.6 RESULTADOS DE QUINTA SERIE

En la quinta serie la intensidad de campo eléctrico se mantuvo en 788 V/cm, y la frecuencia se cambió al intervalo alto de 2000 a 10000 Hz.

FRECUENCIA	2000 Hz	4000 Hz	6000 Hz	8000 Hz	10000 Hz
TIEMPO (min)	VOLUMEN NORMALIZADO				
1	0.1	0.14444444	0.13333333	0.07777778	0.08888889
2	0.21111111	0.36666667	0.44444444	0.3	0.27777778
3	0.45555556	0.64444444	0.72222222	0.52222222	0.5
5	0.78888889	0.87777778	0.88888889	0.8	0.74444444
7	0.85555556	0.94444444	0.94444444	0.94444444	0.87777778
9	0.92222222	1	1	0.97777778	0.94444444
11	0.94444444	1.03333333	1.01111111	1.01111111	0.98888889
13	0.96666667	1.03333333	1.01111111	1.01111111	1.02222222
15	0.96666667	1.03333333	1.01111111	1.01111111	1.02222222

Tabla 4.1.6. Resultados de separación a 788 V/cm y frecuencias altas.



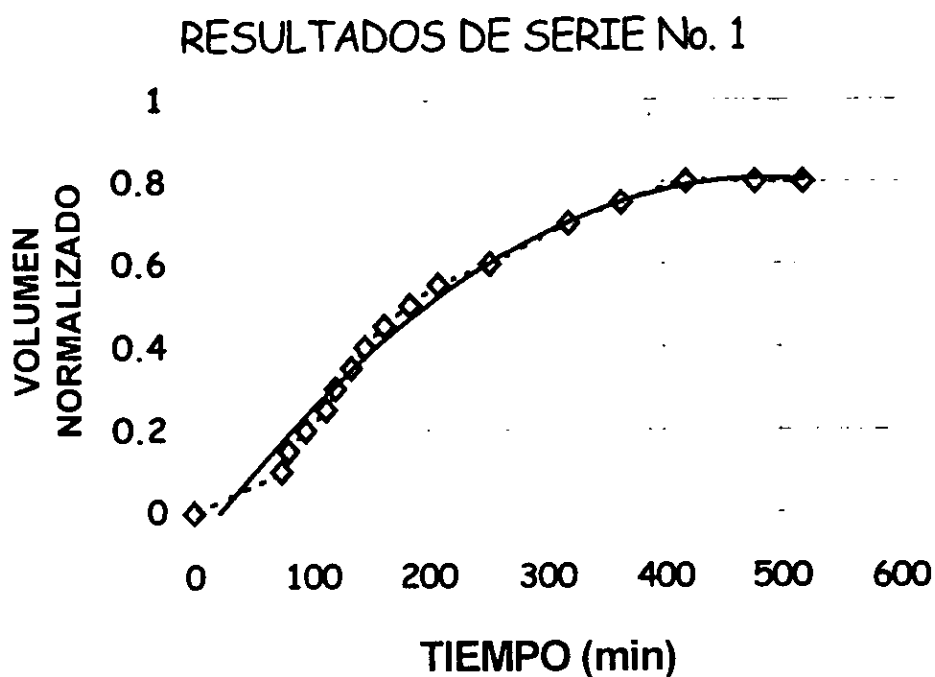
En los resultados mostrados en la tabla 4.1.2 se ve como la separación no es completa, teniendo un máximo de 80% de separación; cabe mencionar que la emulsión es inestable, y aún al estar en reposo no se separa por completo, el valor de la separación se vuelve asintótico al llegar al valor máximo.

A partir de la serie dos en adelante al aplicar un campo eléctrico el comportamiento de separación se modifica, en estos casos el tiempo de separación baja drásticamente. En todos los casos al aplicar una fuerza externa (el campo eléctrico) la tensión superficial de la emulsión baja y con esto la separación es casi inmediata.

Al comparar los resultados de cada serie se obtienen las siguientes gráficas:

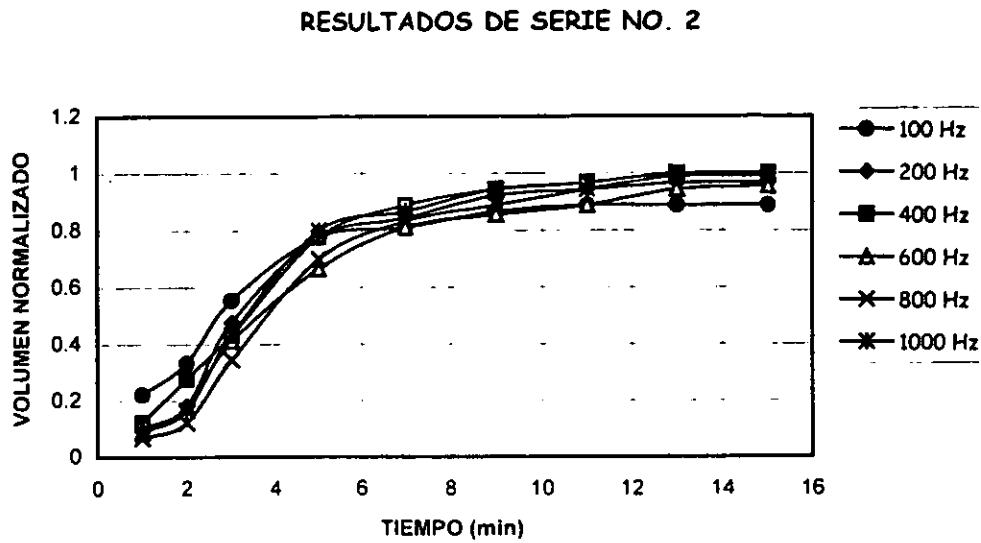
## 4.2 GRÁFICAS DE RESULTADOS

En esta sección se muestran las gráficas obtenidas de todas las series y las comparaciones entre ellas.

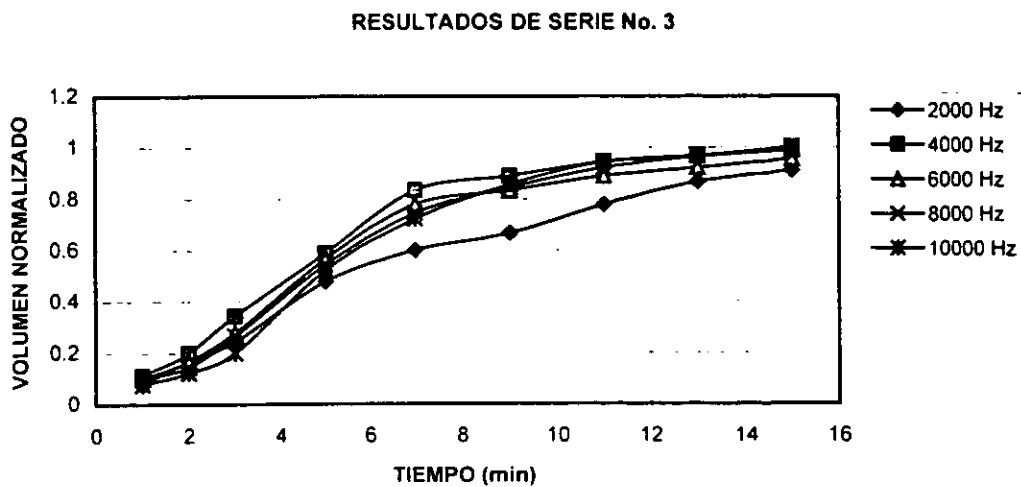


Gráfica 4.2.1. Resultados de serie 1 (serie comparativa).

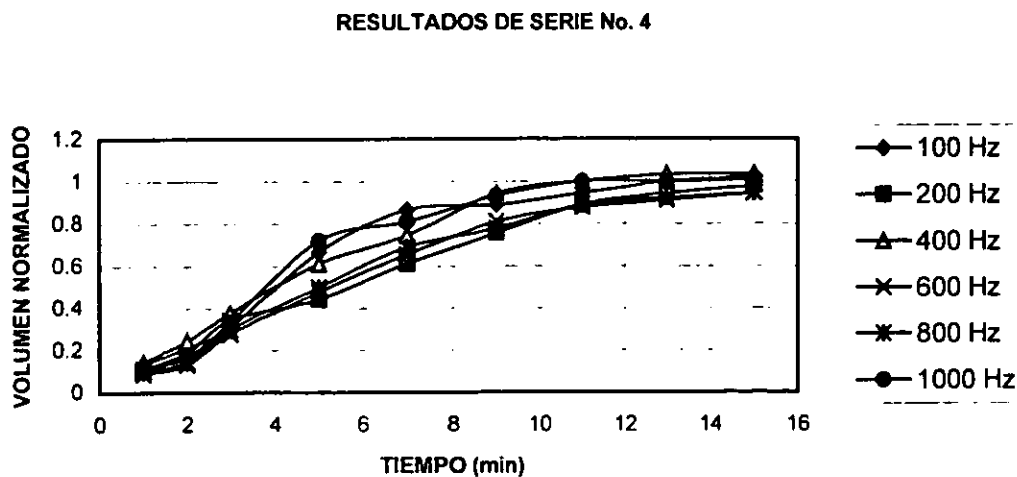
Gráfica 4.2.2. Resultados de serie 2 (394 V/cm) y un intervalo de frecuencias de 100 a 1000 Hz.



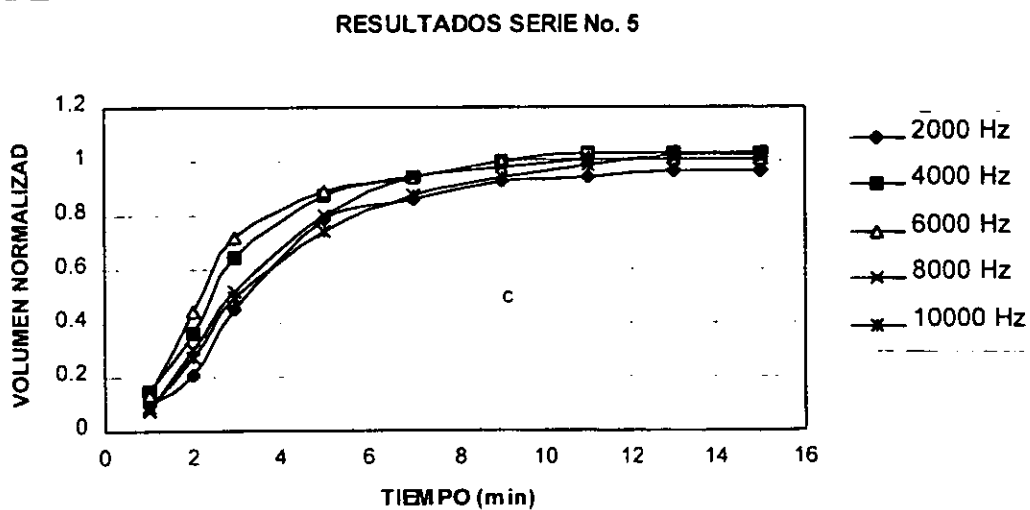
Gráfica 4.2.3. Resultados de serie 3, con (394 V/cm) y un intervalo de frecuencias de 2000 a 10000 Hz.



Gráfica 4.2.4. Resultados de serie 4, con (788 V/cm) y un intervalo de frecuencias de 100 a 1000 Hz.



Gráfica 4.2.5. Resultados de serie 5, con (788 V/cm) y un intervalo de frecuencias de 100 a 1000 Hz.



# CAPÍTULO V

## 5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al realizar el diseño y construcción del sistema de separación, se deben tomar en cuenta algunas consideraciones, por ejemplo el trabajar con elementos electrónicos implica toda una metodología para: calcular, seleccionar, conectar y probar. En los cálculos realizados, para la construcción del sistema se obtienen valores para los elementos necesarios; sin embargo a veces no se tienen esos valores en elementos comerciales, y es entonces cuando se aplican criterios de selección. En este caso se toma el inmediato superior, en el diseño de nuestra fuente este problema se tiene principalmente en resistencias y potenciómetros (resistencia variable).

Al acoplar las etapas de control y potencia fue necesario introducir un elemento no contemplado, un CI optoacoplador. Este separa físicamente las etapas de control y potencia, el circuito funciona mediante un emisor y receptor de una señal de IR (infrarrojo), que permite la protección de la etapa de control, en especial el CI 555, además de permitir la medición de los parámetros seleccionados sin interferencia.

Al aplicar un potencial de funcionalidad, se tuvieron algunas limitaciones debidas a la etapa de potencia. Estas se deben a que el transformador utilizado para el alto voltaje, no fue diseñado específicamente para el sistema propuesto. Se adaptó un transformador fly back, que esta diseñado para trabajar a frecuencias más altas y específicas. Esto se reflejaba en que al mandarle una señal diferente a la de diseño, el fly back no generaba un potencial alto y constante. Los fly back están diseñados para trabajar a frecuencias entre 10 y 100 KHZ.

Al hacer las curvas de calibración, se pueden apreciar diferentes comportamientos en la celda de separación, en función de la frecuencia y el

voltaje con que se induce el campo eléctrico. Cambia el potencial generado en la celda, según la naturaleza de la emulsión y la frecuencia de inducción del campo eléctrico.

Al realizar las pruebas de funcionalidad del sistema construido (experimentos de separación de emulsiones), se puede ver una gran disminución en el tiempo de separación (tabla 5.1), comparando con el experimento testigo sin aplicar un campo eléctrico (tabla 4.1.2).

Al esperar que se separe una emulsión que se preparó previamente y no se agregó ningún estabilizador, se tardó aproximadamente 6 horas en separar el 80% de la fase dispersa (agua), y en las pruebas realizadas en el sistema construido, el tiempo baja drásticamente hasta menos de 20 minutos.

Al analizar la tabla 5.1 y ver el comportamiento en las gráficas comparando en todas las series, tanto el volumen separado como el tiempo de separación; encontramos resultados interesantes. En la serie número 2, al aumentar la frecuencia en la inducción del campo eléctrico y llegar a 400 Hz y 1000 Hz (gráfica 5.1.1). El tiempo de separación es mínimo (9 minutos) y el volumen separado máximo (más del 90%).

La serie número 3, no presenta puntos de intersección en los parámetros medidos, sin embargo; el volumen separado llega casi al 90% en todas las separaciones y el tiempo final de separación permanece entre 15 y 20 min. (gráfica 5.1.2).

En la serie número 4, la tendencia de separación permanece casi constante (gráfica 5.1.3), pero hay dos puntos donde el tiempo de separación es mínimo (11 minutos).

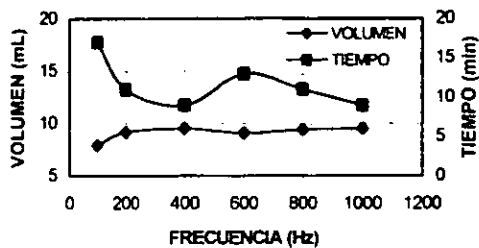
En la serie número 5 (gráfica 5.1.4) la zona comprendida entre 4000 y 6000 Hz presenta los mejores resultados, separando más del 90% del volumen y bajando el tiempo a menos de 10 minutos.

Por los resultados obtenidos, se puede apreciar que en la serie 2 y 4 al llegar a 400 y 1000 Hz los resultados obtenidos son los mejores al aplicar un potencial de 394 V/cm. Y en la serie número 5, cuando aumentó la frecuencia llegando a 4000 Hz y el potencial aplicado a 788 V/cm se separó más del 90% del volumen y el tiempo bajo a menos de 10 min. Este comportamiento se mantuvo hasta los 6000 Hz.

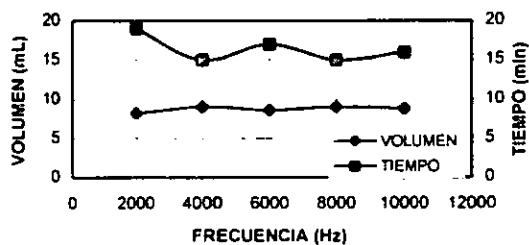


Segunda serie 100-1000 Hz					
frecuencia	máximo nor.	máximo	tiempo de separación	tiempo final	separación completa
			min.	min.	min.
100	0.88	7.92	15	17	
200	1.02	9.18	15	11	x
400	1.058	9.522	15	9	x
600	1.01	9.09	15	13	x
800	1.047	9.423	15	11	x
1000	1.058	9.522	15	9	x
Tercera serie 1000-1000 Hz					
frecuencia	máximo nor.	máximo	tiempo de separación	tiempo final	separación completa
			min.	min.	min.
2000	0.9111	8.1999	15	19	
4000	1	9	15	15	x
6000	0.9555	8.5995	15	17	
8000	1	9	15	15	x
10000	0.98	8.82	15	16	
Cuarta serie 100 -1000 Hz					
frecuencia	máximo nor.	máximo	tiempo de separación	tiempo final	separación completa
			min.	min.	min.
100	1.0222	9.1998	15	13	
200	0.9777	8.7993	15	17	
400	1.033	9.297	15	11	x
600	0.9444	8.4996	15	17	
800	0.94444	8.49996	15	17	
1000	1.0111	9.0999	15	11	x
Quinta serie 1000-10000 Hz					
frecuencia	máximo nor.	máximo	tiempo de separación	tiempo final	separación completa
			min.	min.	min.
2000	0.9666	8.6994	15	11	
4000	1.0333	9.2997	15	9	x
6000	1.0111	9.0999	15	9	x
8000	1.01111	9.09999	15	11	x
10000	1.0222	9.1998	15	13	x

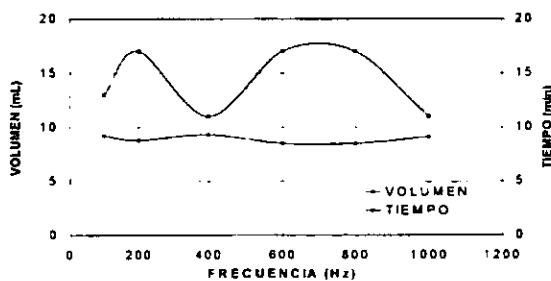
Tabla 5.1 Análisis de resultados.



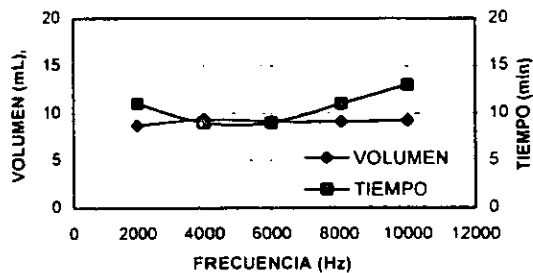
Gráfica 5.1.1 Serie número 2.



Gráfica 5.1.2 Serie número 3.



Gráfica 5.1.3 Serie número 4.



Gráfica 5.1.4 Serie número 5.

## 5.2 CONCLUSIONES

Referidas a la construcción del sistema:

- La señal generada en el sistema es de corriente directa (CD) con pulsos cuadrados positivos.
- Sí la concentración de la fase dispersa aumenta (agua), la demanda de carga también aumenta.
- La limitante de corriente del sistema es la etapa de control (CI 555). Esto se debe a sus características eléctricas de funcionamiento (Anexo A.2).
- El sistema quedó totalmente aislado entre la etapa de control y la etapa de potencia, mediante un CI optoacoplador.
- El ciclo de trabajo calculado en el sistema era de 49.61%, por lo que no fue necesario modificar la configuración del circuito propuesto para la etapa de control, sin embargo al aumentar la frecuencia de trabajo, el ciclo disminuye.
- Al trabajar con un transformador fly back no diseñado para el sistema propuesto, la frecuencia de trabajo afecta al potencial generado, debido a que la frecuencia de diseño del fly es diferente a la de trabajo, generando con esto una baja eficiencia.

Al realizar las pruebas de funcionalidad y las curvas de calibración del sistema se puede concluir lo siguiente:

- El comportamiento del sistema en el intervalo número 1(100 a 1000 Hz) es más uniforme entre 5 y 11 volts de entrada. De ahí que se seleccionara la curva 2 (6 volts) y la curva 4 (8 volts).
- En el intervalo número 2 (1000 a 10000 Hz), las curvas de calibración son muy irregulares, en todos los casos al acercarse a la máxima frecuencia el potencial generado aumenta en gran manera a más del doble. Esto se debe a que se acerca a su frecuencia de diseño, razón por la que el fly back aumenta su eficiencia.
- Al realizar las pruebas de funcionalidad, se puede apreciar que para la emulsión típica separada se tienen algunos intervalos de interés. Para el intervalo 1, al inducir el campo eléctrico con una frecuencia de 400 y 1000 Hz la separación se hace más eficiente, con un máximo de volumen separado y un mínimo de tiempo.
- En las pruebas realizadas en el rango 2, aumentando la intensidad de campo eléctrico y la frecuencia (serie 5). Entre 4000 y 6000 Hz se obtiene el mejor resultado. Con esto se puede ver que el volumen separado aumenta al aumentar la frecuencia, y la intensidad del campo eléctrico.

Cabe mencionar que se tienen que hacer más estudios sobre el comportamiento de separación de emulsiones. El objetivo de este trabajo se cumplió al construir y probar el sistema propuesto, sin embargo se puede mejorar la fuente construida y aumentar el intervalo de operación de frecuencias al cambiar o adicionar un capacitor, esperando tener un mejor control del potencial generado.

# BIBLIOGRAFÍA

---

---

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Kenneth J. Lissant, 1984. Emulsion Technology part. III. Vol. 6. Ed. Marcel Dekker, inc. New York and Basel.
2. Laurier L. Shramm. 1980. Emulsions: Fundamentals and Applications in the petroleum industry. Series Advances in Chemistry
3. Kenneth J. Lissant, 1984. Demulsifications Industrial Applications. Surfactant science series. Vol. XIII. Ed. Marcel Dekker, inc. New York and Basel.
4. Harry A. Wintermute, Plainfield. 1958. Method and apparatus for electrical separation of emulsiones. Patent 2849395.
5. Ramírez G. J. 1982. Paquete de ingeniería básica para el proceso de deshidratación de crudo en plataformas marinas. Tesis UNAM F.Q.
6. Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll. 1987. Circuitos integrados lineales y amplificadores operacionales. 2 Ed. Printice hall Hispanoamericana.
7. Milton K. Arthur H. Seidman. 1982. Manual para ingenieros y técnicos en electrónica. Mcgraw-Hill.
8. A.V. Ivanov, Smolenski 1985. Maquinas eléctricas. Tomo I. Impreso en Moscú: Energía.
9. John Markus. 1996. Manual de circuitos electrónicos. Publicaciones Marcombo. Ed. Mc Graw Hill.
10. Robert Lannini. Diciembre 1995. Electronics now. Jacob's ladder Pg. 27.
11. William D. Mc. Cain Jr. The properties of petroleum fluids. Segunda edición 1968. Petrolite Corporation. Manual Impurities in Petroleum.
12. Dennis P. Naeger, Joseph J. Perugini. 1991. Crude oil Desalting Process. US Patent 4992210.
13. 1990. Catalog of Optoelectronic Products. Ed. General Instrument Corp.

***ANEXOS***

## A.1 Especificaciones del C.I LM317.

### A.1.1 Descripción general

LM117/LM317



## LM117/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

### General Description

The LM117/LM317 are adjustable 3-terminal positive voltage regulators capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejections ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential voltage, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

The LM117K and LM317K are packaged in standard TO-3 transistor packages while the LM117H and LM317H are packaged in a solid Kovar base TO-39 transistor package. The LM117 is rated for operation from  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$ , and the LM317 from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$ . The LM317T and LM317MP, rated for operation over a  $0^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  range, are available in a TO-220 plastic package and a TO-202 package, respectively.

For applications requiring greater output current in excess of 3A and 5A, see LM150 series and LM138 series data sheets, respectively. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

LM117 Series Packages and Power Capability

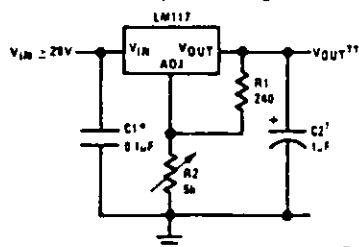
Device	Package	Rated Power Dissipation	Design Load Current
LM117	TO-3	20W	1.5A
LM317	TO-39	2W	0.5A
LM317T	TO-220	15W	1.5A
LM317M	TO-202	7.5W	0.5A

### Features

- Adjustable output down to 1.2V
- Guaranteed 1.5A output current
- Line regulation typically 0.01%/V
- Load regulation typically 0.1%
- Current limit constant with temperature
- 100% electrical burn-in
- Eliminates the need to stock many voltages
- Standard 3-lead transistor package
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

### Typical Applications

1.2V - 25V Adjustable Regulator

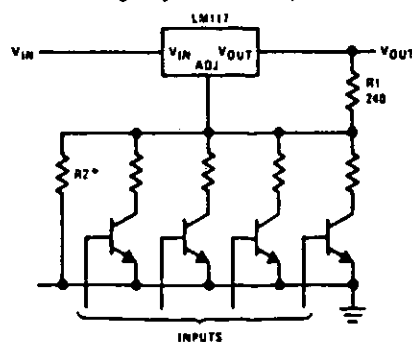


TL/H/9063-1

Full output current not available at high input-output voltages.  
 \*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.  
 †Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of  $1 \mu\text{F}$  to  $1000 \mu\text{F}$  of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

Digitally Selected Outputs



TL/H/9063-2

\*Sets maximum  $V_{OUT}$



## A.1.2 Rangos máximos de funcionamiento.

LM117/LM317

### Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.  
(Note 3)

Power Dissipation	Internally limited
Input—Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Operating Junction Temperature Range	
LM117	-55°C to +150°C
LM317	0°C to +125°C

Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering)	
- Metal Package	300°C, 10 seconds
Plastic Package	260°C, 4 seconds
ESD rating	2k Volts

### Preconditioning

Burn-In in Thermal Limit 100% All Devices

### Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM117			LM317			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Line Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ (Note 2), $I_L = 10\text{mA}$		0.01	0.02		0.01	0.04	%/V
Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$		0.1	0.3		0.1	0.5	%
Thermal Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , 20 ms Pulse		0.03	0.07		0.04	0.07	%/W
Adjustment Pin Current			50	100		50	100	$\mu\text{A}$
Adjustment Pin Current Change	$10\text{mA} \leq I_L \leq I_{MAX}$ $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		0.2	5		0.2	5	$\mu\text{A}$
Reference Voltage	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ , (Note 3) $10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ , $P \leq P_{MAX}$	1.20	1.25	1.30	1.20	1.25	1.30	V
Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ , (Note 2)		0.02	0.05		0.02	0.07	%/V
Load Regulation	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 2) $I_L = 10\text{mA}$		0.3	1		0.3	1.5	%
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		1			1		%
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		3.5	5		3.5	10	mA
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$ K and T Package H and P Package	1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
		0.5	0.8	1.8	0.5		1.8	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$ , $T_J = +25^\circ\text{C}$ K and T Package H and P Package	0.30	0.4		0.15	0.4		A
		0.15	0.07		0.075	0.07		A
RMS Output Noise, % of $V_{OUT}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{kHz}$		0.003			0.003		%
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{Hz}$ $C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$		65			65		dB
		66	80		66	80		dB
Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ\text{C}$		0.3	1		0.3	1	%
Thermal Resistance, Junction to Case	H Package		12	15		12	15	$^\circ\text{C/W}$
	K Package		2.3	3		2.3	3	$^\circ\text{C/W}$
	T Package					4		$^\circ\text{C/W}$
	P Package					7		$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient (No heat sink)	H Package		140			140		$^\circ\text{C/W}$
	K Package		35			35		$^\circ\text{C/W}$
	T Package					50		$^\circ\text{C/W}$
	P Package					80		$^\circ\text{C/W}$

Note 1: Unless otherwise specified, these specifications apply  $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$  for the LM117, and  $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$  for the LM317.  $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$ ; and  $I_{OUT} = 0.1\text{A}$  for the TO-39 and TO-202 packages and  $I_{OUT} = 0.5\text{A}$  for the TO-3 and TO-220 packages. Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for power dissipations of 2W for the TO-39 and TO-202, and 20W for the TO-3 and TO-220.  $I_{MAX}$  is 1.5A for the TO-3 and TO-220 packages and 0.5A for the TO-39 and TO-202 packages.

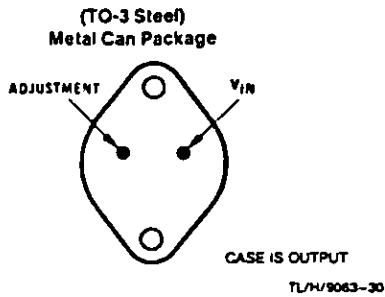
Note 2: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specification for thermal regulation.

Note 3: Refer to RETS117H drawing for LM117H or RETS117K drawing for LM117K military specifications.

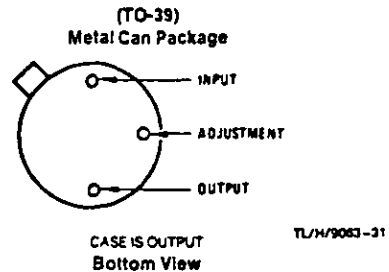
A.1.3 Diagrama de conexiones

LM117/LM317

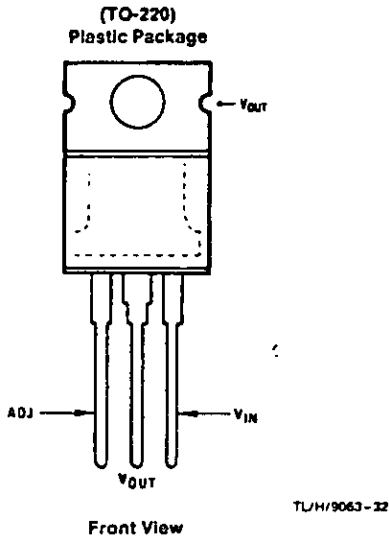
Connection Diagrams (See Physical Dimension section for further information)



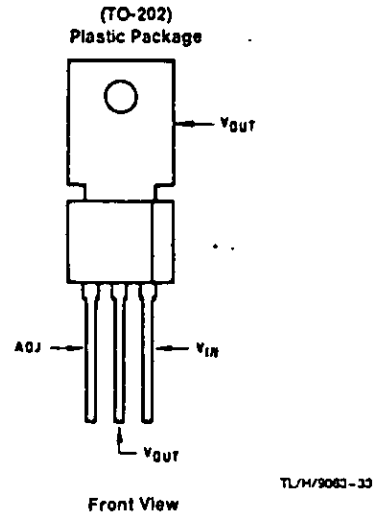
Order Number LM117K STEEL, LM317K STEEL  
See NS Package Number K02A



Order Number LM117H, LM317H  
See NS Package Number H03A



Order Number LM317T  
See NS Package Number T03B



Order Number LM317MP  
See NS Package Number P03A

## A.2 Especificaciones del C.I 555.

### A.2.1 Descripción general



## Industrial/Automotive/Functional Blocks

LM555/LM555C

### LM555/LM555C timer

#### general description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200 mA or drive TTL circuits.

- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output

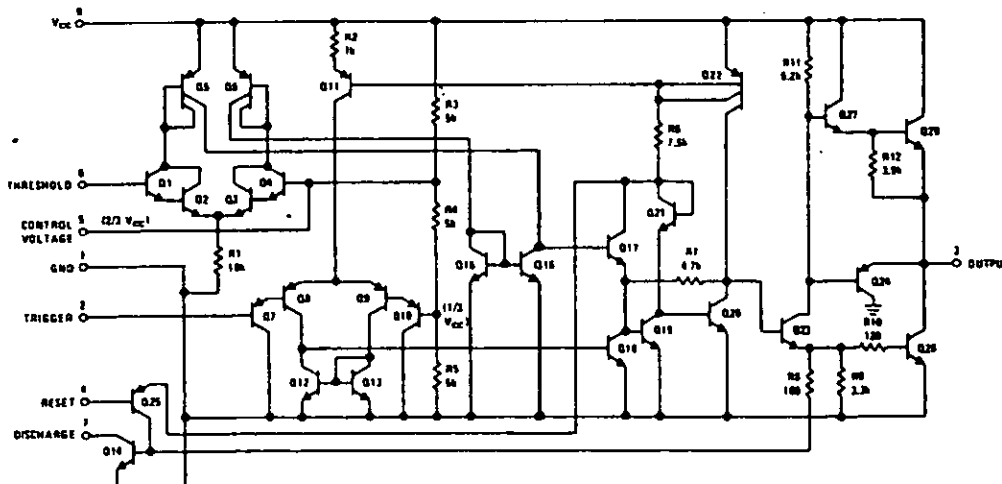
#### applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

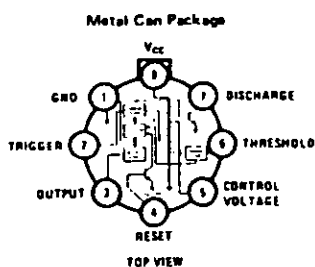
#### features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes

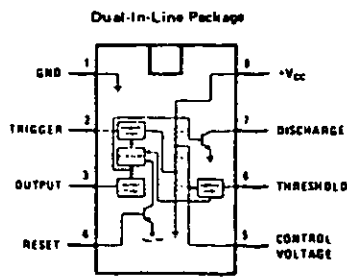
#### schematic diagram



#### connection diagrams



Order Number LM555H or LM555CH  
See Package 11



Order Number LM555CN  
See Package 20

## A.2.2 Rangos máximos de funcionamiento.

LM555/LM555C

### absolute maximum ratings

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 1)	600 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
LM555	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

### electrical characteristics ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_{CC} = +5\text{V}$ to +15V, unless otherwise specified)

PARAMETER	CONDITIONS	LIMITS						UNITS
		LM555			LM555C			
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage		4.5		10	4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$ , $R_L = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V}$ , $R_L = \infty$ (Low State) (Note 2)		3 10	5 12		3 10	6 15	mA mA
Timing Error, Monostable								
Initial Accuracy			0.5	2		1		%
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1\text{k}$ to 100 k, $C = 0.1\mu\text{F}$ , (Note 3)		30			50		ppm/°C
Accuracy over Temperature			1.5	3.0		1.5		%
Drift with Supply			0.05	0.2		0.1		%/V
Timing Error, Astable								
Initial Accuracy			1.5	5		2.25	7	%
Drift with Temperature			90			150		ppm/°C
Accuracy over Temperature			2.5	3.0		3.0		%
Drift with Supply			0.15	0.2		0.30	0.5	%/V
Threshold Voltage				0.687		0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	4.8 1.45	5 1.67	5.2 1.9		5 1.67		V V
Trigger Current			0.01	0.5		0.5	0.9	mA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4		0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 4)		0.1	0.25		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9.6 2.9	10 3.33	10.4 3.8	9 2.6	10 3.33	11 4	V V
Pin 7 Leakage Output High			1	100		1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 5)								
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$ , $I_T = 15\text{ mA}$ $V_{CC} = 4.5\text{V}$ , $I_T = 4.5\text{ mA}$		150			180		mV mV
Output Low			70	100		80	200	mV
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SINK} = 10\text{ mA}$ $I_{SINK} = 50\text{ mA}$ $I_{SINK} = 100\text{ mA}$ $I_{SINK} = 200\text{ mA}$ $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{SINK} = 8\text{ mA}$ $I_{SINK} = 5\text{ mA}$		0.1 0.4 2 2.5	0.15 0.5 2.2		0.1 0.4 2 2.5	0.25 0.75 2.5	V V V V V V V
Output Voltage Drop (High)	$I_{SOURCE} = 200\text{ mA}$ , $V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SOURCE} = 100\text{ mA}$ , $V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	13 3	12.5 13.3 3.3		12.75 2.75	12.5 13.3 3.3		V V V
Rise Time of Output			100			100		ns
Fall Time of Output			100			100		ns

Note 1: For operating at elevated temperatures the device must be derated based on a +150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of +45°C/W junction to case for TO-5 and +150°C/W junction to ambient for both packages.

Note 2: Supply current when output high typically 1 mA less at  $V_{CC} = 5\text{V}$ .

Note 3: Tested at  $V_{CC} = 5\text{V}$  and  $V_{CC} = 15\text{V}$ .

Note 4: This will determine the maximum value of  $R_A + R_B$  for 15V operation. The maximum total ( $R_A + R_B$ ) is 20 MΩ.

Note 5: No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

## A.3 Circuito optoacoplador.

### A.3.1 Descripción general.

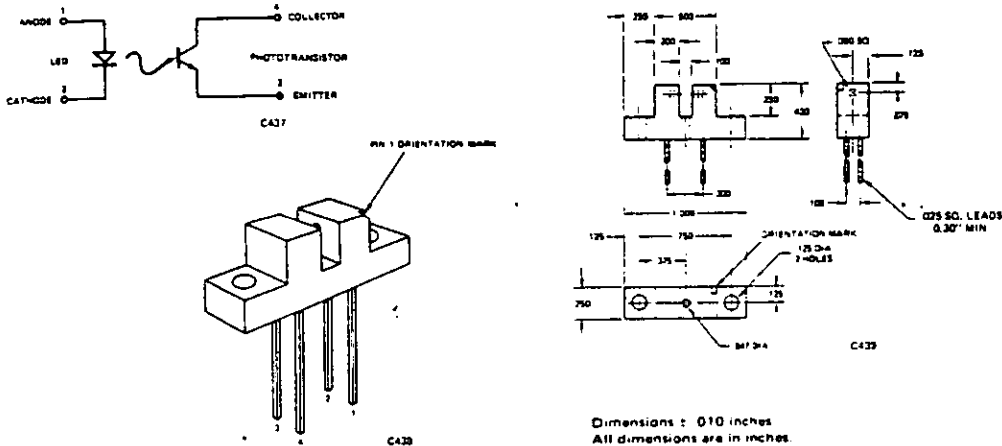
GENERAL INSTRUMENT  
Optoelectronics

**MCT8**  
**MCT81**  
SLOTTED OPTICAL LIMIT SWITCH

#### PRODUCT DESCRIPTION

The MCT8 optical limit switch transmits light from a GaAs infrared emitting diode to a silicon phototransistor. Both semiconductor chips face each other across an .1-inch air gap. The MCT8 senses an object in the air gap by the effect on light transmission.

#### PACKAGE DIMENSIONS



#### FEATURES

- Transistor detector allows faster switching speeds than darlington detector.
- Modular package design permits low cost package modification to suit any application.
- Recessed detector and use of black plastic provide a high signal to noise ratio in ambient light.
- Plugs into standard DIP socket.
- Solid copper lead-frames provide excellent heat sinking.

#### APPLICATIONS

- Optical shaft position and velocity monitor using a digitally encoded disc mounted on a shaft.
- Optical sensing of holes in paper, paper tape, IBM card, or magnetic tape.
- Optical sensing of marks on paper, paper tape, or IBM card.
- End of tape sensor using a transparent section of tape, a reflective strip on the tape, or a hole in the tape.
- End of film sensor for films not affected by infra-red light.
- Limit switch for mechanical travel such as cam switches, pressure switches, machine tool limit switches, foot pedal switches, safety interlock switches.
- Edge sensor for sheet materials such as paper, plastic film, fabric, foil, newsprint, belt sanders, reproduction paper.
- Fiber continuity monitor for fibers such as yarn, wire, thread.
- Fluid volume monitor by sensing turbine vanes passing through the slot.
- Liquid level detector of an opaque liquid.

## A.3.2 Características

### MCT8 MCT81

#### ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS (25°C Free Air Temperature Unless Otherwise Specified)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	TEST CONDITIONS
<b>INPUT DIODE</b>						
Forward Voltage	$V_F$		1.30	1.50	V	$I_F = 20 \text{ mA}$
Reverse Breakdown Voltage	$BV_R$	3.0	20		V	$I_R = 10 \mu\text{A}$
Reverse Leakage Current	$I_R$		.01	10	$\mu\text{A}$	$V_R = 3 \text{ V}$
<b>OUTPUT TRANSISTOR—MCT8</b>						
DC Current Transfer Ratio	CTR	.200	1.0		mA	$I_F = 20 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}$
Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$		0.2	0.4	V	$I_C = 50 \mu\text{A}, I_F = 20 \text{ mA}$ (Note 1)
Collector Breakdown Voltage	$BV_{CEO}$	30	55		V	$I_C = 1 \text{ mA}, I_F = 0$ (Note 1)
Emitter Breakdown Voltage	$BV_{EEO}$	5	7		V	$I_C = 100 \mu\text{A}, I_F = 0$
Dark Current	$I_{CEO}$		5	100	nA	$V_{CE} = 10.0 \text{ V}, I_F = 0$ (Note 1)
Rise Time	$t_r$		5		$\mu\text{sec}$	$V_{CC} = 10 \text{ V}, I_C = 1 \text{ mA}$ $R_L = 100 \Omega$ CIRCUIT 1
Fall Time	$t_f$		4		$\mu\text{sec}$	$V_{CC} = 10 \text{ V}, I_C = 1 \text{ mA}$ $R_L = 100 \Omega$ CIRCUIT 1
Turn-on Time (from 5 V to 0.8 V)	$t_{ON}$		6		$\mu\text{sec}$	$I_F = 40 \text{ mA}$ CIRCUIT 2 $R_B = 1.2\text{k}\Omega, R_L = 2.4\text{k}\Omega$
Turn-off Time (from SAT. to 2 V)	$t_{OFF}$		4		$\mu\text{sec}$	$I_F = 40 \text{ mA}$ CIRCUIT 2 $R_B = 1.2\text{k}\Omega, R_L = 2.4\text{k}\Omega$
<b>OUTPUT TRANSISTOR—MCT81</b>						
DC Current Transfer Ratio	CTR	50	100		$\mu\text{A}$	$I_F = 20 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}$
Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$		0.2	0.4	V	$I_C = 25 \mu\text{A}, I_F = 20 \text{ mA}$ (Note 1)
Collector Breakdown Voltage	$BV_{CEO}$	30	55		V	$I_C = 1 \text{ mA}, I_F = 0$ (Note 1)
Emitter Breakdown Voltage	$BV_{EEO}$	5	7		V	$I_C = 100 \mu\text{A}, I_F = 0$
Dark Current	$I_{CEO}$		5	100	nA	$V_{CE} = 10.0 \text{ V}, I_F = 0$ (Note 1)
Ambient Light Leakage Current			0.30		$\mu\text{A}$	$V_{CE} = 10.0 \text{ V}, I_F = 0$
Rise Time	$t_r$		3		$\mu\text{sec}$	$V_{CC} = 10 \text{ V}, I_C = 1 \text{ mA}$ $R_L = 100 \Omega$ CIRCUIT 1
Fall Time	$t_f$		4		$\mu\text{sec}$	$V_{CC} = 10 \text{ V}, I_C = 1 \text{ mA}$ $R_L = 100 \Omega$ CIRCUIT 1
Turn-on Time (from 5 V to 0.8 V)	$t_{ON}$		6		$\mu\text{sec}$	$I_F = 40 \text{ mA}$ CIRCUIT 2 $R_B = 1.2\text{k}\Omega, R_L = 2.4\text{k}\Omega$
Turn-off Time (from SAT. to 2 V)	$t_{OFF}$		3		$\mu\text{sec}$	$I_F = 40 \text{ mA}$ CIRCUIT 2 $R_B = 1.2\text{k}\Omega, R_L = 2.4\text{k}\Omega$

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Storage Temperature Range	-65°C to +100°C
Operating Temperature Range	-55°C to +100°C
Lead Temp. (Soldering, 10 sec)	260°C
Total Power Diss. @ 25°C Free Air Temperature	275 mW
Derate Linearly to 100°C ( $\theta_{JA}$ )	3.7 mW/°C

#### Input Diode

Power Dissipation @ 25°C Ambient	90 mW
Derate Linearly Above 25°C	1.2 mW/°C
Forward Current	60 mA
Reverse Voltage	3 V
Peak Forward Current (1 $\mu\text{s}$ pulse, 300 pps)	3.0 A
<b>Output Transistor</b>	
Collector-Emitter Voltage	30 V
Emitter-Collector Voltage	5 V

A.3.3 Curvas de operación.

MCT8 MCT81

TYPICAL ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTIC CURVES  
(25°C Free Air Temperature Unless Otherwise Specified)

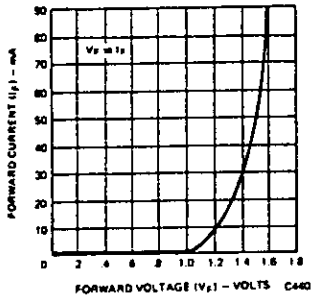


Fig. 1. Forward Voltage vs. Forward Current

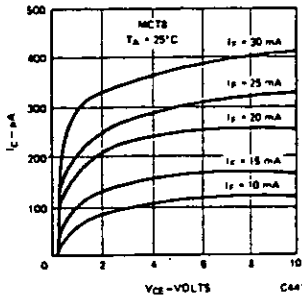


Fig. 2. Collector Current vs. Collector Voltage

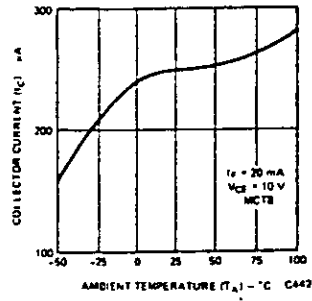


Fig. 3. Collector Current vs. Ambient Temperature

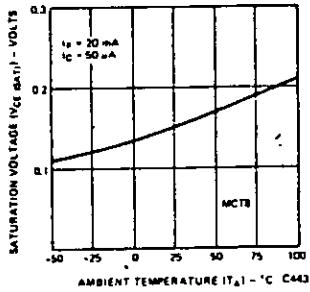


Fig. 4. Saturation Voltage vs. Temperature

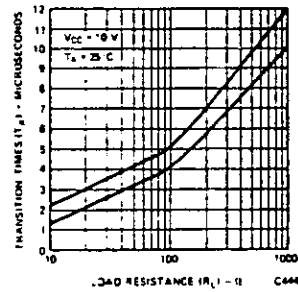


Fig. 5. Non-saturated Rise and Fall Times vs. Load Resistance

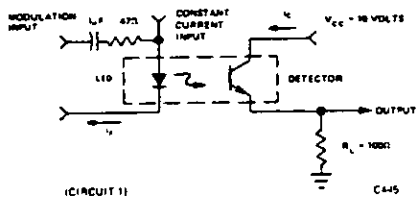


Figure 6.

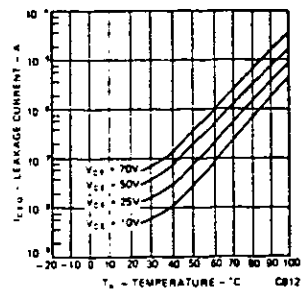
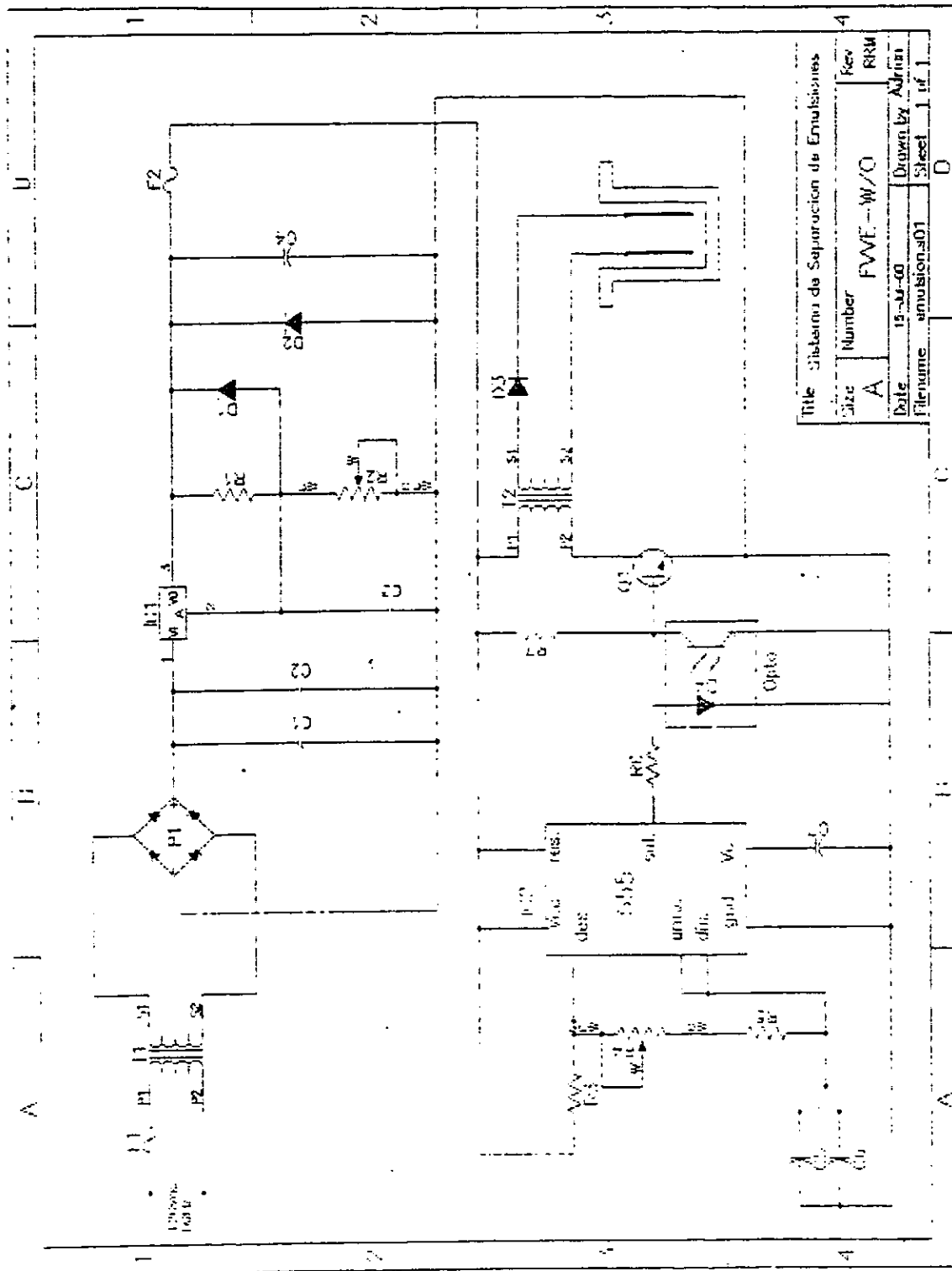


Fig. 7. Dark Current vs. Temperature





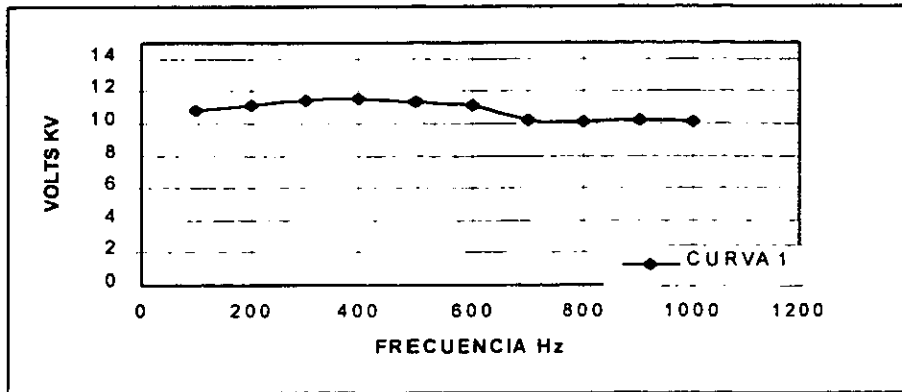
A.5 Diagrama de diseño del sistema de separación.



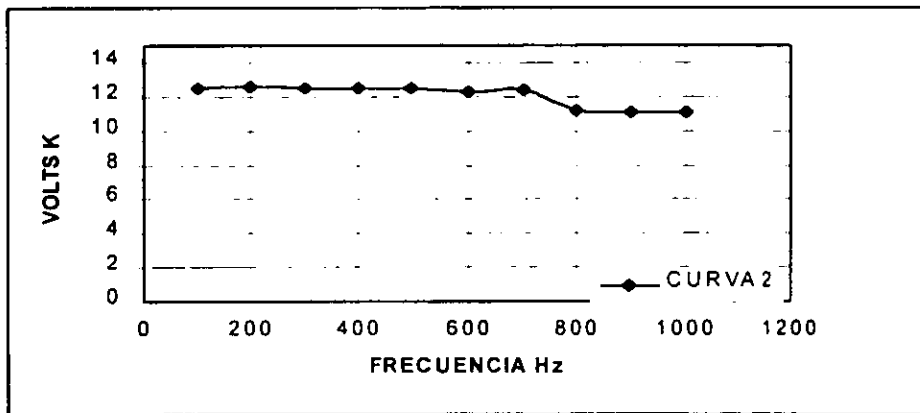
## A.6 Curvas de calibración del sistema.

RANGO: 100 a 1000 Hz.

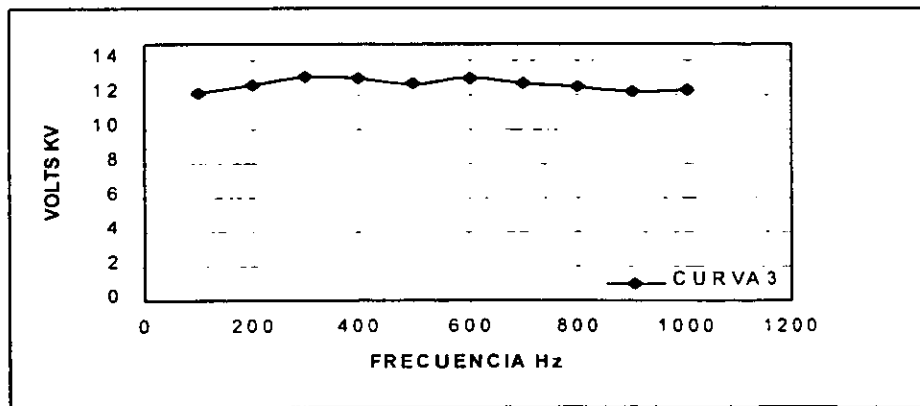
	VOLTAJE DE ENTRADA									
	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 V
FRECUENCIA	VOLTAJE GENERADO									
Hz	Kv									
100	10.8	12.5	12.15	10.5	12.7	12.1	12.15	12.2	12.2	11.9
200	11.1	12.6	12.6	6.64	13.5	13.45	13.2	13.3	13.8	12.9
300	11.45	12.5	13.05	6.65	13.37	13.3	13.5	13.45	13.2	14
400	11.5	12.5	12.97	6.67	13.1	13.4	13.45	13.47	13.35	13.3
500	11.3	12.45	12.7	6.71	13.1	13.35	13.4	7.9	9.7	13
600	11.1	12.3	12.97	6.67	12.9	13.33	13.11	13.2	12.8	13.8
700	10.2	12.35	12.7	6.69	13.15	12.8	12.95	13.2	12.5	13
800	10.1	11.2	12.5	6.7	13.2	12.9	12.55	11.02	11.3	12.3
900	10.22	11.1	12.27	6.71	11.95	12.2	12.25	11.92	11.5	11.34
1000	10.12	11.11	12.3	6.73	11.7	12	12.3	12.02	11.35	11.82



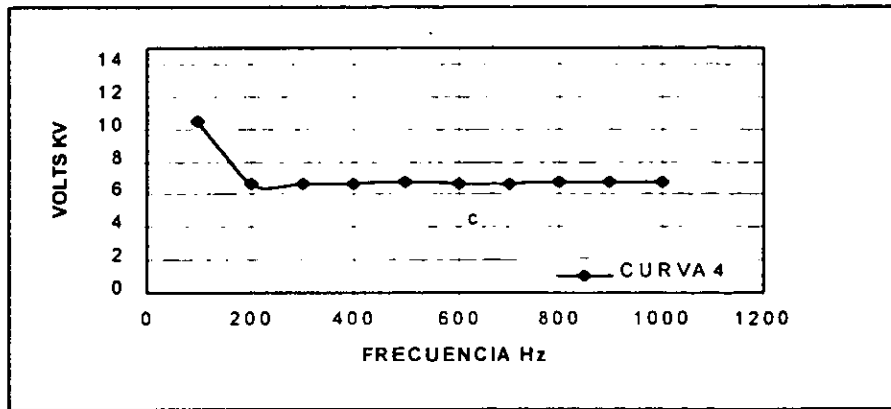
CURVA DE CALIBRACIÓN 1



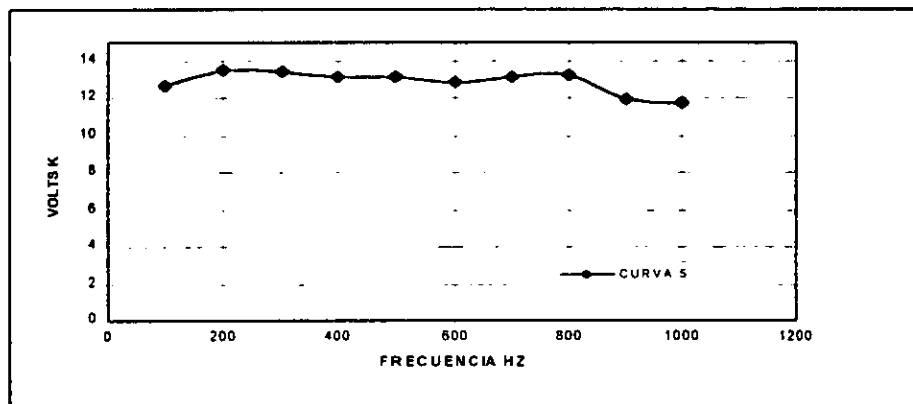
CURVA DE CALIBRACIÓN 2



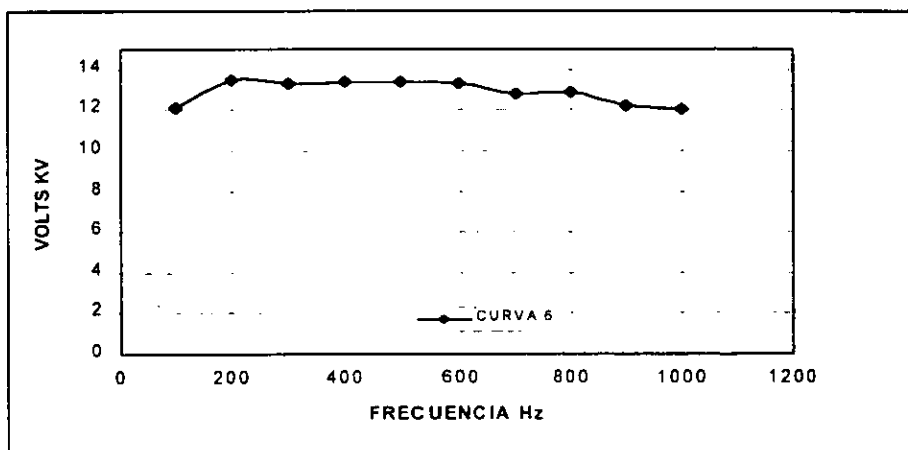
CURVA DE CALIBRACIÓN 3



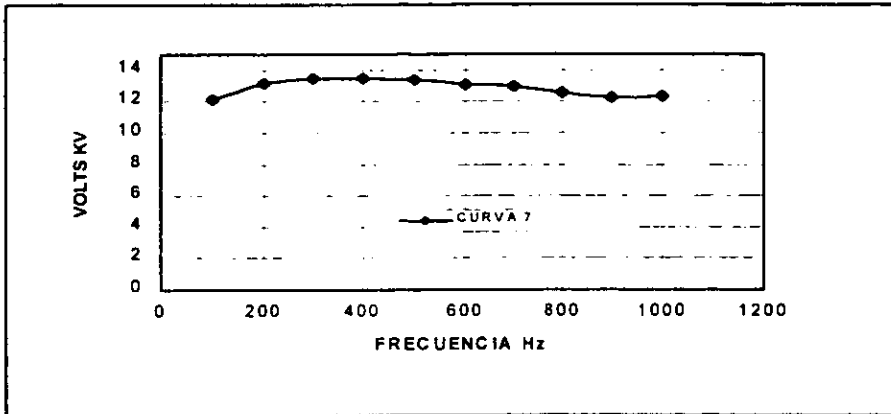
CURVA DE CALIBRACIÓN 4



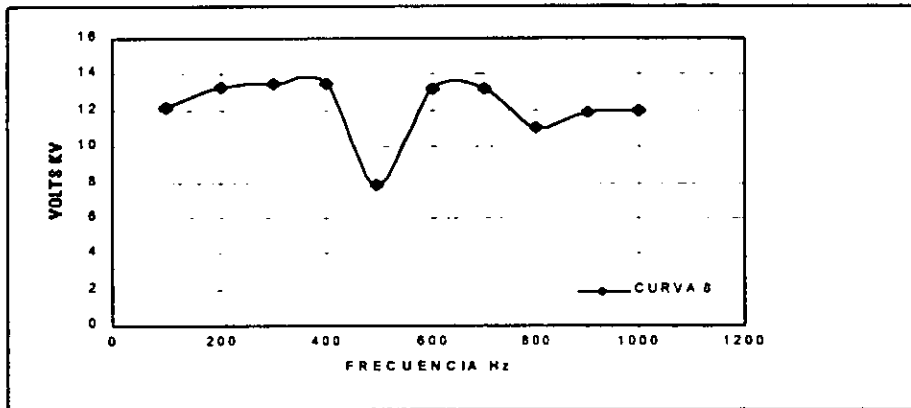
CURVA DE CALIBRACIÓN 5



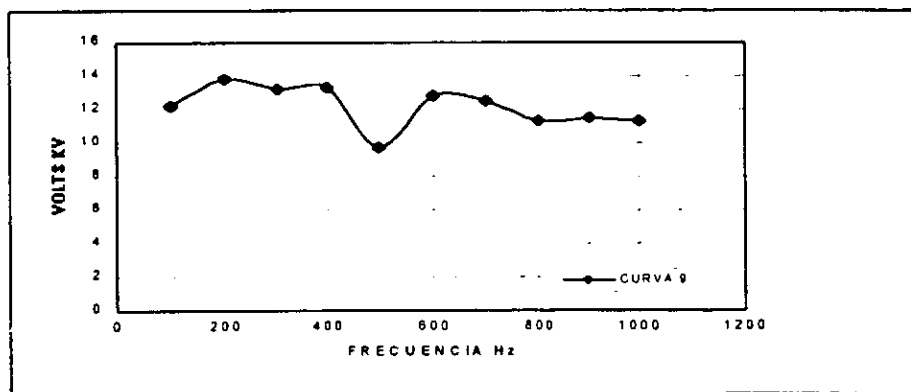
CURVA DE CALIBRACIÓN 6



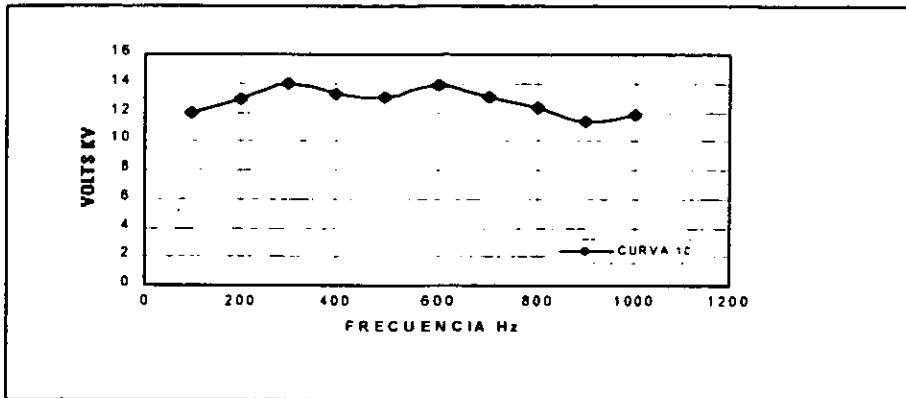
CURVA DE CALIBRACIÓN 7



CURVA DE CALIBRACIÓN 8



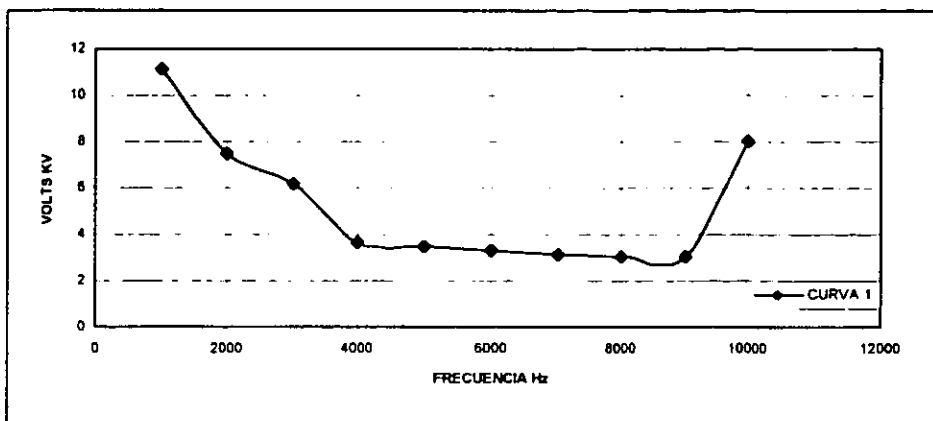
CURVA DE CALIBRACIÓN 9



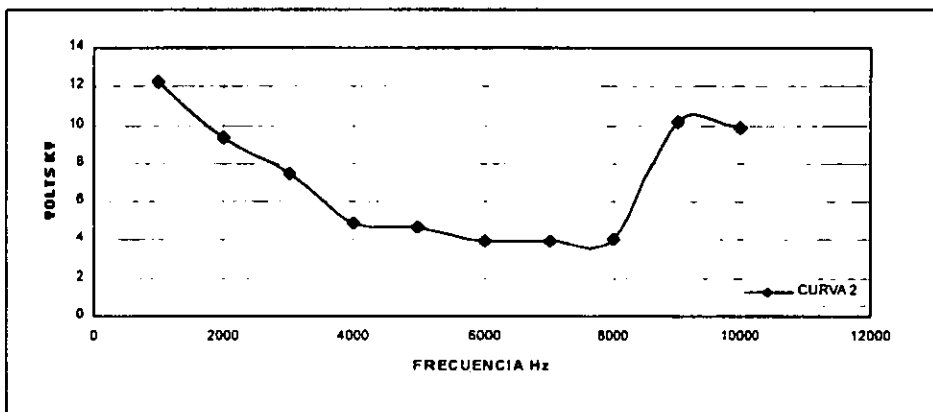
CURVA DE CALIBRACIÓN 10

RANGO: 1000 a 10000 Hz.

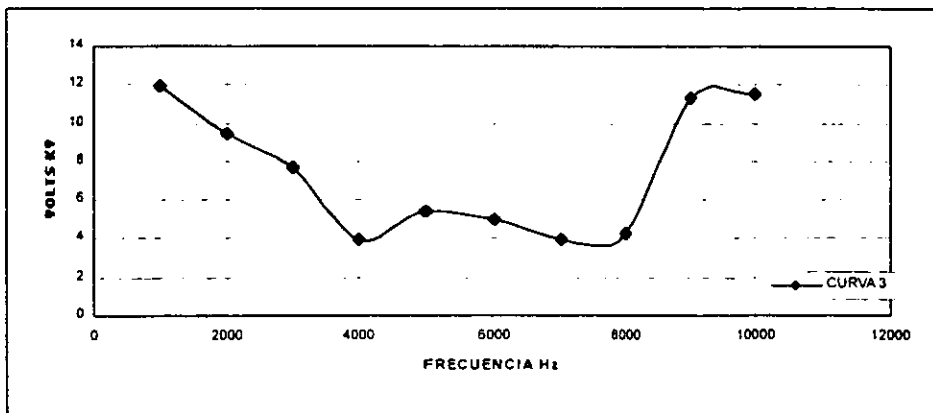
FRECUCENCIA Hz	VOLTAJE DE ENTRADA									
	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 V
VOLTAJE GENERADO										
Kv										
1000	11.1	12.2	11.9	6.46	12.1	11.3	11.8	11.1	11.5	11.2
2000	7.47	9.32	9.45	6.27	8.79	3.63	4.09	4.01	9.7	10.2
3000	6.2	7.5	7.7	6.2	4.1	3.57	4.07	3.92	4.4	5.1
4000	3.63	4.92	3.97	5.76	3.77	3.53	4.01	3.85	3.8	4.2
5000	3.48	4.63	5.37	5.55	6.85	3.51	3.97	3.78	3.7	3.7
6000	3.3	3.91	4.96	5.42	3.84	3.49	3.95	3.79	3.64	3.65
7000	3.17	3.96	3.92	5.3	5.53	3.53	4	3.89	3.6	3.6
8000	3.06	4.02	4.27	8.9	5.26	4.7	5.6	5.1	3.54	3.45
9000	3.02	10.2	11.3	8.4	12.4	12.1	13.1	13.3	13.3	13.1
10000	7.98	9.9	11.5	8.1	10.1	10.4	11.2	10.8	10.9	11.2



CURVA DE CALIBRACIÓN 1

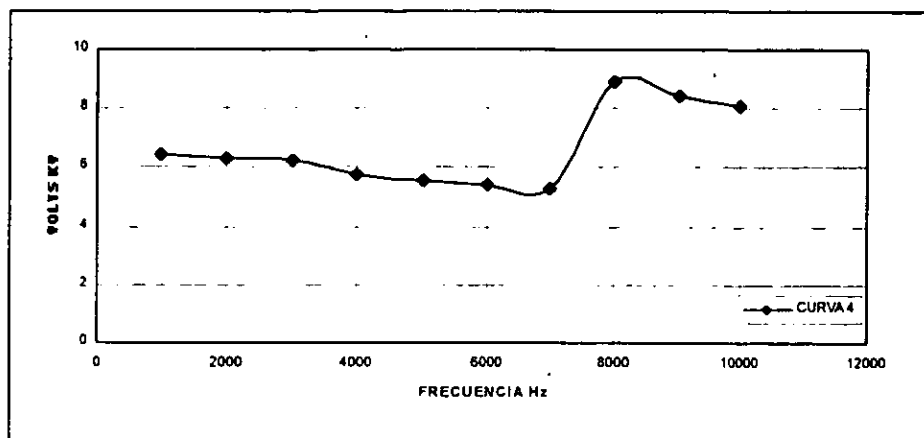


CURVA DE CALIBRACIÓN 2

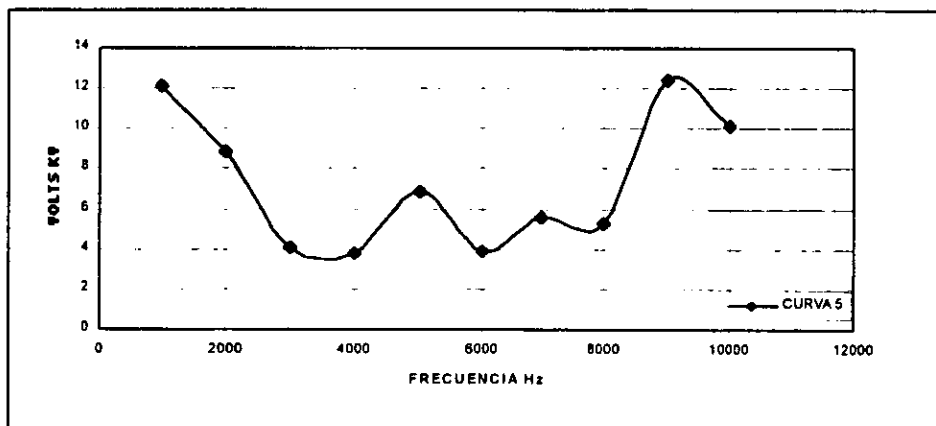


CURVA DE CALIBRACIÓN 3

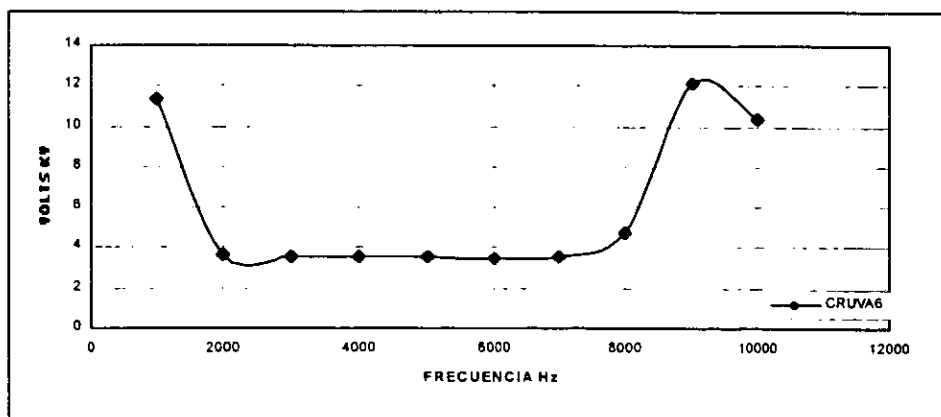




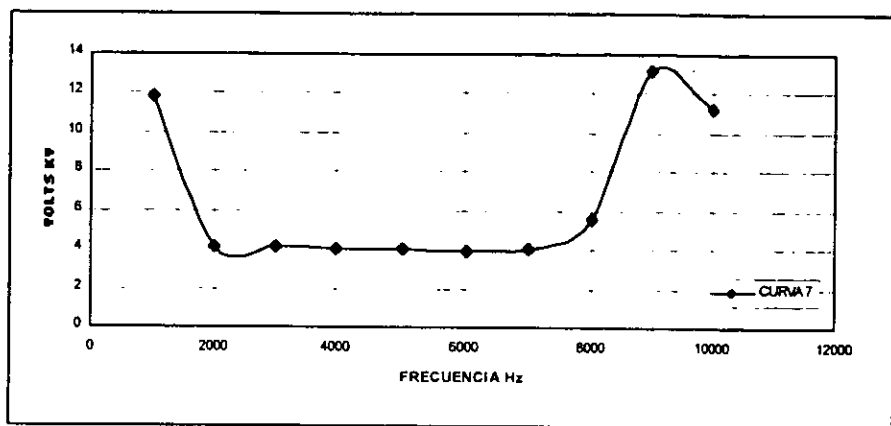
CURVA DE CALIBRACIÓN 4



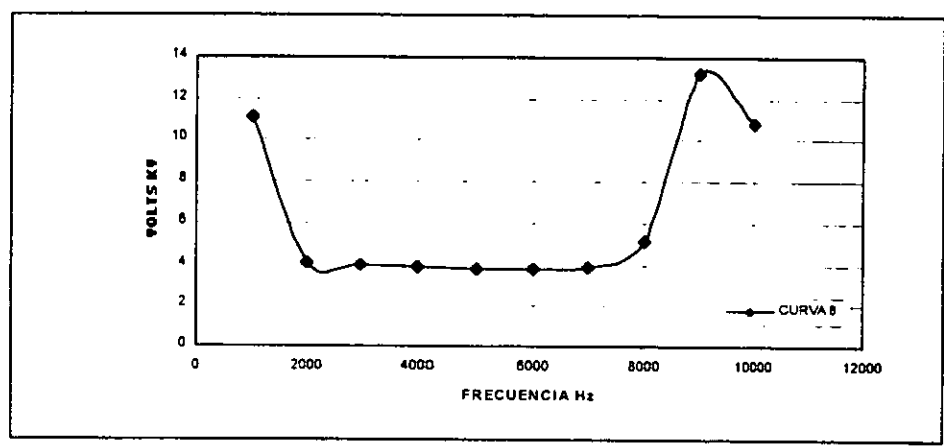
CURVA DE CALIBRACIÓN 5



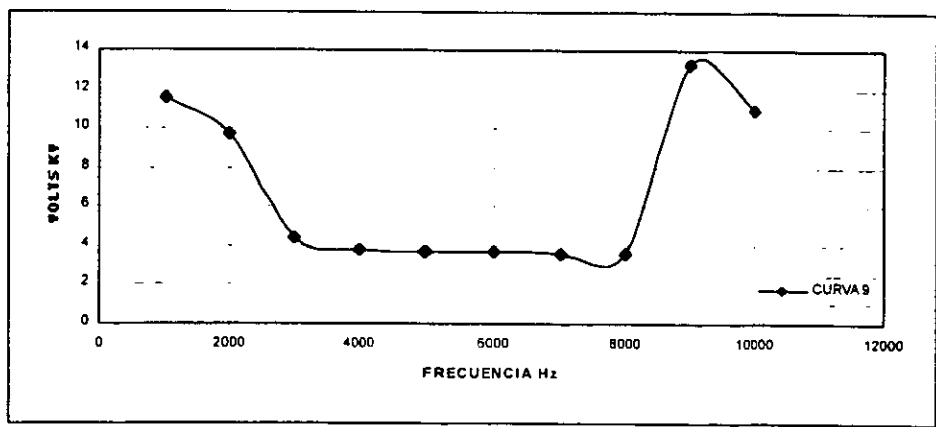
CURVA DE CALIBRACIÓN 6



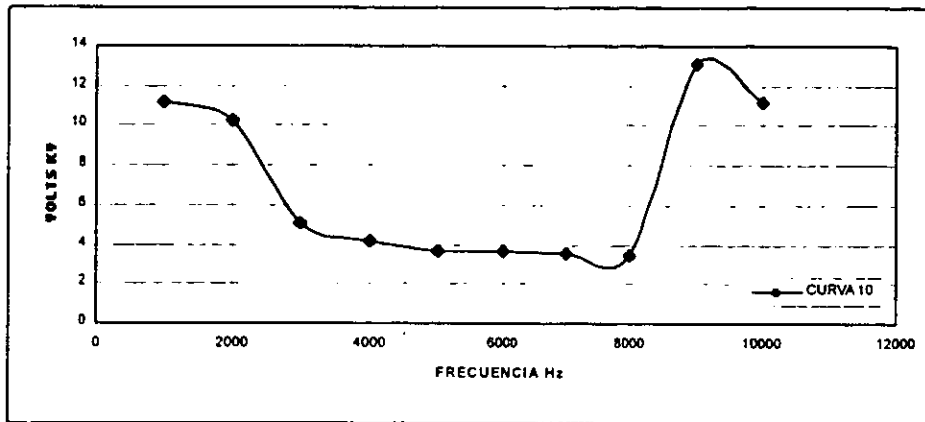
CURVA DE CALIBRACIÓN 7



CURVA DE CALIBRACIÓN 8



CURVA DE CALIBRACIÓN 9



CURVA DE CALIBRACIÓN 10