



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA FUENTE DE ALTO
VOLTAJE PARA EL GENERADOR DE ONDAS DE
CHOQUE DEBILES MEXLIT I

T E S I S
Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA (AREA ELECTRONICA)
p r e s e n t a
DORA CARMEN GALVEZ CRUZ



DIRECTOR, DR. FERNANDO E. PRIETO
CO. DIRECTORES, ING. ENRIQUE GOMEZ R.
M. EN C. ACHIM M. LOSKE M.

México, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1994



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 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.

AGRADECIMIENTOS

Dios, gracias por haberme dado este regalo tan maravilloso que es la vida, por tu presencia en ella, tu amor, el amor de mi familia, mis amigos, mi patria y mi libertad.

Papito, hoy todavía tu recuerdo me emociona y tu ausencia me duele y entristece, estuviste en presencia y permanecerás en esencia, por siempre gracias.

Mamita, mi gran amiga, consejera, porrista, amor y ejemplo gracias por creer en mi y darme tanto apoyo siempre, gracias por darme el privilegio de agradecer a Dios que tu seas mi Madre.

Rafa, muchas gracias por darme tu ejemplo, tu tenacidad me ha mostrado que nunca hay que darse por vencido. Intentar de nuevo es la diferencia entre triunfar o ser olvidado.

Manolo, gracias por soñar y compartir tus sueños conmigo, por elevar ideales y fijar metas, por hacerme ver que siempre hay un mañana y un nuevo sol.

Tía Tita, gracias por mostrarme que no importa cuando, querer es poder, y bajo cualquier circunstancia siempre puede haber una sonrisa.

Todo mi agradecimiento al Ing. Enrique Gómez Rosas ya que sin su dirección, apoyo, ayuda y su fe en mi, esta tesis no se hubiera podido realizar.

Dr. Prieto. Achim Loske, muchas gracias por su apoyo, asesoría y toda la paciencia que me brindaron.

A Cecilia Aguilar, gracias por su gran ayuda bibliográfica, al Físico Francisco Fernandez y al personal del Instituto de Física.

Muchísimas gracias al Ing. Rodolfo Peters, Ing. José Luis Rodríguez, Ing. Jorge Ortega, Ing. Ernesto Rubio, Edgar Oropeza, Ponciano Trinidad y todos los que me ayudaron tanto en el Instituto de Ingeniería.

A Jaqueline López por su amistad y ayuda, gracias.

Gracias al Ing. Sergio Aragón gerente de comunicaciones de "The Associated Press", por apoyarme e impulsarme en este fascinante mundo de la ingeniería.

A todos mis amigos y amigas que nombrarlos sería omitir alguno(a), con todo mi amor gracias.

A todos los que me han impulsado cada día, aquellos que pasan por la vida como una sombra de recuerdo dejando cosas tan valiosas, a todos mis profesores, con todo mi amor, muchas gracias.

INDICE

<i>INTRODUCCION</i>	1
<i>CAPITULO I</i>	6
I.1 Introduccion	7
I.2 Litotripsia	9
I.3 Ondas de choque	10
I.4 Métodos de generacion de ondas de choque en litotriptores	12
1.- Rayo Láser	12
2.- Microexplosivos	13
3.- Materiales Piezoeléctricos	15
4.- Electromagnéticos	17
5.- Electrohidráulicos	19

I.5 El MEXILIT I	22
<i>CAPITULO II</i>	29
II.1 Introducción	30
II.2 Tipos de Fuentes	32
1.- Fuentes lineales	32
1.1 Configuraciones de las fuentes lineales	34
a) Fuentes con regulador en paralelo	35
b) Fuentes con regulador en serie	38
2.- Fuentes conmutadas	39
2.1 Tipos de fuentes conmutadas	40
a) Fuente tipo "flyback"	41
b) Fuente tipo "forward"	43
c) Fuente tipo "push-pull"	45
3.- Características de las fuentes	46
II.3 Fuente de alto voltaje para el MEXILIT I	48

II.4 Descripción de cada una de las partes que forman la fuente de alto voltaje	51
---	----

CAPITULO III	66
--------------	----

III.1 Introducción	67
--------------------	----

III.2 Pruebas a la fuente	68
---------------------------	----

Tabla 1	70
---------	----

Tabla 2	71
---------	----

III.3 Normas de seguridad	72
---------------------------	----

CONCLUSIONES	76
--------------	----

BIBLIOGRAFIA	80
--------------	----

INTRODUCCION

Desde la Antigüedad los cálculos renales o biliares han sido una de las aflicciones más comunes de la humanidad, así como su localización y cura han sido también objeto de considerable interés y esfuerzo por parte de investigadores y médicos.

La tecnología de localización y el tratamiento de los cálculos renales o biliares ha evolucionado desde la endoscopia invasiva hasta la litotripsia extracorporeal por ondas de choque (desintegración de cálculos renales y/o biliares con métodos no invasivos)¹, la cual ha demostrado ser un tratamiento eficiente para remover cálculos con un diámetro menor a 2 cm.²

En la litotripsia extracorporeal hay varios métodos para la generación de las ondas de choque, tales como el uso de microexplosivos, materiales piezoeléctricos, descargas eléctricas y sistemas electromagnéticos, cada uno con sus ventajas y desventajas.³

La idea fundamental en la litotripsia por ondas de choque es generar una onda de choque, hacerla pasar por el cuerpo humano (con el mínimo de pérdidas) y concentrar la energía sobre el cálculo, creando una serie de esfuerzos, capaces de desmoronarlo.⁴

A pesar de que en el mercado existen aproximadamente 20 compañías que ofrecen litotriptores, hay muchos factores desconocidos, tales como el perfil ideal para la onda de choque, la energía óptima que debe de administrarse durante un tratamiento y el límite máximo al cual se puede exponer un paciente sin que sufra daños irreversibles, entre otros.

En 1987 se creó en el Instituto de Física de la UNAM, el Proyecto Choques Débiles (CHD), dando origen al Laboratorio de Choques Débiles en el año 1988.⁵

Entre las motivaciones principales para la creación de este laboratorio están las aplicaciones médicas de las ondas de choque a la desintegración de calculos renales o biliares, la búsqueda de otras aplicaciones de las ondas de choque a la medicina y el estudio de la generación de ondas de choque en agua.

Tomando en cuenta el altísimo costo que representaría experimentar con un aparato clínico, en el Laboratorio de Choque Débiles se construyó un prototipo experimental con el cual se pretende estudiar las incógnitas planteadas y sugerir nuevas aplicaciones de las ondas de choque a la medicina.^{4.4}

El equipo experimental creado en este laboratorio se denominó MEXILIT I.^{4.4} Para la generación de las ondas de choque en este caso se emplea el método de rompimiento eléctrico en agua que se describe brevemente en el capítulo I.

En el MEXILIT I se han efectuado ya diversas pruebas con órganos y tejidos en vitro, así como en vivo, con animales pequeños como ratas y perros de tamaño mediano.^{3.7}

Actualmente se estudia la interacción de las ondas de choque con la materia (modelos de cálculos renales) y con células sanas y células tumorales.

El objetivo de esta tesis es diseñar y construir una fuente de alto voltaje para operar al MEXILIT I ya que actualmente el generador de ondas de choque opera con una fuente de alto voltaje y un oscilador comerciales adquiridos en el extranjero.^{3.4}

Debido a que en un futuro no se desea depender de equipos importados resulta importante contar con una tecnología propia. Además, frecuentemente estos dispositivos fueron diseñados para satisfacer necesidades diferentes.

El diseño presentado en esta tesis se realizó de acuerdo a las necesidades específicas, eliminando algunas características de las fuentes comerciales que no son necesarias para el funcionamiento del MEXILIT I.

En la medida en que la mayoría de los componentes del generador de ondas de choque mencionado se puedan fabricar y ensamblar en el país será posible pensar en un prototipo clínico para tratamiento en humanos, a un costo mucho menor que el de los litotriptores extranjeros.

La fuente de alta tensión que alimenta al circuito eléctrico del MEXILIT I necesita un voltaje variable de directa de 10,000 Volts a 25,000 Volts, para cargar un capacitor entre los 50 nF y 100 nF, el cual deberá cargarse y descargarse repetidas veces.

En el capítulo uno se explicará con cierto detalle las ondas de choque, como se generan y la manera en la que se destruyen los cálculos renales o biliares sin cirugía. Se describe también el funcionamiento del MEXILIT I, haciendo especial énfasis en el circuito electrónico.

En el capítulo dos se describen los tipos de fuentes para alimentación de circuitos electrónicos más comunes, las necesidades de la fuente de alto voltaje para el MEXILIT I, la descripción de cada una de las partes que forman la fuente de alto voltaje, así como los diagramas esquemáticos de la misma.

Por último en el capítulo tres se presentan las pruebas de operación de la fuente, las normas que regulan la construcción de los equipos comerciales y las conclusiones.

C A P I T U L O I

- ▶ *Introducción*
- ▶ *Litotripsia*
- ▶ *Ondas de choque*
- ▶ *Métodos de generación de ondas de choque en litotriptores*
- ▶ *El Mexilit I.*

I.1 INTRODUCCION

La tecnología ha surgido y avanzado por y para el género humano, ha crecido en todas direcciones y sentidos como las ramas de un árbol, una de las ramas de la tecnología es la de la salud.

Todos quisiéramos vivir nuestras vidas sin enfermedades, aunque eso aún no es posible, los avances que la medicina ha tenido en este siglo son sorprendentes, comparados con los de los siglos anteriores. Tenemos nuevas medicinas y técnicas para curar un gran número de enfermedades, aunque del mismo modo han surgido nuevas enfermedades.

La concentración y solidificación de diversas sustancias que se presentan en zonas renales o biliares forman cálculos.

Estos son la causa de una enfermedad medicamente denominada litiasis, que se ha presentado a través de los siglos. Se tiene conocimiento de un caso al hacer una autopsia en una momia que data aproximadamente del año 4800 a.C.

Capítulo I

Se puede mencionar que a pesar de ser una enfermedad tan antigua, la cura de ésta ha sido similar durante todos estos siglos: la utilización de métodos invasivos, como por ejemplo la cirugía que comenzó a practicarse hacia finales del siglo pasado.

Uno de los mayores inconvenientes que presenta la cirugía es el hecho de ser un método invasivo, esto es, se invade al organismo para extraer el cuerpo extraño. Para los pacientes la recuperación de este tipo de intervención implica mucho tiempo y dolor, así como un gran gasto en hospitalización y convalecencia. Por otro lado el cirujano necesita una alta especialización, lo que hace que el número de cirujanos especialistas sea reducido.

El avance de la tecnología ha permitido crear métodos alternos para la cura de este mal. Uno de ellos es la litotripsia extracorporal. Con éste método el paciente sufre muy poco dolor durante el tratamiento. En el caso ideal tan solo debe permanecer algunas horas en el hospital y finalmente arrojará arenilla al orinar, quedando libre de cálculos.

I.2 LITOTRIPSIA

Pero ¿a quién se le ocurrió? y ¿cómo funciona tan innovador tratamiento?

La litotripsia en un principio fue concebida como un método invasivo hace más de 160 años. Consistía en pasar un dispositivo metálico a través de la uretra para destruir cálculos de vejiga.

Estos métodos invasivos fueron evolucionando al igual que la tecnología. Así, en la actualidad se pueden encontrar litotriptores invasivos que usan fibras ópticas con cámaras de video acopladas, rayo láser, ultrasonido, métodos electrohidráulicos, etc.

En la década de los sesentas, un grupo de ingenieros y físicos alemanes fijaron su atención en un fenómeno que se presentaba durante el impacto de un proyectil sobre un blanco. Este impacto no solo originaba daños en la superficie del blanco, sino que también en alguna región interna. Al llevar esta idea al campo de la medicina vieron la similitud.

Uno de los primeros en tener la idea de utilizar ondas de choque para litotripsia no invasiva (litotripsia extracorporal) fue E. Häusler, de la Universidad de Saarbrücken, Alemania Federal, alrededor de 1970.³

I.3 ONDAS DE CHOQUE

Independientemente del método de generación de las ondas de choque, el principio de funcionamiento de todo litotriptor es el mismo: Generar una onda de choque, hacerla pasar por el cuerpo humano y concentrar su energía (con el mínimo de pérdidas posible) en una región relativamente pequeña.

Una onda de choque es una onda mecánica. esto es. una onda que hace vibrar a la materia y que la requiere para propagarse y transportar energía, lo que no implica que transporte materia, hace moverse a las partículas que comprenden la materia alrededor de cierta región, sin que realmente se tenga un transporte de alguna sustancia.

Capítulo I

En los tratamientos de litotripsia extracorporal con un equipo de descargas eléctricas, por lo general se requieren entre 1000 y 3000 descargas, usando capacitores entre 40 y 80 nF, cargados a voltajes que van desde 15,000 V, hasta 28,000 V.

I.4 METODO DE GENERACION DE ONDAS DE CHOQUE EN LITOTRIPTORES

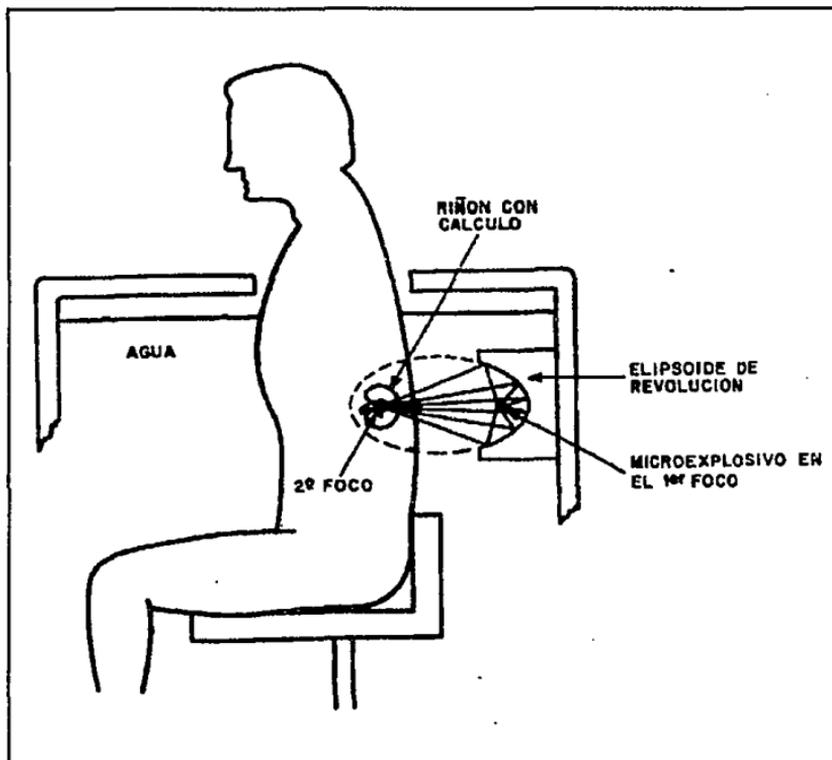
Existen varios métodos para la generación de ondas de choque, cada uno con sus ventajas y desventajas:

1.- Rayo Láser

La generación de ondas de choque para litotripsia extracorporal utilizando rayo láser teóricamente sería ideal. Aún no existe este tipo de litotriptores para aplicación clínica, ya que para ello se requiere de una gran pureza en el medio de propagación (generalmente agua), debido a que cualquier impureza produciría concentraciones de energía fuera del punto deseado. Cabe destacar que existen litotriptores invasivos que hacen pasar el rayo láser por una fibra óptica, ésta debe ponerse casi en contacto con el cálculo. Los litotriptores de este tipo son muy eficientes, sin embargo no dejan de ser invasivos.

2.- Microexplosivos

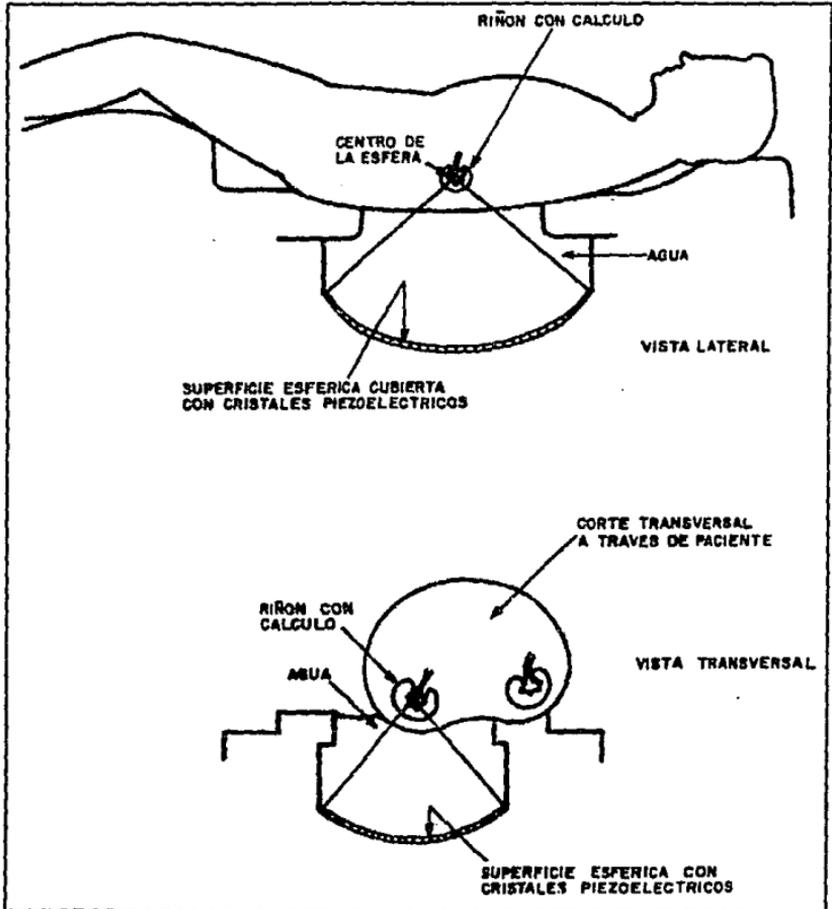
En este tipo de litotriptores (como se muestra en la ilustración), el paciente adopta la posición sentada, dentro de una tina de agua. Atrás de él hay un elipsoide que contiene un microexplosivo en el foco más cercano al elipsoide. Al detonar, produce una onda de choque que es reflejada por el elipsoide y concentrada en el cálculo renal. Este método tiene la desventaja de tener que reemplazar los microexplosivos después de cada detonación, lo cual resulta poco práctico para aplicaciones médicas en las que se requieren un gran número de descargas, además de un cuidado especial. En Japón ya se están usando estos aparatos (litotriptores) en humanos, sin embargo aún están en etapa de desarrollo.



Litotriptor con microexplosivos

3.- Materiales Piezoeléctricos

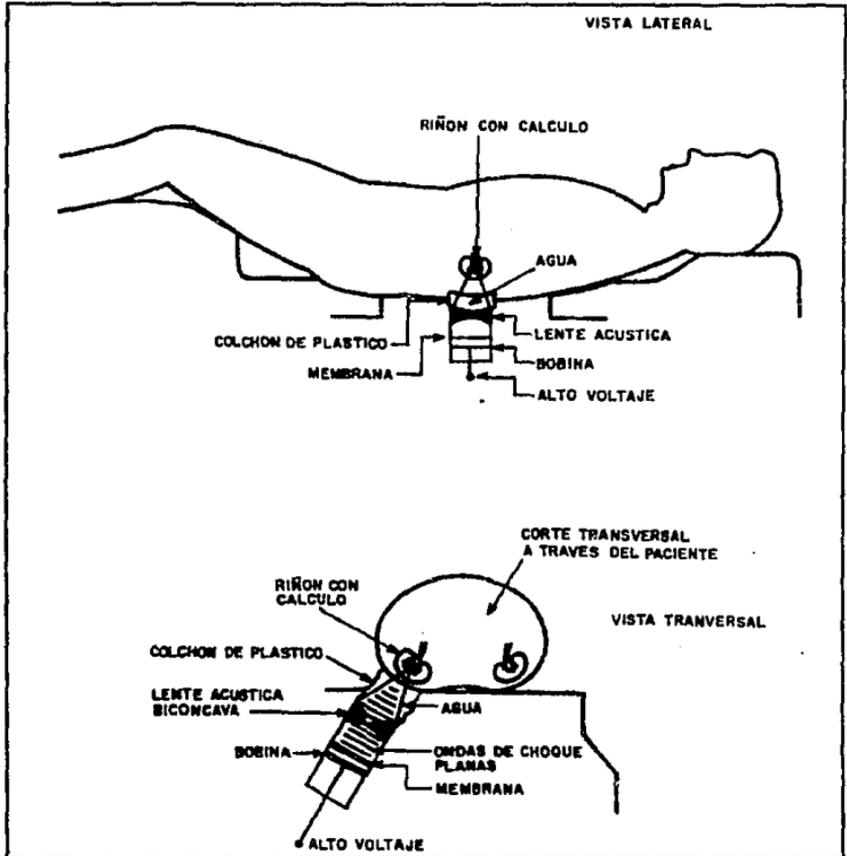
Sobre una superficie esférica se montan cientos de cristales piezoeléctricos. Los cristales piezoeléctricos son materiales que aumentan o disminuyen bruscamente su tamaño al aplicarles un voltaje (que tenga un tiempo de ascenso corto). Al aplicar un pulso de alto voltaje los cristales se expanden y de esta manera el agua que los rodea se comprime generándose una onda de compresión, que al propagarse en el medio (agua) se transforma en una onda de choque. Estos materiales han demostrado una vida útil comparativamente larga y un comportamiento eficiente. Generalmente se usan cristales de bario.



Litotriptor con materiales piezoeléctricos

4.- Electromagnéticos

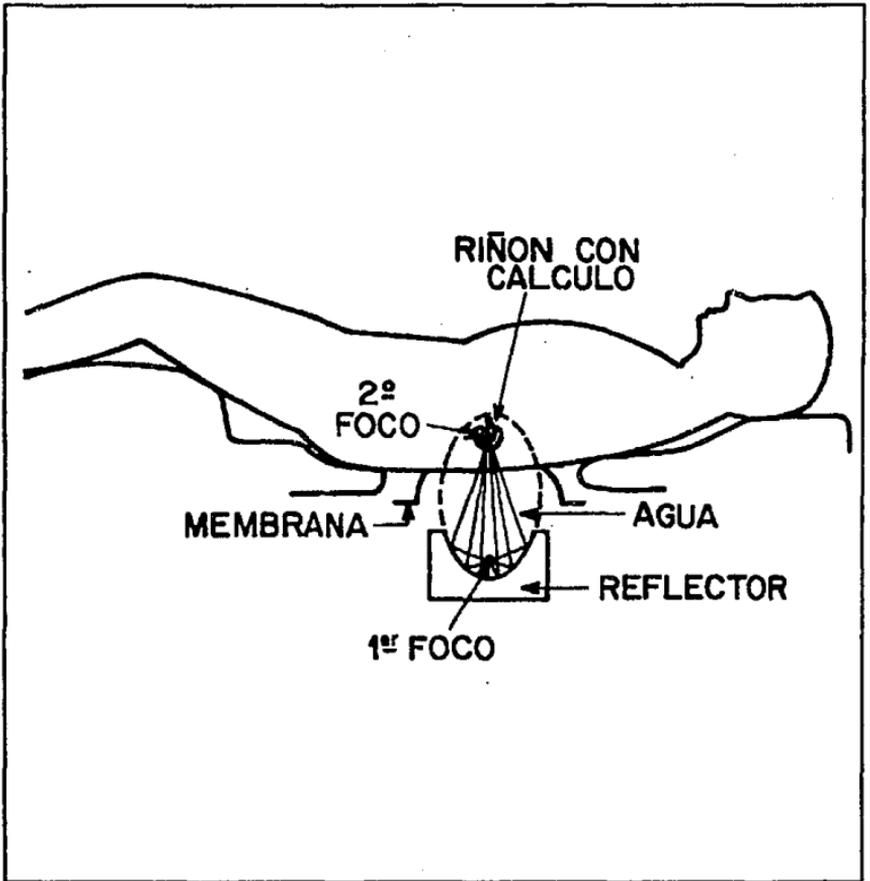
Al aplicar alto voltaje sobre una bobina, ésta repele a una membrana metálica generando ondas planas de compresión dentro del agua. Estas ondas son enfocadas mediante una lente acústica bicóncava. Aunque éste método es muy eficiente, la membrana es lenta comparada con otros sistemas, produciendo una onda de choque con un tiempo de ascenso mayor. Para la desintegración de cálculos es conveniente que la onda tenga un tiempo de ascenso muy corto.



Litotriptor electromagnético

5.- Electrohidráulicos

Entre dos electrodos sumergidos en agua se genera una descarga de alto voltaje del orden de las decenas de miles de volts, la cual forma un pequeño canal de plasma que se expande súbitamente y comprime al agua que hay alrededor, formando una onda de compresión que posteriormente se convierte en onda de choque. Para enfocar éste tipo de ondas de choque se utilizan elipsoides de revolución truncados, con la finalidad de que la onda generada en uno de los focos sea reflejada y concentrada en el segundo foco. Este método tiene la ventaja de poderse reproducir fácilmente y tener una alta velocidad de expansión del plasma producido por la descarga. Sin embargo la energía varía al desgastarse los electrodos, por lo que es importante cambiarlos después de cierto número (miles) de descargas. Otra desventaja son los cambios de presión que hay entre una descarga y otra.



Litotriptor electrohidráulico

Capítulo I

Entre el paciente y el lugar en donde se genera la onda de choque debe haber un medio homogéneo. De ahí que haya diversos tipos de acoplamientos. Los litotriptores, como muchos otros equipos médicos comerciales, tienen varias presentaciones, que van desde las tinas de agua (modelos antiguos) en donde se sumerge al paciente, hasta colchones de agua sobre los que se recuesta el mismo y se le aplica un gel para lograr dicha homogeneidad.

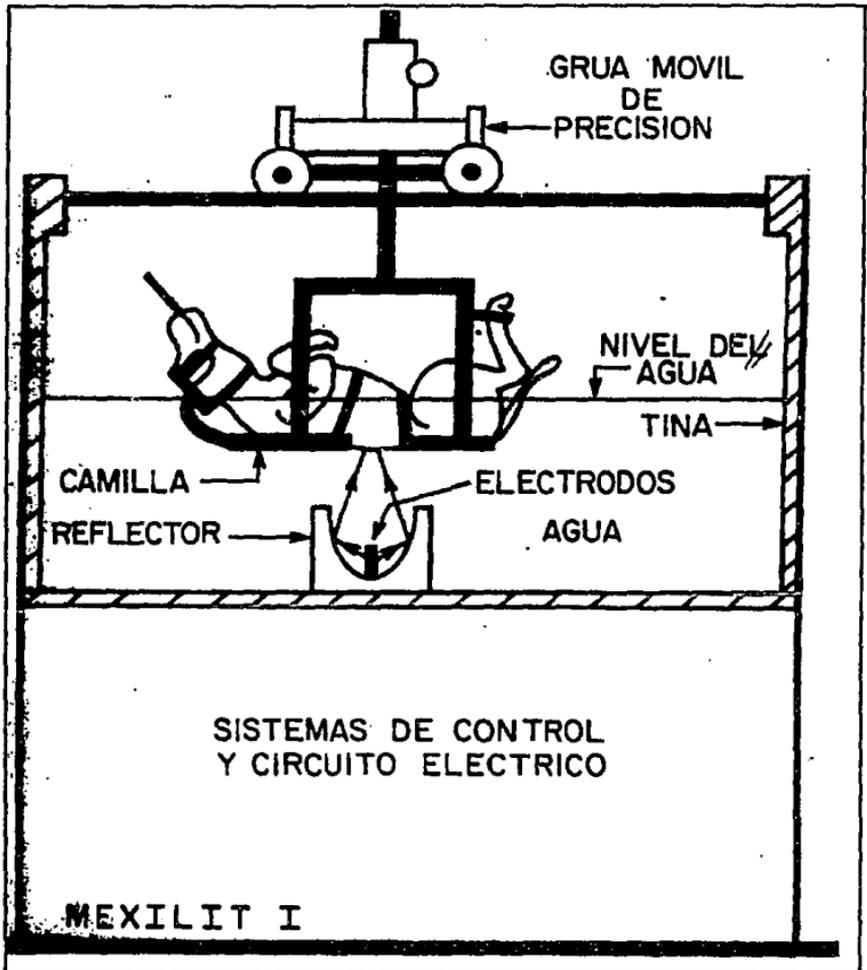
Dado que existen todavía muchas interrogantes alrededor del efecto de las ondas de choque sobre los cálculos y tejidos y como éstas tienen una gran aplicación en el campo de la medicina, en el Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México, se creó el Laboratorio de Ondas de Choque Débiles, para explorar nuevas aplicaciones de las ondas de choque, los efectos que producen sobre la materia y mejorar los principios de generación de las ondas de choque, con la finalidad de que en un futuro se tengan tratamientos más eficientes.

Para ésta investigación el Laboratorio de Ondas de Choque Débiles se dio a la tarea de construir un generador de ondas de choque, ya que si se adquiriera uno comercial sería difícil de modificar y una inversión difícil de justificar. Este equipo experimental lleva el nombre de Mexilit I.

I.5 EL MEXILIT I

Este generador experimental de ondas de choque utiliza el método electrohidráulico y está formado por una tina de fibra de vidrio la cual tiene en los costados dos ventanas para visualizar los experimentos. En el piso y en las paredes se tienen escalas graduadas y las respectivas entradas de agua (fría y caliente), así como un desagüe. En el fondo tiene un taquete circular de nylon con cuerda en su interior. Aquí se atornilla la bujía en donde se producen las descargas de alto voltaje. La bujía sale parcialmente por abajo de la tina, para hacer las conexiones eléctricas.

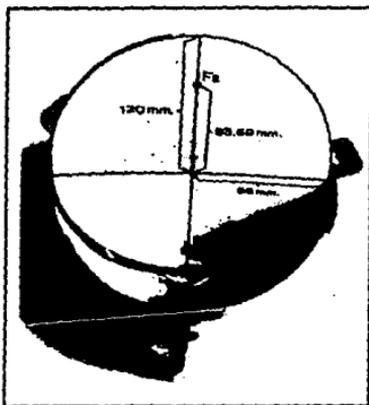
Sobre la tina hay una grúa móvil con tres grados de libertad. Se cuenta también con una camilla especial que permite hacer experimentos con animales pequeños y con una planta de tratamiento de agua para desgasificar y purificar el agua que entra a la tina, minimizando así las pérdidas de energía por formación de burbujas que genera la onda de choque al propagarse por dicho medio.



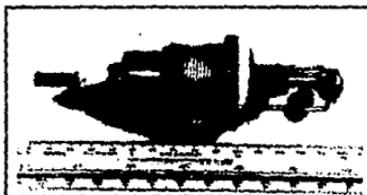
El MEXILIT I durante una litotripsia extracorporeal en un perro

Capítulo I

Se diseñaron varios reflectores y bujías, las cuales se usan según el experimento que se planea. Los reflectores están hechos de acero inoxidable y las bujías de nylon, acero inoxidable, latón y puntas de tungsteno con torio.



Elipse



Bujía

Capítulo I

La parte medular del generador electrohidráulico es el circuito electrónico. Este circuito tiene una inductancia total del orden de los 300 nH o menor, con la finalidad de que los eventos se reproduzcan rápidamente. La frecuencia de la descarga (para aplicaciones médicas) debe ser de 1 Hz aproximadamente, con el fin de realizar tratamientos en un tiempo razonable.

El circuito eléctrico del Mexilit, como se muestra en la figura; se compone de diversos elementos. Los principales son:

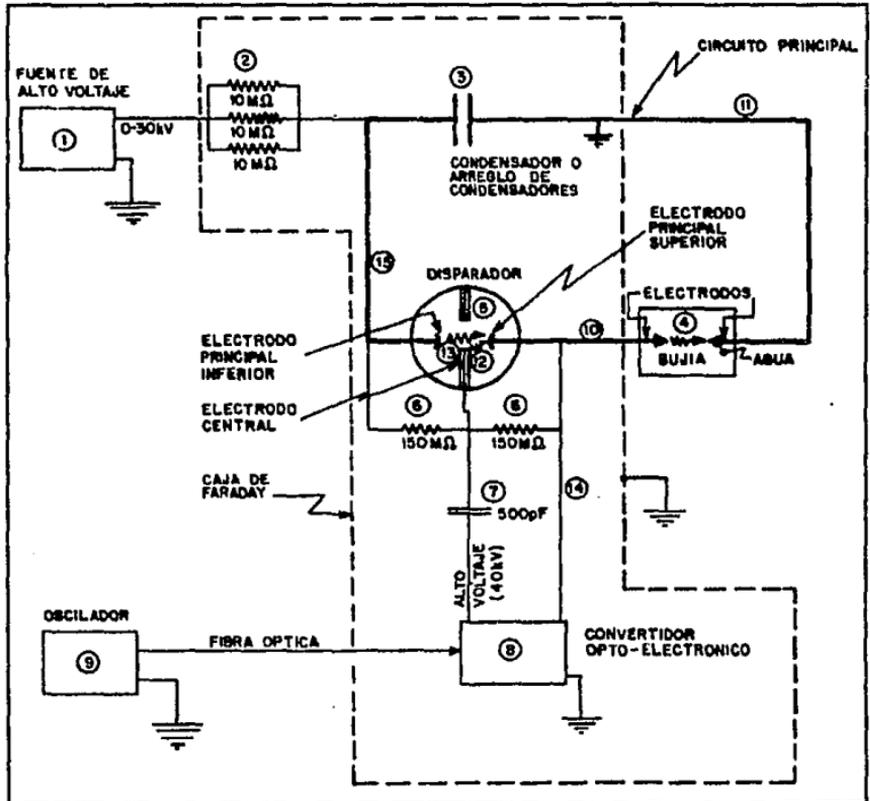
1.- Fuente de alto voltaje fabricada por la compañía "Gamma High Voltage Research", sus especificaciones son 600 W, 20 mA y voltaje variable de 0 a 30 kV.

2.- Un oscilador y transmisor óptico marca "Impulse Engineering" con una frecuencia variable de 0.01 a 1200 Hz.

3.- Un convertidor optoelectrónico marca "Impulse Engineering" con un voltaje de salida de 40 kV, 1.2 A de corriente de salida, ancho de pulso de corriente de 1µs y una frecuencia de pulsos de 0 a 50 Hz.

4.- Un disparador electrostático "Impulse Engineering" .

5.- Capacitores de diferentes valores, fabricados por "CSI Technologies".



Circuito electrónico

El funcionamiento del circuito eléctrico puede dividirse en dos partes, una es destinada a cargar al capacitor y la otra fija la frecuencia de disparo.

La fuente carga el capacitor a través de tres resistencias de 10 M Ω conectadas en paralelo. El otro extremo del capacitor esta conectado a tierra y a su vez a uno de los electrodos de la bujía, el otro polo de esta bujía se conecta a uno de los electrodos del disparador.

Cuando el capacitor está cargado al voltaje deseado se acciona el oscilador que emite un pulso óptico. Este pulso viaja por una fibra óptica hasta el convertidor optoelectrónico (que se encuentra en la parte inferior de la tina) y lo convierte en un pulso de alto voltaje (40 kV), que llega al disparador, en donde por diferencia de potencial se produce un arco de baja corriente. Este arco tiene como finalidad ionizar el aire para que el interruptor "se cierre" y el capacitor se descargue a través de los electrodos de la bujía en la tina.

El disparador funciona como un interruptor de alta velocidad con la ventaja de no ser de tipo mecánico. Para evitar descargas inesperadas se mantienen separados los electrodos principales del disparador a una distancia aproximada de 3 cm. Los electrodos de la bujía en el agua tienen separaciones que generalmente no exceden los 3 mm.

Mediante una resistencia de alto voltaje se impide que el pulso del convertidor se descargue directamente a tierra por la línea o hacia la fuente de alto voltaje. de la misma forma las tres resistencias de 10 M Ω conectadas en paralelo protegen la fuente de alto voltaje, impidiendo una descarga de los capacitores a través de ella. Todos estos elementos están aislados por una caja de Faraday aterrizada. Así, cualquier fuga de alta tensión se descarga directamente a tierra, protegiendo de esta forma al usuario y evitando de la misma manera cualquier tipo de campo electrostático. A pesar de la caja de Faraday que aísla los componentes eléctricos debajo de la tina, el campo generado por las descargas dentro de la tina es bastante grande.

CAPITULO II

- ▶ *Introducción*
- ▶ *Tipos de fuentes*
- ▶ *Fuente de alto voltaje para el Mexilit I*
- ▶ *Descripción de cada una de las partes que forman la fuente de alto voltaje*

II.1 INTRODUCCION

Como se mencionó en el capítulo anterior, en el Laboratorio de Choques Débiles del Instituto de Física de la UNAM, se diseñó y construyó un generador de ondas de choque débiles para la experimentación y búsqueda de nuevas aplicaciones en la medicina. Una de las inquietudes principales de éste laboratorio es la creación de tecnología nacional, contribuyendo de esta forma en el futuro de nuestro país.

En este tipo de equipos, la fuente de alimentación requerida para la generación de ondas de choque debe tener un rango entre los 10,000 y 25,000 Volts, con una corriente de pico de 3 mA.

Sabiendo que su función principal es cargar el capacitor, (el cual será descargado de forma instantánea en periodos diversos de tiempo), la fuente debe de tener la capacidad necesaria para satisfacer estos voltajes y tiempos de carga del capacitor.

Actualmente, el generador de ondas de choque débiles utiliza una fuente de alto voltaje de importación, que además de tener un alto costo presenta otros problemas, como lo son la adquisición de refacciones, funciones de la fuente

que no son utilizadas, etc.

De esta manera, surge la necesidad de diseñar y construir una fuente de alimentación que satisfaga las necesidades del generador de ondas de choque débiles MEXILIT I y que cumpla con las características de voltaje variable y tiempo de carga del capacitor.

Además se requiere que tanto la información como las refacciones de esta fuente sean fáciles de conseguir.

Para dar solución a estos parámetros de voltaje y corriente, fueron elegidas partes de televisión para la construcción, ya que satisfacen las necesidades arriba mencionadas.

II.2 TIPOS DE FUENTES

En la práctica, existen dos tipos de fuentes de alimentación: las fuentes de alimentación lineales y las fuentes conmutadas. A continuación se presenta una breve semblanza de ambos tipos de fuentes, las partes que las forman y una descripción de su funcionamiento. Es importante notar que el uso de las fuentes conmutadas o lineales se relaciona directamente con la necesidad de resolver un problema específico.

1.- FUENTES LINEALES

En las fuentes lineales, los elementos de potencia se operan en la región lineal, razón por la cual reciben su nombre. En general las fuentes lineales poseen las siguientes partes o etapas:

- Etapa de entrada: generalmente se cuenta con un transformador que tiene como función el elevar o reducir el voltaje de la línea.

En muchos casos, en esta primera etapa se encuentra un filtro pasa bajas el cual sirve para reducir las perturbaciones de la línea que pueden alterar el funcionamiento de la fuente.

- Rectificación y filtrado: posteriormente se encuentra la etapa de rectificación y filtrado. La etapa de rectificación tiene la función de convertir el voltaje alterno de entrada en un voltaje de corriente directa. La etapa de filtrado se encarga de reducir las variaciones significativas en el voltaje.

- Regulación: La etapa de regulación tiene la finalidad de fijar la salida de voltaje a un valor (que siempre será menor que la entrada); generalmente se adiciona un capacitor filtro (más pequeño que el de entrada) para disminuir la impedancia de la salida.

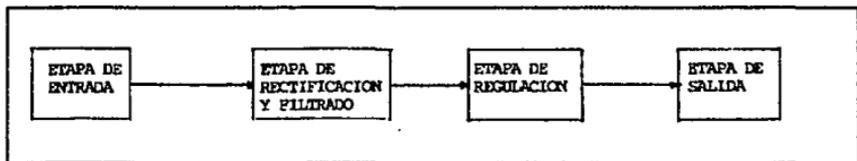


Fig. II.1 Diagrama de bloques de fuente lineal

1.1.- CONFIGURACIONES DE LAS FUENTES LINEALES

Existen dos tipos de configuraciones básicas de las fuentes lineales a partir de la forma en que establecen la regulación: las fuentes lineales con regulador en serie y las fuentes lineales que tienen regulación en paralelo.

La importancia de la regulación radica en que el voltaje suministrado por una fuente permanezca constante independientemente de la carga conectada.

A) FUENTES CON REGULADOR EN PARALELO

Un sistema regulador de voltaje simple en paralelo se muestra en la fig. II.2. La operación adecuada de este regulador requiere que el diodo zener esté en el estado de conducción. El primer

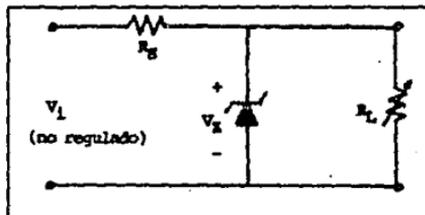


Fig. II.2 Fuente lineal con regulador en paralelo con zener

requisito por consiguiente, es encontrar el mínimo valor de R_L (y el correspondiente I_L) para asegurar que esta condición se pueda establecer. Antes de la conducción del zener, el diodo zener es fundamentalmente un circuito abierto, cuando el zener conduce $V_L = V_Z$. Teniendo los datos del circuito, es posible calcular la carga mínima y máxima, así como los valores de corriente de carga mínima y máxima.

Otro tipo de regulador en paralelo emplea un termistor. Cualquier tendencia de aumentar o disminuir en la salida se ve afectada directamente en la corriente a través del elemento termistor, ajustándose así la permanencia del voltaje deseado, como se muestra en la fig. II.3.

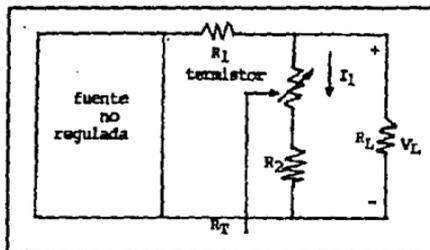


Fig. II.3 Fuente lineal con regulador en paralelo con termistor

Las características de un regulador de voltaje pueden mejorarse significativamente utilizando arreglos con transistores. En la fig. II.4 se muestra un transistor en la configuración paralelo.

Si disminuye V_L , la corriente a través de la resistencia R_B se reduce, puesto que el nivel de conducción del transistor ha caído. La caída de potencial se reducirá a través de R_B contrarrestando así cualquier tendencia de parte de V_L a reducirse en magnitud.

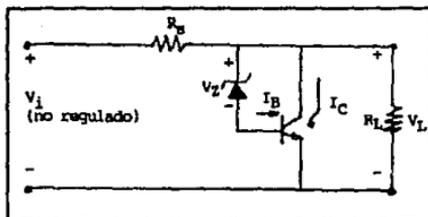


Fig. II.4 Fuente lineal con regulador en paralelo con transistor

Existen una gran variedad de circuitos integrados que contienen la circuitería necesaria para la construcción de una fuente; una referencia, un amplificador de error y protección de sobrecarga, todo contenido en una sola pastilla.

Los reguladores de voltaje que proporcionan un voltaje regulado positivo sobre un intervalo de corrientes de carga tienen un voltaje no regulado a la entrada V_i , aplicado a una terminal. En una segunda terminal se entrega un voltaje de salida regulado V_o y la tercera terminal está conectada a tierra (GND).

B) FUENTES CON REGULADOR EN SERIE

El más simple de los reguladores en serie se forma con un elemento activo (transistor) que se ilustra en la fig. II.5.

En esta configuración el transistor se comporta como una resistencia variable, cuya resistencia se determina por las condiciones de operación.

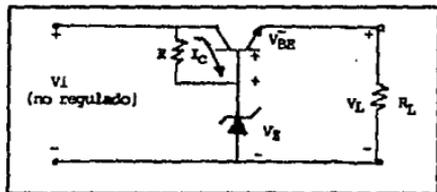


Fig. II.5 Fuente lineal con regulador en serie

Una reducción en V_L (puesto que V_z está fijo en magnitud)

se traducirá en un incremento en V_{BE} . Este efecto a su vez aumentará el nivel de conducción del transistor, obteniéndose una reducción en su resistencia terminal (colector a emisor), este es el efecto deseado para mantener V_L en un nivel fijo.

2.- FUENTES CONMUTADAS

Se denominan fuentes conmutadas las que tienen elementos en conmutación, entendiéndose por elementos en conmutación aquellos que cambian de un estado a otro rápidamente (por ejemplo los transistores que cambian de "corte" a "saturación").

Este tipo de fuentes tienen en general las siguientes etapas o partes:

- Etapa de entrada: en esta etapa, la tensión eléctrica de la línea se rectifica como en la fuente lineal, doblándose posteriormente (en el caso de ser necesario) y filtrándose para reducir las variaciones significativas en el voltaje.

- Etapa de conmutación: al llegar a esta etapa, el voltaje rectificado es alimentado a un arreglo que consta de uno o varios elementos de conmutación, que operan a frecuencias del orden de los 15 a 100 kHz; éstos, a su vez, se encuentran conectados a elementos pasivos reactivos capaces de almacenar energía de acuerdo al estado de los elementos en conmutación.

- Etapa de salida: el voltaje resultante es alimentado a otra etapa de rectificación, filtrado y/o multiplicación.

2.1.- TIPOS DE FUENTES CONMUTADAS

Aunque existen diferentes convertidores de potencia descritos por diversos autores, solo se explicarán tres de ellos (los más comunes), conocidos como: el "flyback", el "forward" y el "push-pull".

A) FUENTE TIPO "FLYBACK"

En la figura II.7a y b se muestra una fuente tipo "flyback". El funcionamiento de este tipo de fuentes es el siguiente: cuando el "interruptor" S se cierra, fig II.7a, la corriente circula a

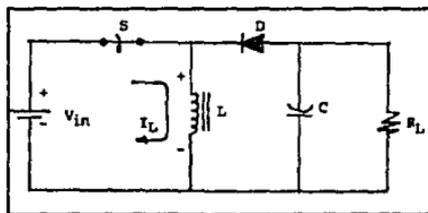


Fig. II.7a Fuente conmutada tipo "flyback"

tráves del inductor L, almacenando energía. Debido a la polaridad del voltaje el diodo D se encuentra en inversa y no hay voltaje en la resistencia (carga) R_L .

Cuando el "interruptor" S se abre, fig II.7b, el inductor L cambia de polaridad debido al colapso del campo magnético, poniendo al diodo D en directa e induciendo un flujo de corriente I_L en la polaridad mostrada. Así, en la resistencia R_L se presenta un voltaje de salida de polaridad opuesta al voltaje de entrada que aparece a través de R_L . Puesto que el

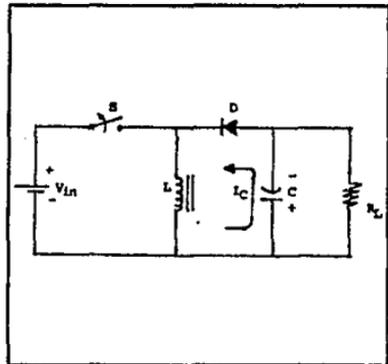


Fig. II.7b Fuente conmutada tipo "flyback"

"interruptor" conmuta corriente en el inductor alternando entre entrada y salida, ambas corrientes son en forma pulsada. Por lo tanto, en las fuentes "flyback", la energía es almacenada en el inductor durante el período de encendido del interruptor, posteriormente esta energía es transferida a la carga durante el período de apagado del "flyback" o del "interruptor".

B) FUENTE TIPO "FORWARD"

El funcionamiento de la fuente tipo forward, representada en las figuras II.8a y II.8b es el siguiente: cuando el interruptor S está cerrado, fig. II.8a, la corriente I fluye de manera adelantada a través del inductor L,

produciendo un voltaje de salida a través de la carga con la polaridad mostrada en la figura. El diodo D está en reversa dada la polaridad del voltaje de entrada.

Cuando el interruptor S está abierto (fig. II.8b), el campo magnético en L cambia de polaridad, poniendo al diodo D en directa y produciendo una corriente a través del capacitor C, como se muestra.

Por lo tanto la polaridad del voltaje de salida a través de R_L permanece igual.

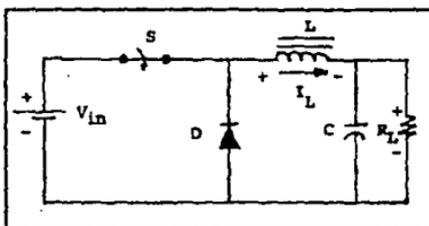


Fig II.8a Fuente conmutada tipo "forward"

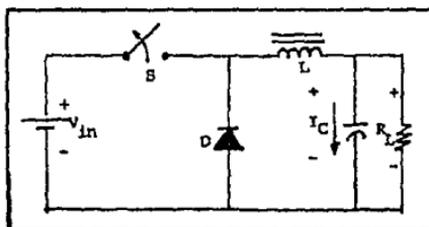


Fig. II.8b Fuente conmutada tipo "forward"

Capítulo II

El diodo D es frecuentemente llamado diodo volante. Dada su acción de conmutación la corriente de salida es continua y por lo tanto no pulsante. En contraste, la corriente de entrada es discontinua, de aquí en adelante pulsante, circula cuando el interruptor es cerrado y se corta cuando el interruptor es abierto.

C) FUENTE TIPO "PUSH-PULL"

Por último la figura II.9 muestra el tipo de fuentes "push-pull", las cuales en realidad consisten en dos fuentes forward operando en "push-pull" (más correctamente en "push-push"), alternando las abiertas o cerradas de cualquiera de los interruptores S1 ó S2.

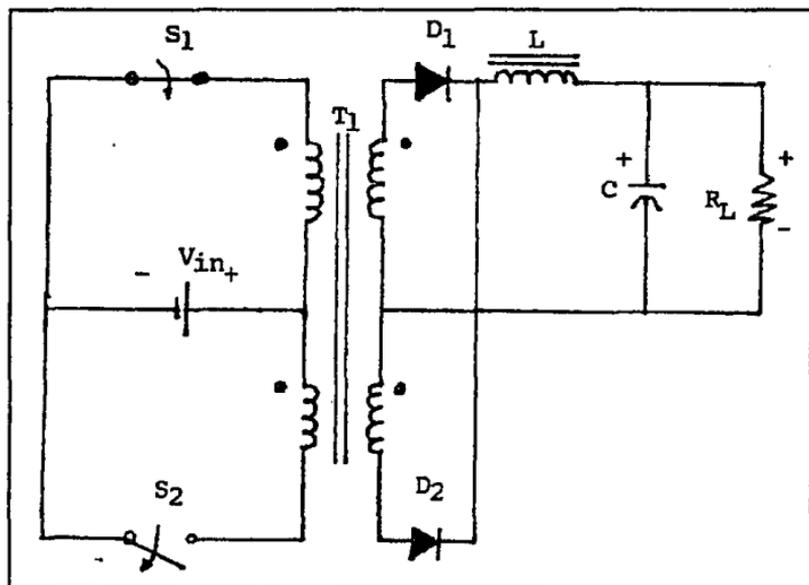


Fig. II.9 Fuente conmutada tipo "push-pull"

3.- CARACTERISTICAS DE LAS FUENTES.

Una vez analizado el principio de operación de ambos tipos de fuentes, es posible encontrar características que las distinguen entre sí. Estas características pueden ser ventajas o desventajas, según se trate de alguna aplicación específica.

Por una parte, las fuentes lineales son de fácil construcción y los elementos que las constituyen son fáciles de conseguir; sin embargo este tipo de fuentes presentan una gran disipación de potencia en el regulador, reflejándose esto en la eficiencia de la fuente.

La regulación en las fuentes lineales se logra por el cambio de impedancia del elemento de control; generalmente se toma una muestra de la salida que se introduce a un amplificador de error; este produce una señal de error con la que se controla la impedancia del elemento de control que opera en su región lineal; de ahí el nombre de fuentes lineales.

Capítulo II

Los reguladores lineales tienen una mejor capacidad de regulación pero solamente pueden entregar valores menores respecto a la entrada, mientras que las fuentes conmutadas pueden entregar valores mayores, menores o aislados.

Otra característica que presentan las fuentes conmutadas, es un mayor costo de fabricación, por el uso de circuitería más compleja, pero usan elementos más pequeños. Dependiendo del tamaño de la fuente conmutada, puede variar su costo, llegando a ser más barata que una fuente lineal.

Por su modo de operación las fuentes conmutadas muestran una muy alta eficiencia. Esto es importante en esta época de crisis energética en los países industrializados y de precios de electricidad cada vez más altos; mientras menos energía desperdicie un aparato será mejor para el consumidor.

II.3 FUENTE DE ALTO VOLTAJE PARA EL MEXILIT I.

En la fig. II.10 se presenta un diagrama de bloques de la fuente construida para satisfacer los requerimientos del generador de ondas de choque MEXILIT I, que son cargar uno o varios capacitores, el (los) cual(es) será(n) descargado(s) instantáneamente en periodos diversos de tiempo. La fuente debe tener la capacidad necesaria para satisfacer ciertos voltajes y tiempos de carga del capacitor.

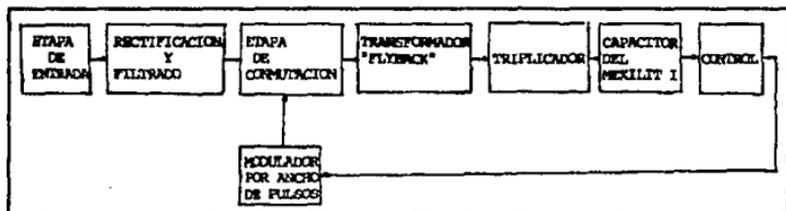


Fig II.10 Diagrama de bloques de la fuente para el MEXILIT I

En esta figura se aprecia que la alimentación eléctrica pasa por una etapa de rectificación y filtrado. Tanto esta señal como la del modulador por ancho de pulso van a una etapa de conmutación, que posteriormente alimenta al transformador "flyback" que tiene

una salida de alta tensión y ésta se conecta a un triplicador.

La multiplicación del voltaje de salida se logra mediante un arreglo de diodos y capacitores, el uso de este tipo de circuitos permite mantener la especificación de voltaje de salida del transformador a un nivel bajo mientras se eleva el voltaje de salida por dos, tres, cuatro o más veces.

En la fig. II.11 se muestra un diagrama de multiplicadores de voltaje. Este doblador de voltaje multiplica dos, tres y cuatro veces el voltaje de pico de entrada.

Durante la operación el capacitor C_1 se carga a través del diodo D_1 , al voltaje de pico V_m , durante el semiciclo positivo del voltaje secundario del transformador. El capacitor

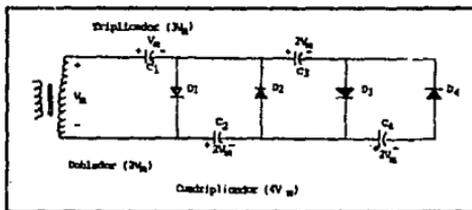


Fig. II.11 Multiplicadores de voltaje

C_2 se carga a dos veces el voltaje de pico $2V_m$, desarrollado por la suma de los voltajes a través del capacitor C_1 y el transformador. Durante el semiciclo positivo, el diodo D_3 conduce y el voltaje a través del capacitor C_2 carga al capacitor C_3 al mismo voltaje de pico $2V_m$. En el semiciclo negativo los diodos

D_2 y D_3 conducen con el capacitor C_3 cargándose a $2V_m$. El voltaje a través del capacitor C_2 es $2V_m$, a través de C_1 y C_3 es $3V_m$ y a través de C_2 y C_4 es $4V_m$.

Este tipo de circuitos pueden desarrollar voltajes de directa extremadamente altos, utilizando muchas secciones para elevar el voltaje.

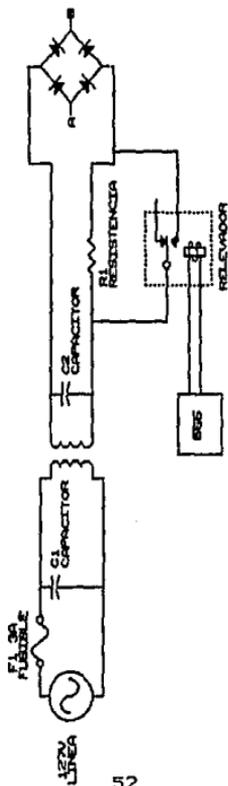
Una muestra de la salida de alto voltaje en el capacitor es alimentada a un circuito de control que de igual manera se conecta al modulador por ancho de pulso, limitando así el voltaje del capacitor.

II.4 DESCRIPCION DE CADA UNA DE LAS PARTES QUE FORMAN LA FUENTE DE ALTO VOLTAJE

Esta fuente de alto voltaje cuenta con un sistema de arranque lento para evitar que las piezas sufran desgaste al recibir súbitamente la alimentación eléctrica, en especial el puente de diodos de la entrada.

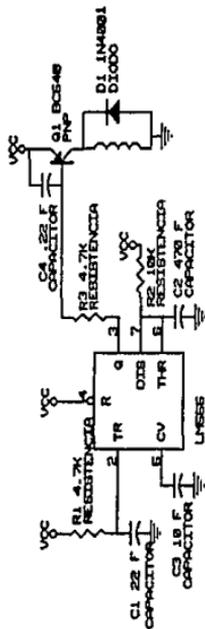
Este sistema de arranque lento se muestra en el diagrama 1.

El sistema de arranque lento funciona de la siguiente manera: la etapa de rectificación y filtrado recibe la alimentación eléctrica por medio de una resistencia, la cual limita la corriente de entrada. Mediante un circuito de tiempo se acciona un relevador el cual cortocircuita la resistencia y hace que la alimentación eléctrica sea directa hacia el resto del aparato.



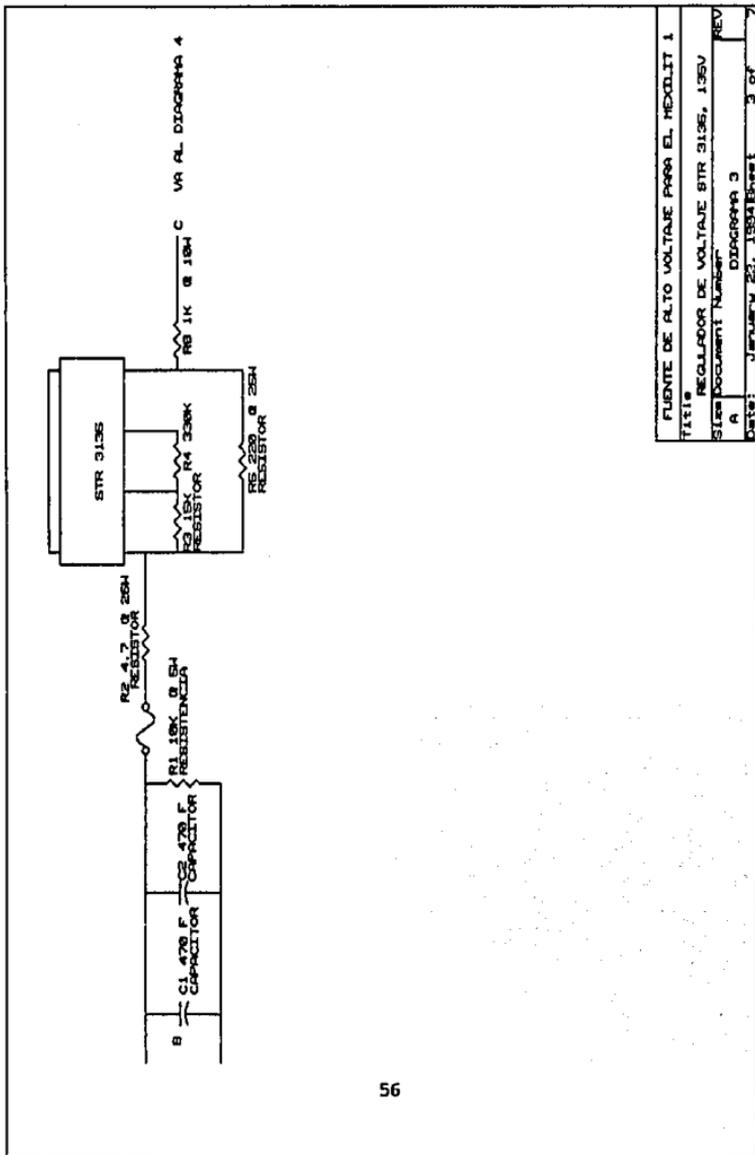
FLENTE DE ALTO VOLTAJE PARA REGULAT 1	
TITULO	
OPORQUE LENTO	
1	Numero 1
1	Diagrama 1
1	1954

El circuito de tiempo se muestra en el diagrama 2. Para este circuito se utilizó un circuito temporizador LM555, en configuración de monoestable. Para la rectificación se utilizó un puente de diodos @ 6 A, la rectificación se efectúa con dos capacitores de 470 μ F @ 200 V.



FUENTE DE ALTO VOLTAJE PARA MEXELIT 1	
TITULO	
EES MONOSTABLE	
SHEET DOCUMENT NUMBER	
A	DIAGRAMA 2
REV	
DATE	JANUARY 22, 1983
	2 OF 2

Para la regulación de voltaje se empleó un regulador lineal STR 3135. la configuración se muestra en el diagrama 3. este circuito proporciona a la salida 135 V en directa.

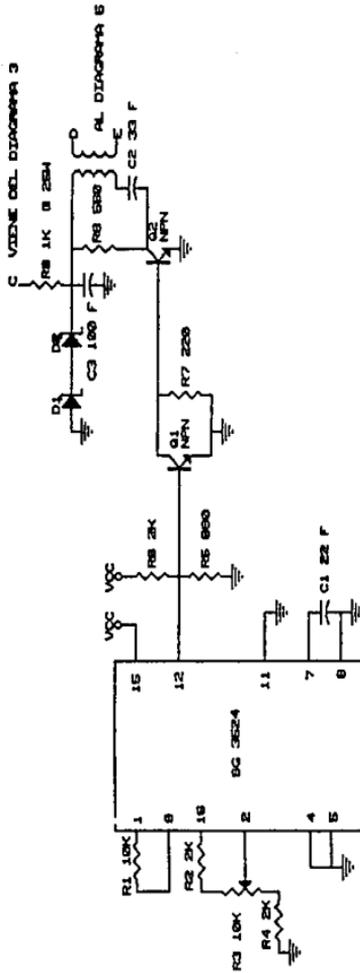


TÍTULO	FUENTE DE ALTO VOLTAJE PARA EL MEXDLIT 1
SUB DOCUMENTO	REGULADOR DE VOLTAJE STR 3135, 135V
REVISIÓN	A
DIAGRAMA	DIAGRAMA 3
FECHA	January 27, 1954
PÁGINA	3 of 3

La etapa de modulación por ancho de pulso fue implantada con un circuito SG 3524. Este circuito es un regulador por ancho de pulso en el que se encuentra la característica de poder fijar un ciclo de trabajo. Para el funcionamiento correcto del "flyback" es preciso que el ciclo de trabajo sea del 50 % o menos, de otro modo, el "flyback" regresaría la energía y quemaría la circuitería anterior.

Por otro lado, este regulador contiene un oscilador integrado, una referencia y una entrada de inhibición, la cual se emplea para el control y se menciona posteriormente.

En el diagrama 4 se muestran las conexiones del regulador por ancho de pulso.



C VOLTAGE DEL DIAGONA 3

FUENTE DE ALTO VOLTAGE PARA EL HEXILIT 1

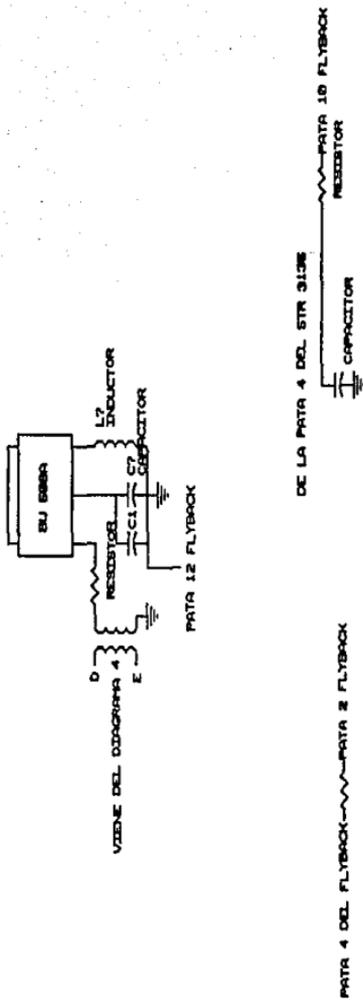
TITULO REGULADOR POR ANCHO DE PULSOS SC6524

SERIE DOCUMENT NUMBER A DIAGONA 4

DATE January 26, 1981 Rev 1

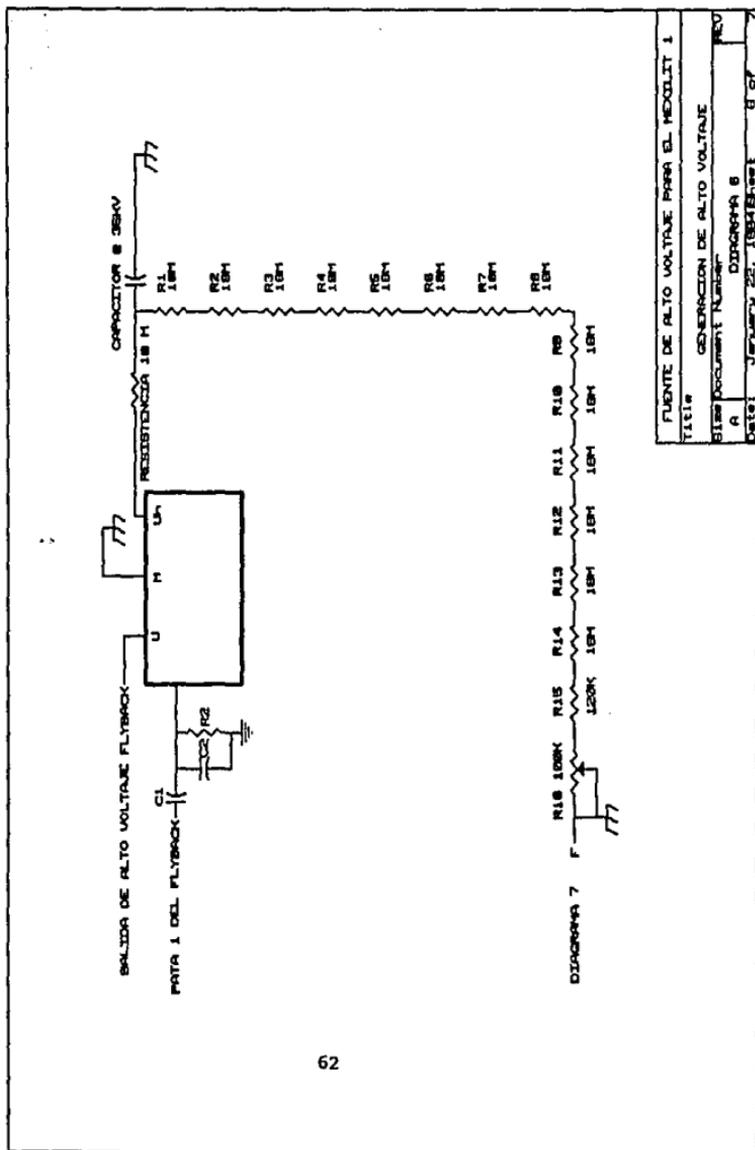
La salida del regulador por ancho de pulso (SG3524) maneja la excitación del transistor y el transformador "flyback" que es polarizado por la salida del regulador de voltaje (STR3135).

Del secundario del transformador por ancho de pulso se encuentra la etapa de conmutación, la cual es mostrada en el diagrama 5. Para implantar esta etapa se empleó un transistor BU 508A. La excitación del transistor BU 508A se realiza con un transformador como se muestra en el diagrama 5.



FLENTE DE ALTO VOLTAJE PARA MODULIT 1	
Titulo	ETAPA DE CONSTRUCCION
Size Document Number	DIODIO 6
Part	UNION 22, 100A 1
Rev	5 OF

Con este transistor se excita el "flyback" para comenzar la etapa de generación de alto voltaje que se muestra en el diagrama 6. La salida del "flyback" alimenta al triplicador y la salida de éste, a su vez, alimenta al capacitor o arreglo de capacitores del MEXILIT I.



Como se aprecia en el diagrama 7, una muestra del alto voltaje en el capacitor es conducida a un circuito de control, en el que se emplean tanto circuitos amplificadores operacionales como comparadores de voltaje. Estos comparadores permiten igualar el voltaje del capacitor con un voltaje deseado.

Esta comparación da como resultado un voltaje que es alimentado mediante un optoacoplador a la inhibición del modulador por ancho de pulso (SG3524). Al activarse la inhibición de este circuito se impide la generación de alto voltaje, como si la fuente estuviera apagada completamente. Este es el momento adecuado para descargar el capacitor generando así la descarga eléctrica en agua y posteriormente la onda de choque.

CAPITULO III

▶ *Introducción*

▶ *Pruebas a la fuente*

▶ *Normas de seguridad*

III.1 INTRODUCCION

La fuente de alto voltaje para el MEXILIT I consta de:

- Una tarjeta madre; en donde se encuentran las etapas de rectificación y filtrado de la fuente, la etapa de conmutación y la generación de alto voltaje.
- Una tarjeta de control; en donde se logra el equilibrio entre el voltaje deseado y el voltaje medido en el capacitor.
- Una punta de alto voltaje; que lleva el voltaje obtenido en el capacitor a la tarjeta de control.

La tarjeta madre y la tarjeta de control están contenidas en una caja de acrílico negra forrada por dentro con papel aluminio, conectado a tierra (para prevenir descargas eléctricas). La caja de acrílico mide 21.6 cm de ancho, por 33 cm de largo y 20 cm de altura, el peso de la fuente es 6 Kg.

Al frente de la fuente de alto voltaje se encuentran dos "displays" digitales que dan la medición del voltaje requerido por el usuario y el voltaje obtenido en el capacitor. En la parte inferior izquierda se encuentra el interruptor con el que se enciende la fuente y por último en la parte central inferior está la perilla de ajuste del voltaje.

III.2 PRUEBAS A LA FUENTE

Para analizar el funcionamiento de la fuente, se le conectó al MEXILIT I y se midieron los tiempos de carga en el capacitor. Por su diseño esta fuente de alto voltaje indica el momento en el que el capacitor llega al voltaje requerido.

Los resultados de las pruebas a las que fué sometida esta fuente se muestran en las tablas 1 y 2. Se midió el tiempo de 10 (diez) descargas consecutivas a diferentes voltajes.

En la tabla 2, se pueden observar los datos de forma invertida ya que al terminar las mediciones de la tabla 1, se realizó el mismo procedimiento pero esta vez en forma descendente, dando así estos resultados. Para estas mediciones se inyectó aire seco al interruptor electrostático para evitar descargas a 22 KV espontáneamente y sin control, ya que al haber aire húmedo en el interruptor aumenta la conductividad entre sus electrodos y se producen descargas involuntarias.

Para obtener los tiempos de carga que aparecen en las tablas, se utilizó un cronómetro "The Stopwatch" marca Cole Parmer. La separación entre los electrodos del MEXILIT I fué de 0.015 plg, la conductividad del agua (aprox) de 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la temperatura del agua fue de 18°C. Se usó una capacitancia de 100 nF.

Tabla 1

Voltaje en el capacitor [KV]	Tiempo de 1 carga del capacitor [seg]
16	1
17	1.1
18	1.2
19	1.3
20	1.4
21	1.6
22	1.7

Tabla 1. Tiempos que requirió la fuente para cargar el arreglo de capacitores (100nF) del MEXILIT I a voltajes entre 16 y 22 KV. Cada tiempo se obtuvo dividiendo entre 10 el tiempo correspondiente a 10 ciclos consecutivos.

Tabla 2

Voltaje en el capacitor [KV]	Tiempo de 1 carga del capacitor [seg]
22	1.7
21	1.5
20	1.4
19	1.3
18	1.2
17	1
16	1

Tabla 2. Tiempos que requirió la fuente para cargar el arreglo de capacitores (100 nF) del MEXILIT I a voltajes entre 22 y 16 KV. Cada tiempo se obtuvo dividiendo entre 10 el tiempo correspondiente a 10 ciclos consecutivos.

III.3 NORMAS DE SEGURIDAD

Asociaciones internacionales de seguridad han creado normas con las cuales la manufactura de equipo o componentes electricos es llevada a cabo con la mayor protección y calidad para el usuario, previniendo así cualquier daño debido a choque eléctrico, partes mecánicas, fuego, sobrecalentamiento, etc.

Entre las asociaciones que se han preocupado por lograr esta normatividad están:

IEC International Electrotechnical Comision
Comisión Internacional de Electrotecnología.

UL Underwriters' Laboratories
Laboratorios Aseguradores

CSA Canadian Standards Association
Asociación Canadiense de Normas

Las especificaciones de seguridad de estas asociaciones imponen requerimientos de separación específicos entre las partes conductoras de electricidad y las no conductoras o de polaridad inversa.

Mientras la UL y la CSA exigen una distancia entre conductores de alto voltaje de polaridad opuesta (más de 250 V o alto voltaje y tierra) de 2.54 mm entre superficies o aire, el IEC exige 3 mm de distancia del aire entre líneas de ac y 4 mm de aire entre líneas de ac y tierra.

El IEC pide 8 mm de espacio entre las secciones de entrada y salida.

Los equipos comerciales que cumplen con las normas de seguridad de estas organizaciones son sometidos a diversas pruebas, entre otras están:

- Prueba de la resistencia del dieléctrico:

para un equipo de 250 V ac o menos las especificaciones de la UL y CSA someten de la entrada a la salida y de la entrada a tierra una prueba de aislamiento de 1000 V ac por un minuto o 1200 V ac por 1 segundo, este potencial ac debe ser una onda senoidal de 50 ó 60 Hz

- Medidas de fuga de corriente:

Para la UL y la CSA todas las partes de metal sin voltaje en un equipo, son llevadas a tierra y la fuga de corriente medida a través de una resistencia de 1500 Ω conectada a tierra no debe exceder 5 mA.

- Resistencia de aislamiento:

La asociación de Alemania de normas de seguridad para máquinas comerciales (VDE-0806), requiere una resistencia mínima de 2.0 M Ω entre la entrada y cualquier parte de metal accesible, al aplicar 500 V dc durante 1 minuto.

La fuente de alto voltaje para el MEXILIT I cuenta con un forro interior de papel aluminio conectado a tierra para evitar cualquier descarga hacia el usuario, del mismo modo la perilla de ajuste con la que cuenta la fuente está conectada a tierra.

La distancia entre partes conductoras de alto voltaje y tierra entra dentro de las normas de la UL y CSA.

CONCLUSIONES

Aproximadamente veintitrés meses después de iniciado el diseño y la construcción de la fuente de alto voltaje para el generador de ondas de choque débiles MEXILIT I, utilizando componentes fabricados y ensamblados en el país (partes de TV), aplicando tecnología propia y después de diversas pruebas en las que sufrió en varias ocasiones rediseños, sobrecargas, composturas y adaptaciones, el día 12 de noviembre de 1993 se pudo realizar la última prueba en la que, después de conectarla al MEXILIT I se obtuvieron los voltajes requeridos para el óptimo funcionamiento del equipo.

Cabe destacar que son varias las ventajas de esta fuente de alto voltaje, frente a la fuente extranjera que tenía el MEXILIT I al momento de iniciar este proyecto, como son:

- Ha sido realizada a la medida de las necesidades. Provee los voltajes adecuados que el MEXILIT I utiliza en los experimentos deseados, abatiendo así costos por aditamentos y funciones no utilizadas como un control remoto entre otras.

Capítulo III

- Refacciones de fácil acceso u obtención. Esto amplía la posibilidad de hacer reparaciones de manera local sin la necesidad de hacer pedidos de piezas o mandar el equipo al extranjero para su reparación.

- Diagramas de fabricación. Es susceptible a mejoras o adaptaciones y facilita las composturas permitiendo ubicar de manera inmediata cualquier elemento para su revisión o sustitución.

- Duplicación. Teniendo los diagramas y los materiales para la construcción de cualquier equipo, la duplicación se vuelve fácil y económica.

- Tarjetas separadas. Se cuenta con una tarjeta madre, una tarjeta de control y una punta de alto voltaje, lo cual permite en caso de ser necesario, probar las tarjetas independientemente de acuerdo a la detección de cualquier falla en el equipo, facilitando la reparación, adaptación o el diseño por bloques.

- Tiempos cortos y medidos de carga del capacitor. A diferencia de la fuente con la que se estaba trabajando, en esta fuente es posible medir el valor del voltaje en el capacitor al momento de la descarga, permitiendo así conocer cuanto tarda un capacitor o arreglo de capacitores en cargarse a un cierto voltaje.

Se sabe cuantas descargas se pueden hacer en un tiempo determinado y por último cuanto tiempo requerirá un paciente en recibir cierto número de descargas necesarias para su tratamiento, optimizando así los tiempos del mismo con voltajes medidos.

- Tamaño, peso e instalación. La fuente es ligera y fácil de transportar ya que únicamente pesa 6 Kg. por su tamaño es posible ubicarla casi en cualquier lugar y su instalación en el MEXILIT I es muy sencilla.

Indudablemente todos los equipos pueden ser mejorados o adaptados a nuevas necesidades y en versiones posteriores esta fuente tendría mejoras que ahora pueden ser consideradas como desventajas, tal es el caso de protecciones contra corto circuito y manuales de operación y mantenimiento.

Con equipos fabricados a nivel nacional la dependencia de tecnología extranjera es menor cada día.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

BIBLIOGRAFIA

OBRAS CITADAS

1. Goldwasser, Benad, John L. Weinerth y Culley C. Carson. "Calcium stone disease: an overview". -- En: The Journal of Urology. -- Vol. 135, p.1-9, 1984.
2. Lingeman J.E, L. H. Smith, J. R. Woods y D. M. Newman. Urinary Calculi ESW, Endourology and Medical Therapy. -- Philadelphia, London : Lea & Febigar, 1989. 460 p.
3. Loske, M.A. Generación de ondas de choque débiles en agua por rompimiento eléctrico. -- Tesis de maestría en ciencias (física).-- México : UNAM Facultad de Ciencias, 1991. 273 p.
4. Loske M. A. y F.E. Prieto "Generador de ondas de choque en agua". -- En: Ciencia y Desarrollo. -- Vol 17, no.101, p.82 - 88, 1991.

6. Loske M.A. y F.E. Prieto "Las ondas de choque en la litotripsia extracorporal". -- En: Revista de la Facultad de Medicina U.N.A.M. -- Vol. 33, no. 2, p. 113-120, 1990.

4. Prieto, Fernando E., Achim M. Loske y Frederick L. Yarger. "An underwater shock wave research device". -- En: Rev.Sci. Instrum. -- Vol. 62, no.7, p. 1849-1854, 1991

7. Loske M.A., J.A. López, F.E. Prieto, L.J. Alanís, J.E. Vázquez y F.Larrondo. "Primeras pruebas en vivo en roedores y cerros en México con el generador de ondas de choque MEXILIT I".-- En: Veterinaria México.-- Vol. 24, no. 1, p. 7-13, 1993

OBRAS CONSULTADAS

Goldwasser, Benad, John L. Weinerth y Culley C. Carson. "Calcium stone disease: an overview". -- En: The Journal of Urology. -- Vol. 135, p.1-9, 1986.

Lingeman J.E, L. H. Smith, J. R. Woods y D. M. Newman. Urinary Calculi ESW, Endourology and Medical Therapy. -- Philadelphia, London : Lea & Febigar, 1989. 460 p.

Loske, M.A. Generación de ondas de choque débiles en agua por rompimiento eléctrico. -- Tesis de maestría en ciencias (física).-- Mexico : UNAM Facultad de Ciencias, 1991. 273 p.

Loske M. A. y F.E. Prieto "Generador de ondas de choque en agua". -- En: Ciencia y Desarrollo. -- Vol 17, p.82 - 88, no.101, 1991.

Loske M.A. y F.E. Prieto "Las ondas de choque en la litotripsia extracorporal". -- En: Revista de la Facultad de Medicina U.N.A.M. -- Vol. 33, no. 2. p. 113-120, 1990.

Graeme, J.G. Applications of Operational Amplifiers. -- Ed. International Student Edition. -- McGraw-Hill Kogakusha, 1988.

Ogata, K. Ingeniería de Control Moderna. -- Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. 1992. 902 p.

Cryssis, G. High-Frequency Switching Power Supplies Theory and Design. -- McGraw-Hill book company. 1984. 170 p.

Boylestad, R. y L. Nashelsky. Electrónica Teoría de Circuitos. -- Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. 1988. 784 p.

Nota:

Las figuras de los equipos que aparecen en el capítulo I, en las páginas 14, 16, 18 y 20 así como en las páginas 23 y 24 fueron tomadas de la tesis de maestría en ciencias (física) "Generación de ondas de choque débiles en agua por rompimiento eléctrico" previo consentimiento del autor.