

Tecnología de  
la Información

Dinámica  
Estructural

Mercado y  
Ecología

Estadística y  
Estimación

Sistemas de  
Seguridad

Reactivación de  
la Economía

Electrónica  
Médica

Fenómeno de  
El Niño

# TECNOLOGICA







# REVISTA TECNOLÓGICA

Una Publicación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral

## CONTENIDO

<i>Pág.</i>	<i>ARTICULOS TECNICOS</i>	<i>AUTOR (ES)</i>
<b>3</b>	La Tecnología de la Información y la Educación	<i>Enrique Peláez</i>
<b>7</b>	Análisis Teórico y Experimental de las Vibraciones del Mástil de un Buque	<i>Eduardo Orcés y Mac Mera</i>
<b>16</b>	Soluciones de Mercado a Problemas Ecológicos	<i>Franklin López</i>
<b>24</b>	Estudio Comparativo por Simulación de dos Métodos de Estimación para modelos lineales	<i>Gaudencio Zurita y Francisco Vera</i>
<b>30</b>	Problemas de Aislamiento y Caracterización de Bacterias Asociadas al Síndrome de Zoea II y Demostración Experimental de su Patogenicidad	<i>Walter Intriago, María Zherdmant y E. Mialhe</i>
<b>42</b>	Implementación de un Controlador de Acceso Integrado para el Sistema de Seguridad de los Laboratorios de la FIEC	<i>Carlos Monsalve, y David Domínguez</i>
<b>46</b>	Propuesta de Reactivación Económica	<i>Michael Chong</i>
<b>49</b>	Análisis Teórico y Experimental del Comportamiento Inicial del Circuito Duplicador de Voltaje de Media Onda	<i>Miguel Yapur</i>
<b>54</b>	El Niño en el Noroccidente de Sudáfrica	<i>Luis Marín</i>
<i>Pág.</i>	<i>NOTAS TECNICAS</i>	<i>AUTOR (ES)</i>
<b>57</b>	Aplicaciones no Estructurales del Método de Elementos Finitos	<i>José Marín</i>
<b>62</b>	Construcción de una Inyectora de Plástico Tipo Laboratorio	<i>Luis Vargas, L. Castellanos y G. Molina</i>
<b>66</b>	Prensa Hidráulica	<i>Holger Gómez y Rafael Piña</i>



**DIRECTOR:**  
**SUPERVISION:**  
**COMITE EDITORIAL:**

**CORRECCION Y ESTILO:**  
**LEVANTAMIENTO DE TEXTO, DIAGRAMACION Y PORTADA**  
**IMPRESION**

*Dr. José Rolando Marín*  
*Dr. José Luis Santos*  
*M.Sc. Marco Velarde*  
*Dr. José Luis Santos*  
*Dr. José Rolando Marín*  
*Mónica Riofrío B.*  
**Imprenta "Caballero"**



# ANALISIS TEORICO Y EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO INICIAL SEL CIRCUITO DUPLICADOR DE VOLTAJE DE MEDIA ONDA

Miguel Yapur<sup>1</sup>, E. Vargas<sup>2</sup>, J. Zambrano<sup>2</sup>, F. Mórtola<sup>2</sup>, M. Salas<sup>2</sup>

## RESUMEN

Todos los textos de Ingeniería para estudios de Electrónica Básica y Avanzada explican lo que es un circuito duplicador de voltaje de media onda, pero la mayoría se equivoca al describir el comportamiento del mismo, y unos pocos lo hacen en forma vaga e imprecisa. El trabajo presentado consta de dos partes. La primera es teórica y analiza el comportamiento de este circuito estableciendo dos fórmulas y un algoritmo para describirlo tomando como base los criterios de redes degeneradas, todo lo cual es fácilmente comprobable en el laboratorio. La segunda parte es el proceso inverso, donde a partir de datos experimentales obtenemos una fórmula netamente empírica. Ambos caminos nos conducen a los mismos resultados. Este artículo es una pequeña contribución a la enseñanza de la Electrónica Básica a nivel nacional e internacional.

La investigación y el artículo fueron desarrollados en abril de 1990

## 1. INTRODUCCION

Los circuitos multiplicadores de voltaje están formados básicamente de diodos y capacitores, y es su función producir un voltaje DC(constante, sin variaciones) igual a un múltiplo del voltaje máximo de entrada. Estos circuitos se emplean cuando hacen falta altos voltajes a bajas corrientes, para energizar tubos de rayos catódicos como los que se encuentran en los aparatos de TV, pantallas de computadoras, etc.

Un caso particular de los multiplicadores mencionados son los duplicadores de voltaje, que como su nombre lo indica, duplican el voltaje máximo que se les aplica. Constan de dos diodos y dos capacitores. Existen dos tipos de duplicadores: el de media onda y el de onda completa. El duplicador de voltaje al que hacemos referencia en este trabajo es el de media onda.

En la Figura 1 se muestra un circuito duplicador de voltaje de media onda. La señal de entrada senoidal  $V_s$  durante su primer semiperiodo polariza al diodo D1 directamente y el capacitor C1 se cargará hasta

el voltaje máximo de la fuente menos la caída de voltaje en el diodo, ya que el diodo D2 se encuentra abierto porque está inversamente polarizado.

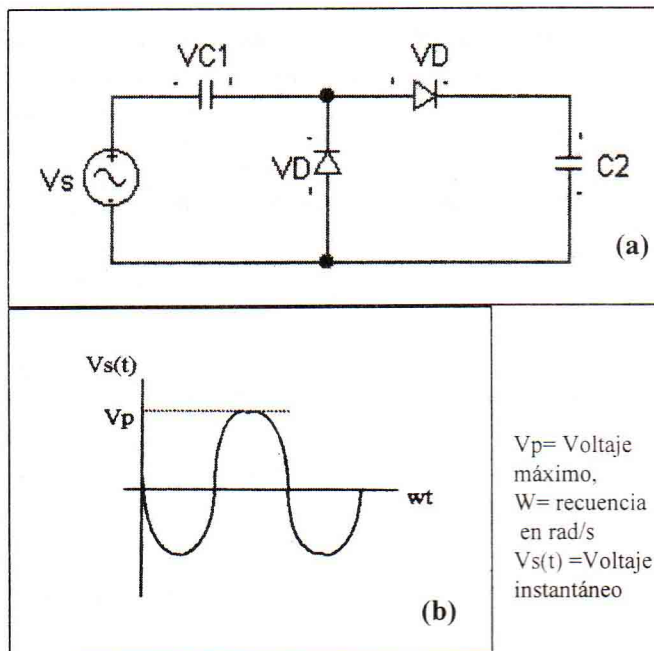


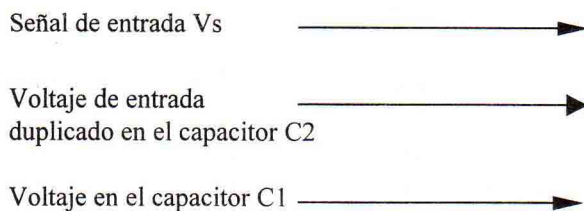
Figura 1.- (a) circuito duplicador de voltaje de media onda; (b) Forma de la señal de entrada  $V_s$ .

<sup>1</sup> M. Sc., Ing. Electrónico, Profesor, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación, ESPOL, Guayaquil - Ecuador

<sup>2</sup> Ing. Electrónico, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación, ESPOL, Guayaquil - Ecuador

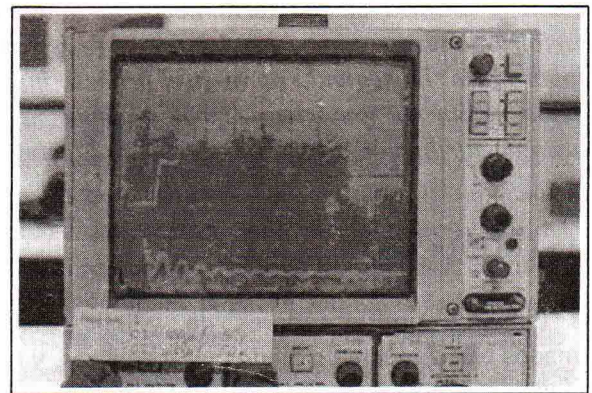
En el siguiente semiperiodo el diodo D1 es polarizado inversamente (no conduce y se comporta como un circuito abierto) y el diodo D2, directamente. El voltaje en el capacitor C2 será la suma algebraica de los voltajes de la malla resultante, formada por Vs, C1, D2 y C2. El Voltaje VC2 tratará de llegar a 2Vp -2V: Puesto que el capacitor de salida C2 se carga sólo una vez durante cada ciclo, a este duplicador de voltaje se lo llama de media onda.

La mayoría de los textos (1), (2), (3), (4), (5) afirman que basta solamente un ciclo completo de la señal de entrada para que el voltaje de salida se duplique; sin embargo, realizando mediciones en el laboratorio, descubrimos que esto no siempre sucede, y son necesarios varios ciclos de la señal Vs para que el voltaje en C2 se establezca en 2Vp - 2VD. Y aún más, el número de ciclos depende de los valores de las capacitancias C1 y C2. Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 2.

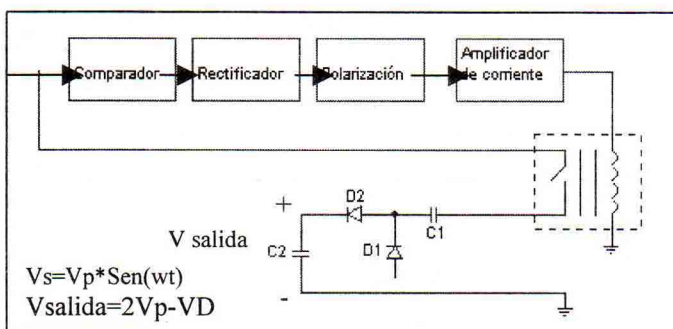


La primera parte de este trabajo comienza analizando teóricamente el circuito duplicador de voltaje de media onda. Suponiendo condiciones iniciales cero para los voltajes en los capacitores y en la entrada, y que todos los elementos son ideales (diodos sin resistencia pero con una caída de voltaje igual a 0.6 voltios, y capacitores sin resistencia), se determinó que realmente se tiene un caso de redes degeneradas, llamadas así porque al momento de energizar el duplicador de voltaje, y con las condiciones iniciales mencionadas, los capacitores se comportan como cortocircuitos y la corriente en este instante (t=0) es un impulso, y existe transferencia instantánea de carga a través de los capacitores.

Esta es la razón por la cual los capacitores no se cargan como las referencias indicadas lo aseveran



**Figura 2.-** Gráfica obtenida en el osciloscopio con memoria de cuatro canales, para un circuito duplicador de voltaje de media onda, donde C1=C2=470 µF.



**Figura 3.-** Diagrama de bloques del circuito detector de cruce por cero

Del análisis realizado usando criterios de redes degeneradas (6) se obtuvieron dos ecuaciones las cuales fueron simplificadas y son las siguientes:\*

$$VC1_n = \frac{(V_p - V_d) * (C1 - C2) + VC2_{n-1} * (C2)}{C1 + C2} \quad (a)$$

$$VC2_n = \frac{2 * C1 * (V_p - VD) + VC2_{n-1} * (C2)}{C1 + C2} \quad (b)$$

VC1n= voltaje en el capacitor C1 al final del n-ésimo ciclo  
 VC2n= voltaje en el capacitor C2 al final del n-ésimo ciclo  
 Vp= voltaje máximo de la señal de entrada  
 C1= valor de la capacitancia C1  
 C2= valor de la capacitancia C2  
 VD= caída de voltaje en los diodos D1 o D2.

Dado que se asumen condiciones iniciales iguales a cero para los voltajes en los capacitores, cuando éstos comienzan a cargarse (n=1), VC2o=0 voltios. Puede notarse que los voltajes en los capacitores dependen de los valores inmediatos anteriores, por lo que para calcular el número de ciclos que tardan estos voltajes en estabilizarse, se necesita de un algoritmo iterativo que se lo describirá más adelante. Los libros que si señalan la necesidad de más de un ciclo para que los voltajes se establezcan (7), (8), (9) no mencionan ninguna fórmula, y la



relación entre los valores de capacitancias es tratada superficialmente.

La segunda parte de la investigación consistió en recolectar la información experimental necesaria del circuito duplicador de voltaje de media onda con diferentes valores de capacitancias, para conseguir una aproximación matemática con la ayuda de una computadora XT compatible con IBM (10) que empleó el lenguaje Turbo Pascal versión 5.0 de la Borland Corporation. Las fórmulas obtenidas fueron las siguientes:

Si  $C_1$  es menor que  $C_2$ :

$$t = \text{int}(t') + 8, \quad K = (C_1/C_2) * \ln(C_2/C_1)$$

Si  $C_1$  es mayor que  $C_2$ :

$$t = \text{int}(t') + 4, \quad K = (C_2/C_1) * \ln(C_1/C_2)$$

Si  $C_1$  es igual a  $C_2$ :

$$t = \text{int}(t') + 8, \quad K = 1.15$$

donde  $t' = (C_2/C_1) * \text{ABS}((K * (\ln(C_1) + \ln(C_2))))$

$C_1$  = valor de la capacitancia  $C_1$

$C_2$  = valor de la capacitancia  $C_2$

$t$  = número de ciclos que tardan en estabilizarse los voltajes en los capacitores

$t'$  = valor numérico que ayuda en el cálculo de  $t$

$K$  = constante numérica que depende de la relación de las capacitancias

$\text{int}$  = función matemática por la que se toma solamente el valor absoluto de su argumento.

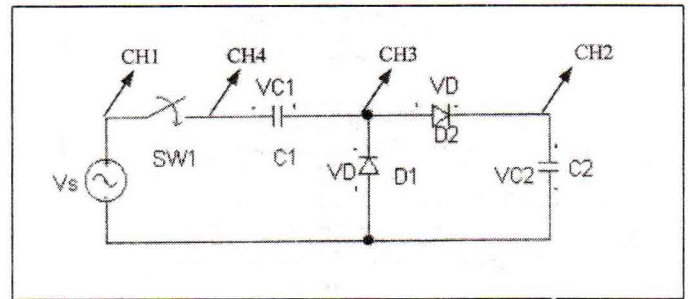
$\text{ABS}$  = función matemática por la que se toma solamente el valor absoluto de su argumento.

## 2. METODOLOGIA

Para obtener la información necesaria previamente se construyó un circuito detector de cruces por cero, que al detectar el primer cruce por cero de la señal de entrada energizara la bobina de un relé, y los contactos de éste servirán como un interruptor que al cerrarse dejara pasar la señal hacia el circuito duplicador. Así se garantizaba que dicha señal empezara en cero y no en cualquier otro punto de la curva senoidal, condición inicial en la que se basó el análisis realizado. El diagrama de bloques de este circuito se muestra en la Figura 3.

Se buscaron también diodos que tuvieran características casi idénticas para que la suposición de diodos ideales iguales, fuera válida. Los capacitores empleados fueron de todo tipo: de cerámica, papel, electrolíticos. La frecuencia de la

señal de entrada se fijó en 60 Hz, y el valor  $V_p$ , en 22 voltios. Para tomar las lecturas experimentales se utilizó un osciloscopio con memoria, de cuatro canales, cuyo uso se indica en la Figura 4.



$$CH1 = V_s(t), \quad CH2 = VC2(t), \quad CH3 - CH4 = VC1(t)$$

Figura 4.- Conexión de los cuatro canales del osciloscopio con memoria.

## 3. RESULTADOS

Lo que se obtuvo en la práctica estuvo de acuerdo con lo calculado. Las fórmulas (a) y (b) se introdujeron en una computadora personal (modelo CASIO PB-1000). (Lenguaje C61-BASIC) para poder predecir el número de ciclos que tardaban los capacitores en estabilizar sus voltajes, número que se verifica satisfactoriamente en el laboratorio, empleando el osciloscopio con memoria ya mencionado. El diagrama de flujo del programa utilizado se muestra en la Figura 5.

Si se revisan más a fondo las expresiones (a) y (b), se puede notar que cuando  $C_1$  es mayor que  $C_2$  los voltajes en los capacitores se estabilizan más rápido que cuando  $C_1$  es igual a  $C_2$ . Es más, cuando  $C_1$  es mucho mayor que  $C_2$ , si se cumple lo que aseguran los textos, que los voltajes tienden a estabilizarse en un ciclo. En cambio, cuando  $C_1$  es menor que  $C_2$ , ocurre todo lo contrario: el tiempo de estabilización es más largo, y si se cumple que  $C_1$  es mucho menor que  $C_2$ , se requerirán muchos ciclos para que los voltajes se estabilicen.

Al comparar las predicciones de (a) y (b) con las correspondientes a las de la segunda parte de la investigación realizada, observamos que eran idénticas en la mayoría de las mediciones, con muy pocas excepciones, como se demuestra con los datos que aparecen en la Tabla I. No debe olvidarse que las fórmulas de la segunda parte del trabajo son válidas solamente para  $V_p = 22$  voltios y  $V_D = 0.6$  voltios.

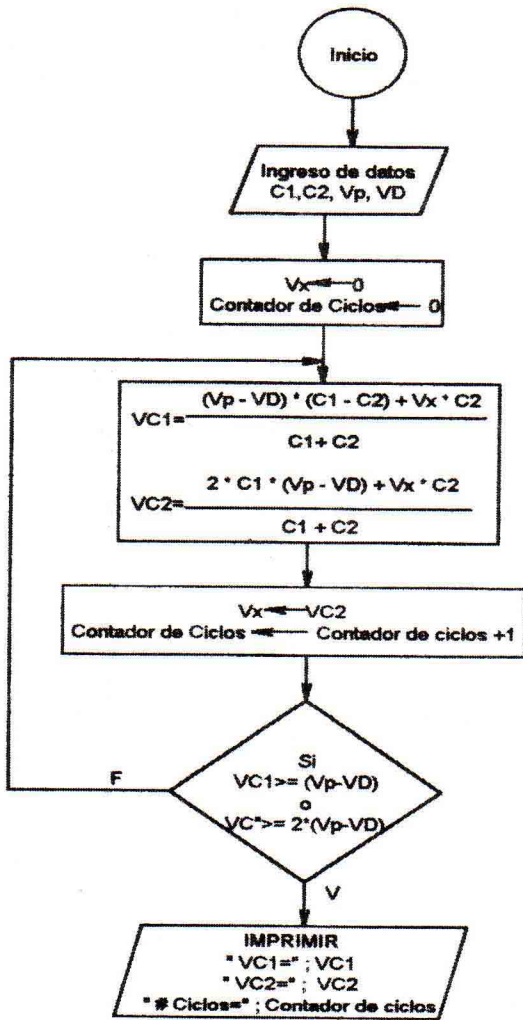
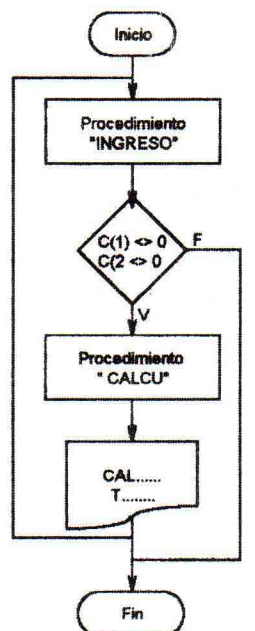


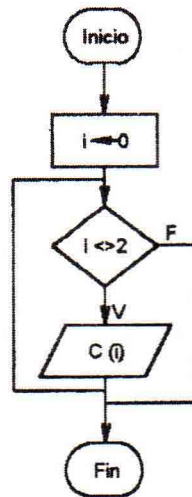
Figura 5.- Algoritmo empleado para predecir el tiempo de estabilización de un duplicador de media onda, en la primera parte del trabajo (análisis teórico). La variable  $V_x$  es igual al valor  $VC2_{n-1}$  de las expresiones (a) y (b).

#### 4.- CONCLUSIONES

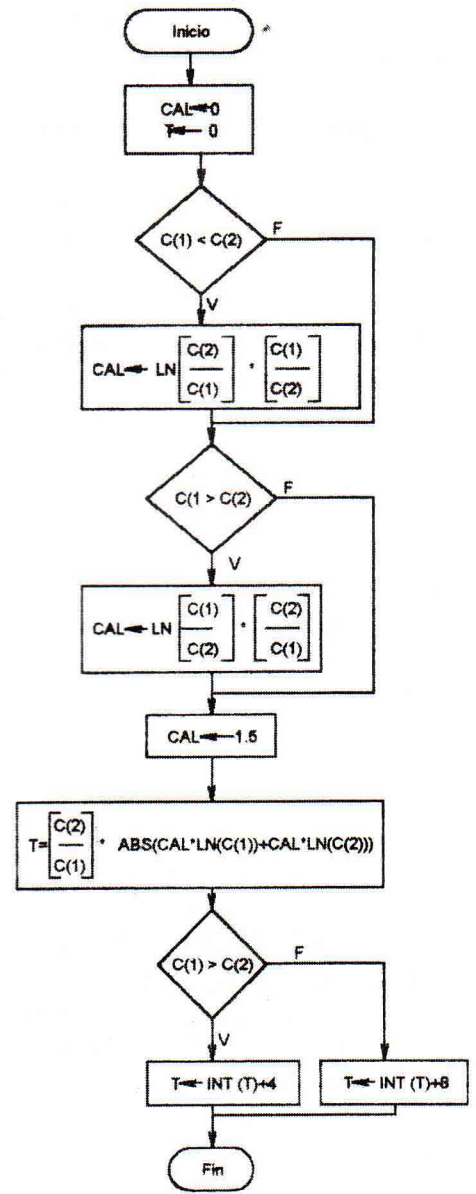
En este trabajo se han desarrollado dos fórmulas y un algoritmo que se han obtenido a partir de un análisis teórico, y un grupo de fórmulas exclusivamente empíricas. Todas estas fórmulas y el algoritmo describen el comportamiento inicial de carga de los duplicadores de voltaje de media onda. El análisis teórico resultó muy exacto, ya que se verificó experimentalmente. La exactitud de las fórmulas empíricas dependen del rango de valores de capacitancias tomadas. Esto se refleja en las diferencias que se observan entre ambos análisis para capacitancias muy bajas o muy altas, como se resume en la Tabla I.



(a) Programa Principal



(b) Procedimiento "Ingreso"



(c) Procedimiento "Calcu"

Figura 6.- Diagramas de flujo correspondientes a la segunda parte (análisis experimental) del trabajo presentado.

Se puede regular el tiempo de estabilización de los voltajes de los capacitores en un circuito duplicador de media onda solamente eligiendo los valores de capacitancias adecuados. Si se desea que el circuito se cargue lentamente por alguna razón en particular, por protección de algunos elementos, o por reglas de diseño, ésta es la solución más sencilla y económica, en vez de introducir otro circuito que produzca el retardo deseado, ya que una vez duplicado el voltaje la relación de capacitancias no afecta al comportamiento del circuito en estado estable.

A pesar que no se ha determinado todavía por completo el rango de capacitancias para el cual estas fórmulas son válidas, se consiguieron



resultados óptimos para valores desde 70  $\mu\text{f}$  hasta 3000  $\mu\text{f}$ , siendo éste un rango suficiente para usos comunes de duplicadores de voltaje.

Debe mencionarse que no se han realizado análisis con cargas resistivas a la salida del duplicador de voltaje, y aunque el análisis realizado en la primera parte es ideal, éste está muy cercano a las condiciones reales.

Análisis de esta naturaleza no se encuentra en ningún libro ni artículo de investigación, razón por la cual estas fórmulas y el algoritmo son únicos en su género, y es la primera vez que se predice el comportamiento circuital de este tipo de redes electrónicas. Por este motivo consideramos a la presente investigación una importante contribución a la enseñanza de Electrónica Básica.

C1 ( $\mu\text{f}$ )	C2 ( $\mu\text{f}$ )	t (ciclos)		% Error
		Procedimiento Teórico	Procedimiento Experimental	
379.3	97.9	4	4	0
379.3	216.4	6	6	0
97.9	379.3	24	22	8.33
216.4	1.01	1	4	75.0
69.2	67.11	8	8	0
0.157	0.159	8	8	0
0.18	0.19	8	8	0
1.01	1.01	8	8	0
48.7	20.5	5	5	0
25.4	7.7	4	4	0
97.9	98.5	8	8	0
216.4	379.3	12	14	14.28
7.7	25.4	21	14	33.33

$V_p = 22$  voltios,  $V_D = 0.6$  voltios, Frecuencia de la señal de entrada = 60 Hz

**Tabla I.-** Comparación entre los resultados obtenidos por el procedimiento teórico y experimental para predecir el tiempo de estabilización de los voltajes de los capacitores en los circuitos duplicadores de voltaje de media onda.

## 5.- BIBLIOGRAFIA

- (1) Seidman, Arthur y Waintranf, Jack, "Electronics Devices, Discrete and Integrated Circuits", Charles E. Merrill Publishing Company, Columbus, USA; 1977, p: 336.
- (2) Mandl, Matthew, "Fundamentals of Electronics" 2ª. Ed., Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, USA, 1975. Pp: 289-291.
- (3) Patrick, Dale y Fardo, Stephen, "Industrial Electronics, Devices and Systems", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, USA, 1986, pp: 22-23
- (4) Boylestad, Robert y Nashelsky, Louis, "Electronics Devices and Circuit Theory" 2ª. Ed., Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, USA, 1978, pp: 114-115.
- (5) Tisza, Juan, "Los Dispositivos Electrónicos y sus Aplicaciones" Tomo I, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1979, 1979, pp:153-155.
- (6) Van Valkenburg, M.E., "Análisis de Redes", Ed. Limusa, México D.F., México, 1983, pp: 141-156.
- (7) Malvino, Albert, "Principios de Electrónica" 3ª. Ed., Mc. Gaw Hill, México D.F., México, 1986, pp: 82-83
- (8) Zimmerman, Henry, "Electronic Circuit Theory", Joh Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1962, p: 124
- (9) Fisher, Jack y Gatland, Bruce, "Electronics from Theory into Practice" Volumen 2,2ª, ed., Pergamon Press, Oxford, Inglaterra, 1976, p: 312
- (10) Norton, Peter, "Guía del Programador para el IBM PC", Red Editorial Iberoamericana, Andes Ltda., Bogotá, Colombia, 1987.