

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Departamento de Electricidad y Electrónica



TESIS DOCTORAL

**La lámpara de descarga gaseosa : modelado y experiencias
conducentes al diseño de dispositivos electrónicos de control**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR

Salvador Ros Torrecillas

Madrid, 2015

Salvador Ros Torrecillas

TP
1981
—
006



x - 53 - 03.10.12 - x

LA LAMPARA DE DESCARGA GASEOSA:
MODELADO Y EXPERIENCIAS CONDUCENTES AL DISEÑO
DE DISPOSITIVOS ELECTRONICOS DE CONTROL

Departamento de Electricidad y Electrónica
Facultad de Ciencias Físicas
Universidad Complutense de Madrid
1980



BIBLIOTECA

© Salvador Ros Torrecillas
Edita e imprime la Editorial de la Universidad
Comlutense de Madrid. Servicio de Reprografia
Noviciado, 3 Madrid-8
Madrid, 1980
Xerox 9200 XB 480
Depósito Legal: M-41847-1980

LA LAMPARA DE DESCARGA GASEOSA : MODELADO Y EXPERIENCIAS
CONDUENTES AL DISEÑO DE DISPOSITIVOS ELECTRONICOS DE -
CONTROL.

MEMORIA PRESENTADA POR D. SALVADOR
ROS TORRECILLAS PARA OPTAR AL GRADO
DE DOCTOR EN CIENCIAS FISICAS.

UNIVERSIDAD DE MADRID - FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS.



A mi mujer

Deseo hacer constar mi agradecimiento más expresivo al Dr. D. Manuel Alique Page, Director del Instituto de Automática Industrial, que atrajo mi atención y dirigió mis primeros pasos en este campo.

Quiero expresar mi más sincera gratitud al Prof. D. José M^a Guillen Rubio por su magistral dirección e inestimable ayuda en el desarrollo de la presente memoria.

Igualmente mi gratitud al Prof. D. Antonio Hernández Cachero, sin cuyo asesoramiento y ayuda en todos los ordenes no hubiese sido posible la presentación de esta memoria.

Quiero expresar mi agradecimiento a todos mis compañeros del Instituto de Automática Industrial, por su de interesada ayuda en todo momento.

Finalmente a Conchita Prieto por el esmero con que ha realizado el mecanografiado del original y por su continuo estímulo para que llevara a feliz término esta memoria.

I N D I C E
=====

CAPITULO I.

1. La lámpara de descarga.

- 1.1. Historia de la lámpara de descarga.
- 1.2. Teoría de la lámpara de descarga.
- 1.3. Producción de luz visible en una lámpara fluorescente.
- 1.4. Tiempo de precalentamiento en una lámpara de descarga.
- 1.5. Columna positiva en una lámpara fluorescente.
- 1.6. Distribución de iones y electrones en la columna positiva.
- 1.7. Excitación entre partículas en una lámpara fluorescente.
- 1.8. Caída de potencial de la descarga en función de la -- corriente.
- 1.9. Los electrodos en una lámpara de descarga.
 - 1.9.1. Funciones básicas en el ánodo y cátodo.

CAPITULO II.

2. Regimen dinámico de la lámpara de descarga.

- 2.1. Difusión ambipolar.
- 2.2. Estudio de la frecuencia de ionización ν_i en función de la temperatura del electrón y del tiempo.

2.3. Comportamiento de la descarga a altas frecuencias.

2.4. Bases para modelos.

CAPITULO III.

3.1. Rendimiento y eficiencia en la radiación de ultravioleta en una lámpara fluorescente.

3.2. Eficiencia de una lámpara fluorescente.

3.3. Eficiencia de la pared de una lámpara.

3.4. Factores que afectan a la vida de los cátodos.

3.5. Causas relacionadas con los cátodos que influyen o determinan la vida media de una lámpara fluorescente.

3.6. Influencia del factor de cresta de la corriente de lámpara en la vida de una lámpara fluorescente.

3.7. Limitaciones en la corriente de lámpara.

3.7.1. Factor de forma de una lámpara.

3.7.2. Límites de la corriente de lámpara.

CAPITULO IV.

4. Modelos matemáticos para una lámpara de descarga de baja presión.

4.1. Sistemas de encendido y estabilización para lámparas de descarga.

4.2. Circuito equivalente de una lámpara de descarga.

4.3. Ecuación diferencial para una lámpara fluorescente.

4.4. Simulación del comportamiento de una lámpara fluorescente.

4.4.1. Determinación de las constantes α/F β

4.4.2. Simulación.

4.4.3. Resultados obtenidos en la simulación.

4.4.4. Comparación de los resultados con las gráficas - obtenidas experimentalmente.

4.4.5. Estudio del comportamiento del modelo cuando el balasto en serie está formado por una L y una R.

4.5. Forma generalizada de la ecuación diferencial de una -- lámpara fluorescente.

4.5.1. Determinación de las constantes a/F y b/F.

4.5.2. Simulación y comparación de resultados.

4.5.3. Comportamiento del modelo con función $f(v)$ y balasto en serie con la lámpara formado por una L y una R.

4.6. Modelo de circuito equivalente para una lámpara de descarga teniendo en cuenta las pérdidas debidas al fenómeno de recombinación y sometida a una pequeña perturbación de corriente alterna.

4.7. Modelo matemático de una lámpara fluorescente en función de la conductancia equivalente.

4.7.1. Determinación de las constantes del modelo.

4.8. Simulación del comportamiento de una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. en función de la conductancia G.

4.9. Comparación entre los diferentes modelos propuestos.

CAPITULO V.

5. Diseño de balastos para lámparas fluorescentes de A.R.

5.1. Diseño de un balasto inductivo para un tubo fluorescente de 110 wátios A.R. alimentado con c.a. a 50 Hz.

5.2. Diseño de un balasto inductivo para un tubo de 110 - wátios A.R. alimentado con c.a. a 50 Hz para una iluminación óptima.

5.2.1. Medios para el diseño

5.3. Comportamiento de una lámpara fluorescente de 110 - wátios A.R. cuando en el circuito de alimentación y una serie con la inductancia se conecta un tiristor bidireccional (triac).

5.3.1. Simulación del triac con una resistencia en paralelo.

PROPOSITO Y DESARROLLO

=====

Los sistemas de iluminación basados en los fenómenos de descarga en gases ocupan en la actualidad un lugar muy importante y significativo dentro del campo de la iluminación artificial, debido fundamentalmente a la alta eficiencia y bajo mantenimiento de los mismos. En la actualidad ya se dispone de fuentes de luz de una eficiencia extremadamente elevada y de un amplio espectro luminoso, que permiten aplicaciones hasta ahora vedadas a las lámparas de descarga en gases. Como es sabido estas lámparas necesitan equipos autónomos capaces de suministrar la tensión de arco necesaria en el momento del encendido; al mismo tiempo este equipo ha de ser capaz de mantener la tensión de lámpara adecuada para un funcionamiento normal, de acuerdo con las características de la lámpara.

Hasta hace relativamente pocos años, el diseñador de una lámpara no contaba con el fabricante del sistema de control, balasto, para esa lámpara sino que una vez diseñada la lámpara el fabricante de balastos solo sabía de ella la potencia, corriente, tensión de encendido y tensión en funcionamiento normal.

Estas variables nos dicen muy poco acerca de los diferentes parámetros que influyen en el fenómeno de la descarga y en estas condiciones son muchas las dificultades que se presentan a la hora de diseñar un dispositivo de encendido y regulación (balasto) para una lámpara de descarga.

Esto es lo que nos ha inducido a hacer un estudio de los diferentes fenómenos que tienen lugar en una lámpara de descarga, muchos

de ellos conocidos, pero no así su influencia en el comportamiento general del tubo ni la influencia que pudiera tener el balasto o el medio ambiente en la vida de la lámpara y muy en especial en el rendimiento de la misma. Por otra parte la introducción de la electrónica dentro del campo de la luminotécnica implica un mejor conocimiento de los fenómenos físicos que tienen lugar en la descarga en gases. Nuestro propósito es por una parte hacer un estudio de estos fenómenos y por otra, conocidos estos, tratar de llegar a un modelo matemático de la lámpara de descarga y en particular de las lámparas fluorescentes que permita, en un circuito de alimentación dado, sustituir a la lámpara por el correspondiente modelo, pudiendo con ello predecir el comportamiento de la lámpara dentro del circuito, o bien conocido el modelo matemático de la lámpara y la fuente de alimentación del sistema, diseñar el dispositivo de encendido y regulación más adecuado. Hasta ahora, el diseño se viene haciendo mediante aproximaciones sucesivas, puesto que en los sistemas electromagnéticos no se pueden conseguir grandes precisiones. Ahora bien para el empleo de elementos semiconductores se hace necesario un conocimiento más exacto de los diferentes parámetros que afectan al comportamiento de la lámpara como pueden ser: la presión del gas de relleno, resistencia interna de las paredes del tubo, longitud del tubo, constitución y forma de los cátodos, pérdidas en los cátodos, caída de tensión en los cátodos, diámetro del tubo, temperatura de la pared del tubo, frecuencia de la tensión de alimentación, forma de onda de la tensión de alimentación, sistemas de encendido, etc. Sabiendo el modo de comportarse el tubo de descarga frente a estas variables ya estaremos en condiciones de abordar el problema del modelado.

En el capítulo I se realiza un estudio de los fenómenos físicos que tienen lugar dentro de una lámpara de descarga, en particular en las lámparas fluorescentes, centrandó la atención en el estudio de la columna positiva. Así mismo, se ha estudiado la característica tensión-corriente de una lámpara fluorescente, viendo la influencia de la presión de vapor de mercurio en la producción de iones la distribución de estos, así como la influencia de la temperatura del electrón T_e en el rendimiento de la columna positiva. Como parte muy importante de una lámpara se ha estudiado también los electrodos o cátodos, las funciones que desempeñan y la influencia que presentan en el rendimiento de la lámpara, la distribución de electrones en los cátodos, la caída de tensión en las diferentes zonas del tubo, y la influencia de la frecuencia de la tensión de alimentación en la forma de onda de la tensión de lámpara, pues que para frecuencias superiores a los 5K.Hz la densidad de electrones libres no cambia de un modo sensible en un semiperíodo y si en cambio se aproxima a un valor constante; en este caso la descarga se comporta en cada instante como un conductor óhmico y tanto la corriente de lámpara como la diferencia de potencial en los extremos de la misma, llegan a presentar una forma de onda aproximadamente senoidal y muy próximas en fase.

En el capítulo II se ha estudiado el régimen dinámico de la lámpara de descarga, la influencia de la frecuencia de ionización $\mathcal{U}_i(T_e)$ en función de la temperatura del electrón T_e , el fenómeno de difusión ambipolar y su coeficiente D_a , y la movilidad de los electrones u_i , dando una expresión que relaciona \mathcal{U}_i , μ_i , T_e , D_a , se hace un estudio del comportamiento de la descarga a altas frecuencias, comprobándose que a frecuencias del orden de los Kilociclos, el compor-

tamiento de la descarga es semejante al caso de alimentación con c.c; por tanto podemos tomar valores eficaces de la tensión y corriente de lámpara sin errores apreciables.

Así mismo se dan las bases para establecer unos modelos de lámpara empleando las variables macroscópicas N , V , I , y la conductancia equivalente de la lámpara G .

En el capítulo III se ha estudiado el fenómeno de saturación en la producción de radiación ultravioleta y la influencia de la temperatura ambiente, para lo cual se ha diseñado un sistema especial que nos permite mantener el tubo a la temperatura deseada, se han estudiado los diferentes factores que afectan a la vida y a la eficiencia de una lámpara, habiéndose comprobado experimentalmente:

- a) Las corrientes de lámpara excesivas hacen que los cátodos se agoten rápidamente en detrimento de la vida de la lámpara y de la luminosidad.
- b) El factor de cresta de la corriente de lámpara es decisivo hasta el punto que para factores de cresta superiores a 1.7 y sometida la lámpara a una prueba de encendido intermitente la lámpara se puede agotar en pocas horas.
- c) Todas las lámparas que hemos estudiado en esta memoria necesitan un tiempo mínimo de precalentamiento entre 0.5 seg. y 1 seg., habiéndose comprobado que cuando estos tiempos se hacen más pequeños los cátodos se ennegrecen muy rápidamente.

Se ha estudiado el comportamiento de balastos inductivos, capacitivos y resistivos asociados con una lámpara de descarga de las mis-

mas características fijando la atención en la luminosidad por vatio - consumido habiéndose llegado a la conclusión de que la mejor relación luminosidad/potencia consumida se obtiene para aquellos sistemas donde el factor de cresta es menor que 1.7.

En el capítulo IV y a partir de las bases para modelos dadas en el capítulo II, se ha procedido al estudio de diferentes modelos - para una lámpara fluorescente, en el caso más sencillo hemos conseguido expresar el valor instantáneo de la corriente de lámpara i en función de la tensión instantánea en los extremos de la lámpara y de los parámetros α/F y β que dependerán del tipo de lámpara que utilizemos. Se ha realizado un estudio teórico para la determinación de los valores de α/F y β , al mismo tiempo se ha desarrollado un método de medida para la determinación de estos parámetros habiéndose calculado experimentalmente los valores de $\frac{\alpha}{F}$ y β correspondientes a una lámpara fluorescente de 40 watos y de 110 watos Arranque Rapido respectivamente, el siguiente modelo estudiado es una forma generalizada de una ecuación diferencial para una lámpara fluorescente de la forma -

$$\frac{dN}{dt} = i f(V) - \beta N$$

procediendo a la determinación experimental de los parámetros $\frac{a}{F}$ y $\frac{b}{F}$. A continuación y partiendo de la ecuación diferencial anterior hemos estudiado un caso particular en el que $f(V) = \alpha V$ y las pérdidas de electrones en el tubo son debidas a los fenómenos de recombinación - KN^2 , y en la pared del tubo representadas por - $(aN^2 + bN)$ de esta forma hemos llegado a la ecuación diferencial -

$$\frac{dN}{dt} = \alpha VI - \beta N - \gamma N^2$$

a partir de la cual y sometiendo el sistema a

una pequeña perturbación de corriente alterna hemos llegado al circuito equivalente de una lámpara de descarga, finalmente se estudia la -ecuación diferencial de la lámpara en función de la conductancia. A -partir de todos estos modelos se ha procedido a la simulación de un -sistema constituido por la fuente de c.a., la lámpara y un balasto, -este se ha planteado en caso de resistencia pura y cuando se trata de una autoinducción L con su resistencia de pérdidas R , a partir de los resultados obtenidos en la simulación se ha comprobado como la bondad del modelo ha ido creciendo del modelo más sencillo hasta llegar al -modelo de la conductancia representado por la ecuación 4-50.

Finalmente en el capítulo V y a partir del modelo para lámpara, en función de la conductancia y una vez fijadas una condiciones mínimas que ha de cumplir el balasto. Se ha diseñado un balasto de -tipo inductivo para una lámpara fluorescente de arranque rápido de -110 wátios posteriormente se ha realizado físicamente y se han comparado los resultados experimentales con los obtenidos por simulación como se observa en la tabla 5-2.

Con el fin de que la iluminación en un punto, producida por la lámpara sea máxima fijada la potencia de la lámpara se ha introducido en el diseño el concepto "intensidad de corriente de lámpara -- que produce iluminación", habiéndose determinado experimentalmente -la característica intensidad de corriente de lámpara iluminación producida, por último y con el fin de reducir el volumen del balasto y las pérdidas en el mismo se ha simulado el sistema formado por una -lámpara, un balasto conductivo y un triac con una resistencia en paralelo y todos los elementos en serie con la fuente de alimentación habiéndose conseguido reducir el valor de la conductancia L .

C A P I T U L O I

1. La lámpara de descarga

1.1. Historia de la lámpara de descarga.

Desde los tiempos más remotos, el hombre ha conocido el fenómeno natural de conducción de la electricidad a través de un gas, más por sus efectos que por su naturaleza, tal es el caso de la Aurora Boreal. En el siglo XIX se hicieron las primeras investigaciones del plasma a fin de llegar a una mayor comprensión del comportamiento de los electrones y de los átomos.

El término físico del plasma se emplea ahora para describir el estudio general de los gases ionizados definiéndose un plasma como un gas que contiene partículas positivas y negativas pero que no tiene una carga determinada.

Los resultados de estos estudios ayudaron al desarrollo de la teoría atómica de la materia y ya más recientemente la teoría cuántica. Desde la primera guerra mundial se ha venido investigando el uso práctico de una descarga gaseosa como fuente luminosa, así como su utilidad.

El resultado práctico de todas estas investigaciones son los diferentes tipos de lámparas que hoy en día se emplean en iluminación y exteriores, así como con fines terapéuticos, anti-contaminantes, etc.

1.2. Teoría de la lámpara de descarga.

Una lámpara de descarga típica puede ser la que se muestra en la fig. (1-1), dicha lámpara consta fundamentalmente de dos electrodos, cátodo y ánodo respectivamente, colocados en los extremos de un recipiente, por regla general de forma tubular, aunque no es imprescindible. El material de que está constituido dicho tubo puede ser vidrio o cuarzo, según la finalidad que se le vaya a dar a la lámpara. En el interior del tubo una vez hecho el vacío se introduce una cantidad determinada de vapores metálicos o bien metales cuya presión de vapor a la temperatura ambiente sea la más adecuada al tipo de lámpara que se pretende, según sea la aplicación o el rendimiento que se desea obtener. Las sustancias de relleno más utilizadas son: Mercurio, Sodio, Argón, Neón, Helio, Krypton, Xenón, etc.

Para facilitar el fenómeno de la descarga en gas, el cátodo ha de estar cubierto de un material tal que sea capaz de emitir electrones por efecto termoiónico. En caso de alimentación de la lámpara mediante una fuente de tensión continua, el ánodo y el cátodo han de estar perfectamente diferenciados, no ocurre lo mismo cuando la lámpara está diseñada para funcionar con corriente alterna ya que en este supuesto los dos electrodos han de tener las mismas características.

En estas condiciones, la aplicación de una diferencia de potencial entre los dos electrodos, hace que aparezca un campo eléctrico en el tubo que acelerará los electrones libres próximos al cátodo desplazándoles en dirección al ánodo. En este desplazamiento de los electrones algunos chocan con los átomos

mos de metal, que en estado de vapor se encuentran en el interior del tubo. Algunos de estos electrones tienen suficiente energía como para que al chocar con un átomo liberen un electrón y dejar al átomo con una carga positiva, con lo que en el fenómeno de choque se libera un electrón y un ión positivo.

El proceso de ionización que tiene lugar dentro del tubo crea fotones, cuyo espectro de frecuencia cubre el espectro de luz visible y la zona del ultravioleta.

1.3. Producción de luz visible en una lámpara fluorescente.

La radiación de ultravioleta es transformada en luz visible mediante el empleo de sustancias fluorescentes adecuadas que recubren con una película muy fina las paredes interiores del tubo, en tanto que dura la absorción de una determinada radiación, en este caso la U.V.

Por tanto, las materias fluorescentes son sustancias transformadoras de radiación. Cuando la emisión de radiación se lleva a cabo sin fosforescencia apreciable, cosa frecuente con las sustancias fluorescentes que se emplean en luminotecnia, donde la fosforescencia tiene una duración menor de 0,1 seg., recibe el nombre de fluorescencia. El proceso de absorción y emisión de radiación se efectúa según la regla de Stokes 90. Si llamamos W_e a la energía absorbida por la sustancia fluorescente y W_a a la energía radiada, se ha de cumplir en todo momento que $W_e \geq W_a$ relación que se expresa en cuantos de energía, vendrá dada por:

$$h\nu_e \geq h\nu_a \text{ , } h \frac{c}{\lambda_e} \geq h \frac{c}{\lambda_a}$$

de donde:

$$\lambda_e \leq \lambda_a$$

por tanto la longitud de onda λ_e de la radiación absorbida ha de ser menor o igual que la longitud de onda λ_a de la radiación radiada.

El rendimiento energético φ del sistema, lo definiremos como la relación entre la longitud de onda absorbida λ_e y la irradiada λ_a .

$$\varphi = \frac{W_a}{W_e} = \frac{h\nu_a}{h\nu_e} = \frac{\lambda_e}{\lambda_a}$$

(1-1)

Desde el punto de vista cuantico diremos que el rendimiento cuantico γ tendrá como valor la unidad, cuando la sustancia fluorescente produce un cuanto de luz por cada cuanto absorbido, por lo general los materiales fluorescentes que se emplean en luminotecnica tienen un rendimiento cuantico comprendido entre 0,4 y 0,8.

Para el cálculo del rendimiento luminico teorico de la transformación de radiación η se ha de conocer el equivalente fotometrico de la radiación correspondiente a la longitud de onda de la luz irradiada K . Si la radiación absorbida es ultravioleta, con una longitud de onda $\lambda = 254 \text{ m}\mu$, la emitida es de

una sola longitud de onda $\lambda = 500 \text{ m}\mu$ correspondiéndole un equivalente fotométrico de radiación $K_{500} = 220 \text{ lm/W}$, el rendimiento lumínico teórico de la transformación de luz en la sustancia fluorescente valdrá $\eta = \varphi \gamma K_{\lambda}$ donde se ha supuesto un rendimiento cuántico de $\gamma = 0,6$ luego:

$$\eta = \varphi \gamma K_{\lambda} = \frac{254}{500} \cdot 0,6 \cdot 220 = 67 \text{ lm/W}$$

(1-2)

Las sustancias fluorescentes más usadas en luminotecnología son volfratos, silicatos, sulfuros, boratos y fosfatos halogenados, mediante una mezcla adecuada de estas sustancias, se pueden producir una gran diversidad de colores fluorescentes, esto hace que la iluminación fluorescentes pueda competir con la iluminación tradicional, no solo para iluminación exterior sino en iluminación ornamental, interiores, etc.

Cada fosforo presenta un espectro característico de absorción y de emisión. En la fig. (1-2) se muestran los espectros de emisión correspondientes a diferentes fosforos. (92).

A diferencia de lo que ocurre con las lámparas fluorescentes la mayor parte de las radiaciones que se producen en una lámpara de descarga de alta presión corresponden al espectro de luz visible por ello no es usual el empleo de fosforos para recubrir las paredes interiores de la lámpara.

Cuando el número de electrones que entran por los ter

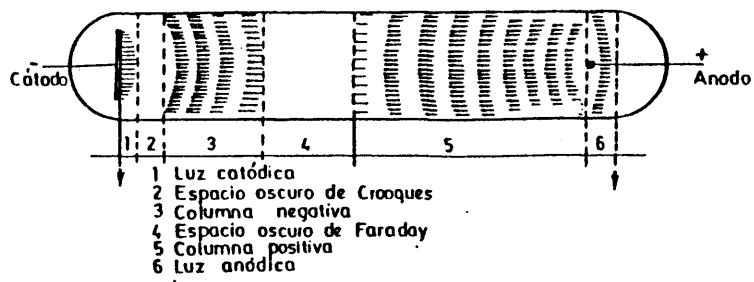


Fig.-1.1 Representación esquemática de un tubo de descarga

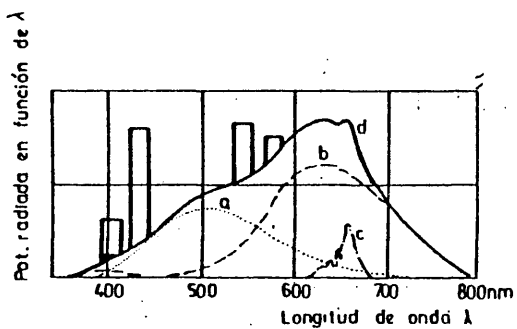


Fig.- 1.2 Curvas espectrales de:
a) Alofasfato de estroncio
b) Fosfato de magnesio y estroncio
c) Arseniato de magnesio
d) Mezcla de a, b y c

minales exteriores del cátodo es igual al número de electrones que abandonan el ánodo, se dice que la corriente de lámpara es estabilizada. Los electrones adicionales que se generan por otro tipo de excitaciones no llegan a alcanzar el ánodo, por otra parte estos electrones se difundirán en las paredes del tubo donde se recombinan con los iones de mercurio u otro metal. Las descargas que se comportan de esta forma se pueden considerar como de pared estabilizada.

Para una corriente de lámpara dada, el número de electrones que están colisionando y en consecuencia la cantidad de luz emitida, es una función del número de moléculas presentes en el vapor. En una lámpara fluorescente la presión dentro de la misma es muy baja, mucho más baja que la presión atmosférica, lo que hace que gran parte del mercurio que se encuentra dentro del tubo está en estado de vapor, por ello este tipo de lámparas no necesitan un tiempo previo de calentamiento para que el gas se ionice lo suficiente como para que tenga lugar la descarga.

1.4. Tiempo de precalentamiento en una lámpara de descarga.

Las lámparas de vapor a alta presión y a la temperatura ambiente contienen pocas moléculas de mercurio en estado de vapor, por ello se hace necesario el empleo de gases inertes, tales como el Argón, con el fin de acelerar la ignición del arco.

El mercurio que se encuentra condensado dentro del tu

bo se vaporiza tan pronto como la temperatura de la pared de la lámpara va aumentado, por ello necesita un periodo previo de calentamiento próximo a los cinco minutos. Cuando la temperatura de la pared alcanza los 400°C , la mayor parte del mercurio se encuentra dentro de la lámpara en estado de vapor. A lo largo de nuestro trabajo hemos comprobado la importancia de la temperatura de la pared del tubo siendo un factor importante a tener en cuenta a la hora del diseño de dispositivos de encendido y alimentación de lámparas de descarga, si pretendemos un rendimiento máximo de las mismas.

1.5. La columna positiva en una lámpara fluorescente.

Como hemos indicado en (1-3) una lámpara de descarga de vapor de mercurio a baja presión, no es otra cosa que un dispositivo que con una eficiencia poco corriente transforma la potencia eléctrica de entrada en radiación ultravioleta de salida, dentro de la línea de resonancia del vapor de mercurio correspondiente a 2537 \AA . (33).

Este efecto requiere en primer lugar que las pérdidas por radiación dominen por encima de los otros dos tipos de pérdidas más importantes que tienen lugar en este tipo de descarga, que son, las pérdidas por ionización y las pérdidas por colisión elástica. Para una mejor comprensión del proceso vamos a estudiar en primer lugar el tipo de cambios de energía que tienen en el plasma de la descarga, desde un punto de vista muy general, y su posterior aplicación al particular de una lámpara fluorescentes.

El plasma en una descarga es un medio electricamente conductor, perfectamente definido y separado del resto de la zona de descarga, que viene caracterizada fundamentalmente por la presencia en el gas, de aproximadamente igual número de iones que de electrones libres.

La neutralidad eléctrica de un plasma constituye una visión macroscópica del mismo, ya que desde el punto de vista microscópico hay que considerar la existencia de un gradiente de campo eléctrico en el entorno más próximo de cada partícula cargada, que invalida la idea de neutralidad. Para determinar la extensión para la que el campo de una partícula individual ha de ser tenida en cuenta, tomamos una partícula cargada, un ión positivo, dentro de un plasma neutro. El campo creado por la partícula cargada da lugar a una separación de cargas en su vecindad, atrayendo a los electrones y repeliendo a los iones, y en consecuencia modificando el modelo de campo.

(37) Supongamos un tubo cilíndrico de radio R , un plasma cilíndrico, la función de distribución sigue la Ley de Boltzmann, y que el potencial para un radio cualquiera R es $V(r)$, bajo estos supuestos se puede predecir la concentración de iones positivos n_+ y de electrones n_- , así escribiremos:

$$n_- = n_e e^{eV/KT} n_e \left(1 + \frac{eV}{KT} \right) \quad (1-3)$$

$$n_+ = n_e e^{-eV/KT} n_e \left(1 - \frac{eV}{KT} \right) \quad (1-4)$$

donde:

e = carga del electrón

K = constante de Boltzmann

puesto que $eV \ll KT$ más o menos en todas partes; n_e es la concentración de iones y electrones para $V = 0$, esto es, la concentración en el plasma como conjunto, más allá de la zona de influencia del ión considerado y T es la temperatura, que se supone es la misma simetría esférica tendremos:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial z}{\partial r^2} (Vr) = \frac{n_- - n_+}{\epsilon_0} e = \frac{2n_e e^2 V}{\epsilon_0 KT} \quad (1-5)$$

resolviendo la ecuación, para este caso, tendremos:

$$V = - \frac{e}{4\pi \epsilon_0 r} e^{-r \sqrt{n_e e^2 / 2KT}}$$

$$\propto \frac{1}{r} e^{-r / \lambda_D} \quad (1-6)$$

siendo:

$$\lambda_D^2 = \frac{2KT \epsilon_0}{n_e e^2} \quad (1-7)$$

donde λ_D recibe el nombre de longitud de Debye o distancia de apantallamiento. Si suponemos que la concentración de iones positivos, debido a su poca movilidad no se altera y -

que solo n_e varia según la ley de Boltzmann, el factor 2 de la ecuación (1-7) se omite y T será siempre la temperatura del - electron.

De la ecuación (1-6) se deduce que para $r \ll \lambda_D$ el campo del ión considerado está afectado fuertemente por el - plasma, mientras que para $r \gg \lambda_D$ ésta influencia es muy peque - ña. Haciendo el mismo estudio para un electrón llegaríamos a - las mismas conclusiones. Por ello, podemos decir, de un modo - general que el plasma apantalla la carga de una partícula indi - vidual para distancias mayores que la longitud de Debye λ_D .

Esto significa que la perturbación casual del movi - miento desordenado de partículas unicamente puede producir se - paración de carga para distancias del orden de λ_D . Por con - siguiente, para la neutralidad del sistema, desde el punto de vista macroscópico, las dimensiones del plasma deben ser mucho mayores que λ_D . En particular, la columna positiva normal den - tro de un tubo de descarga la definiremos como aquella en la - cual se cumple que $R \gg \lambda_D$. La columna positiva, si bien no es perfectamente uniforme, se puede estudiar de forma aproximada como tal. A presiones de algunos mm de Hg y para $R \gg \lambda_D$ el ca - mino libre del electrón es lo bastante largo como para que ad - quiera una energía apreciable entre colisiones, ahora bien, - en una columna positiva uniforme axialmente, la energía media así adquirida debe igualar a la pérdida media en cada colisión. El mantenimiento de la conductividad dentro de la columna re - quiere que la producción de pares de electrón-ión, por recom -

binación tenga lugar a la misma velocidad con que se pierden. En los fenomenos de descarga a baja presión el proceso más importante es de recombinación por difusión ambipolar de electrones e iones en la pared del tubo, siendo este más importante que la recombinación que tiene lugar en el volumen de la descarga, en consecuencia el valor medio de pares electrón-ión producidos y perdidos en la descarga dependerá en general del diametro del tubo, de la presión del gas de relleno del tubo y de la temperatura ambiente.

La fuente de energía que mantiene la conductividad del plasma la proporciona el campo eléctrico aplicado al tubo que produce la aceleración de los electrones-iones dentro del plasma.

1.6. Distribución de iones y electrones en la columna positiva.

Los iones debido a que su masa es mucho mayor que la de los electrones por acción del campo electrico, son acelerados con velocidades mucho más bajas que las correspondientes a los electrones, por ello, en el balance de energía de entrada no tienen un significado relevante. Los electrones acelerados por el campo eléctrico ganan energía dando lugar en su movimiento a colisiones elasticas con los átomos del gas de relleno del tubo, los cuales los desvían de su trayectoria con una pequeña pérdida de energía pudiendo colisionar con otras particulas, las cuales sólo cambian energía entre electrones y éstos dan lugar a colisiones inelasticas con los átomos del gas a los que ionizan o excitan a niveles energeti

cos más elevados desde los cuales los átomos radian.

Como resultado de esta influencia múltiple en contacto con los electrones, la nube electrónica en el plasma - adquiere una distribución de velocidades. En el caso de la - descarga con mercurio y gases raros esta distribución es lo más parecido a una simetría esférica y a una distribución Maxwelliana, esto quiere decir que hay una gran aproximación entre el número de electrones que se mueven en una dirección como en otra y la distribución de velocidades en los electrones del gas está dada por la fórmula de Maxwell-Boltzmann. (112) (26).

$$f(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{u}{KT} \right)^{1/2} e^{-u/KT} \quad (1-8)$$

donde $u = MV^2/2$, es un parámetro de escala. En un sistema en equilibrio termodinámico puro en el que todos los componentes obedecen a la ecuación (1-8) T es la temperatura, por convenio en este caso, la representaremos subscripta y la llamaremos T_e "Temperatura efectiva del electrón", en la fig. (1-3) representamos esta distribución para dos casos típicos, $KT = 1.1 \text{ ev}$ y $KT = 1.0 \text{ ev}$ junto con los niveles energéticos de los estados más importantes correspondientes al mercurio y al Argón.

Por efecto del campo eléctrico aparece un movimiento de desplazamiento a lo largo de las líneas del campo de la - nube electrónica, pero esta velocidad de desplazamiento es generalmente el uno o dos por ciento de la velocidad propia de la partícula en cada caso, con lo cual los electrones se mue

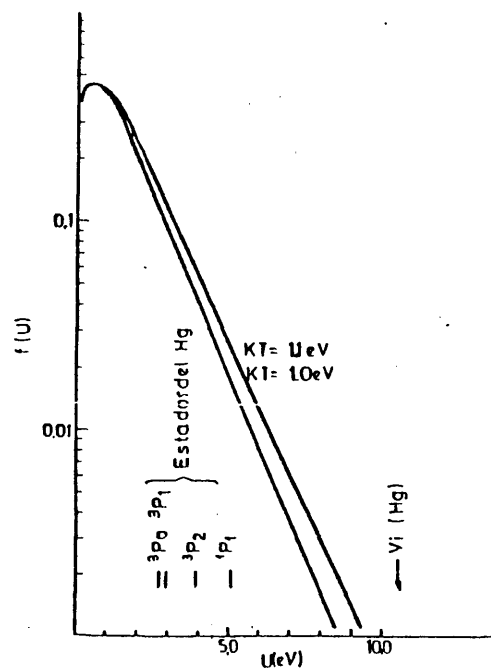


Fig.-1.3 Distribución Maxwell Boltzmann en una lámpara fluorescente

ven en todas direcciones, debido al efecto despreciable de esta componente de desplazamiento.

La temperatura efectiva de los electrones vendrá determinada por la ecuación de equilibrio entre la energía de entrada a los electrones del gas, debido a sus movimientos de desplazamiento a lo largo del campo eléctrico, y la energía perdida por los electrones del gas, debido a los procesos de ionización, excitación y scattering elástico.

Los electrones reparten la energía de entrada para mantener una distribución de velocidad de la forma mostrada en la fig. (1-3) donde la temperatura T_e es la determinada por el equilibrio de energía. En un plasma en equilibrio estatico, en el que la densidad de electrones e iones no cambia con el tiempo, la producción media de pares ión-electrón debe ser exactamente igual a la cantidad media de pares perdidos. La tasa de producción de pares de iones-electrones varía grandemente con la temperatura T_e , por que la fracción de electrones que tienen energía suficiente para ionizar un átomo del gas, para el caso del mercurio más de 10,4 Vol., aumenta exponencialmente con la temperatura ver fig. (1-3). Por consiguiente en una descarga en la cual el fenómeno de difusión es el mecanismo predominante en las pérdidas por ionización, hay una temperatura T_e característica para que la descarga se mantenga en estado estatico, y estará determinada por el diametro del tubo y la presión del gas. Por otra parte el campo eléctrico se ha de ajustar, para producir una temperatura T_e , en equilibrio con la energía pérdida por la nube electrónica. Esto se

ha conseguido hasta ahora con dispositivos de encendido y regulación electromagnéticos en el caso de C.A. y resistencias en el caso de C.C. conectadas en serie cuya finalidad es suministrar la tensión de arranque necesaria, pero al mismo tiempo esta diferencia de potencial entre los electrodos de encendido disminuye a medida que la corriente aumenta, llegando a una corriente de equilibrio para la cual la diferencia de potencial entre los extremos del tubo y el campo eléctrico en el plasma tengan exactamente el valor requerido para mantener la temperatura, T_e , en un valor correcto a fin de obtener el máximo rendimiento del dispositivo, la distribución de energía perdida por los electrones del gas entre pérdidas por escattering, pérdidas por excitación para dar lugar a una radiación y pérdidas de ionización, también dependen de T_e .

En una colisión elástica entre un electrón moviéndose y un átomo que desvía al electrón, el electrón pierde una parte de su energía que cede al átomo, cuyo valor medio es $(8/3)(m/M)$, donde m es la masa del electrón y M es la masa del átomo. Toda vez que m/M es pequeño, del orden de $1/75.000$ para electrones y átomos de Argón, las pérdidas debidas a una colisión son pequeñas, pero el número de colisiones por unidad de tiempo es alto, por tanto las colisiones elásticas constituyen una fuente de pérdidas importantes.

Las pérdidas por colisión en un electrón son proporcionales a la energía del mismo, por término medio la energía perdida aumenta aproximadamente linealmente con la temperatura, siendo el valor medio de la energía total perdida por los

electrones proporcional al número de colisiones por unidad de tiempo, por tanto la energía perdida aumenta proporcionalmente a la densidad de átomos en el gas. Por otra parte, la excitación de un átomo requiere un mínimo de energía en el electrón igual a la diferencia de energía del estado al cual el átomo fue excitado y la energía en su estado original, además la fracción de electrones que tienen energía suficiente para excitar átomos varía aproximadamente de forma exponencial con la temperatura T_e . Comparando las colisiones elásticas con las colisiones que dan lugar a excitación, estas son relativamente poco frecuentes, toda vez que solo unos pocos electrones tienen energía suficiente para dar lugar a este fenómeno.

El proceso de ionización de un átomo para producir un nuevo par ión-electrón es también un fenómeno de colisión de un electrón en el que el electrón del gas pierde energía, sin embargo esta proporción es la que determina todas las otras, y en una descarga típica, muy pocos electrones hay en el plasma con energía suficiente para ionizar átomos.

1.7. Excitación entre partículas en una lámpara fluorescente.

Un proceso de gran importancia que tiene lugar en la descarga en gas, es la colisión entre electrones. La frecuencia de tales colisiones es alta, debido a su carga los electrones ejercen fuerzas a una distancia considerable y están moviéndose en todas direcciones, y al chocar con los átomos de gas los desvían de su trayectoria paralela al eje del tubo. Por otra parte y dado que la masa de los electrones es

la misma, la energía intercambiada entre ellos es importante. La aplicación de la mecánica estadística a este fenómeno nos lleva a considerar una distribución de velocidades del electrón del tipo de Maxwell-Boltzmann (1-7) ya que una descarga en mercurio y gases raros, aún en ausencia de colisiones electrón-electrón, está próxima a esta función de distribución. La energía que llega a un electrón desde el campo eléctrico la recibe de los otros electrones a fin de establecer una distribución entre los electrones del gas en la cual la temperatura sea T_e . Los electrones del gas interactúan con el mercurio y el argón, perdiendo energía y produciendo iones en una proporción determinada por T_e .

En una descarga en mercurio y gases raros, una de las funciones más importantes de los gases raros es retardar la tasa de difusión de iones y electrones en la pared del tubo, consiguiendo con ello ajustar la temperatura efectiva del electrón al nivel óptimo deseado, este nivel óptimo se puede definir cualitativamente como una cantidad lo suficientemente alta tal que las pérdidas por excitación y radiación, exponenciales en T_e , excedan con holgura a las pérdidas por colisión elástica, lineales en T_e , y además de ser lo suficientemente bajo tal que la excitación de los estados deseados - de los átomos de mercurio (3p. 4,86 eV por encima del estado fundamental) predominen por encima de todos los estados de energía más alta. La tasa de excitación de un estado simple, E, de un átomo la podemos expresar aproximadamente, de la forma: (60).

$$R \approx C_e^{-eE/KT_e} \quad (1-9)$$

siempre que supongamos una distribución Maxwelliana de los electrones del gas en el plasma. Para un átomo que solamente se pueda presentar en tres estados (fundamental, E_1 y E_2) la tasa media de excitación vendrá dada por la expresión:

$$R = C_1 e^{-eE_1/KT} e + C_2 e^{-eE_2/KT} e \quad (1-10)$$

Si suponemos que la radiación que nosotros deseamos viene desde el más bajo de los estados excitados, la fracción de la energía total de entrada que contribuye a la excitación del estado deseado, ultimamente emitido en forma de radiación, se expresa:

$$F = R_1/R = \frac{C_1 e^{-eE_1/KT} e}{C_1 e^{-eE_1/KT} e + C_2 e^{-eE_2/KT} e} = \frac{1}{1 + (C_2/C_1) e^{-e(E_2 - E_1)/KT} e} \quad (1-11)$$

como se puede observar y puesto que T_e aumenta, el término exponencial que aparece en el denominador de (1-11) aumenta y la fracción F que representa la energía que va a excitar el estado deseado decrece.

En el caso del mercurio sucede que la energía de excitación del estado 6^3P_1 desde el que se emite la radiación deseada es tal que su valor es menor que la mitad del

potencial de ionización y que las energías de los siguientes grupos cuyos estados de excitación son más altos y desde los que se emiten radiaciones no visibles, están varios voltios por encima del estado 3P, en la fig. (1-4), mostramos un diagrama simplificado de niveles de energía, por consiguiente, la temperatura del electrón a la que el 70% ó el 80% de la energía total de excitación va al estado de excitación deseado, puede llegar a ser lo suficientemente alta para que la energía disipada por excitación puede exceder en un factor 4 ó 5 a las pérdidas por dispersión elástica, dando lugar a una presión de gases raros no muy elevado.

1.8. Caída de potencial de la descarga en función de la corriente.

La intensidad del campo eléctrico axial, y por otra parte la caída de tensión de arco de una descarga, depende en parte de las diferentes propiedades de los gases raros que rellenan la lámpara, así la intensidad del campo eléctrico axial viene determinada por la energía eléctrica por unidad de volumen requerida por los electrones del gas para que sea igual a la energía perdida por unidad de volumen y por electrón del gas, así obtendremos:

$$J_e \cdot E = n_e W_e (T_e) \quad (1-12)$$

donde J_e es la densidad de corriente de electrones, E es la intensidad de campo eléctrico axial, n_e es el número de elec

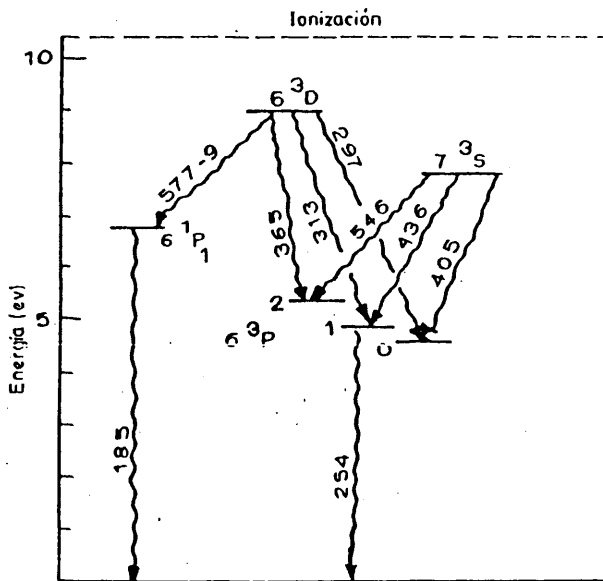


Fig-1.4 Diagrama de niveles de energía para el mercurio estados y líneas de radiación.
Longitud de onda en (nm)

trones por unidad de volumen y $W_e(T_e)$ es la energía media total perdida por electrón a la temperatura T_e , la densidad de corriente electrónica J_e está dada por:

$$J_e = e n_e \mu_e E \quad (1-13)$$

donde e es la carga del electrón, μ_e es la movilidad del electrón. (9).

En la fig. (1-5) la curva A representa la caída de potencial de la descarga en función de la corriente para una presión de vapor de mercurio constantes. La curva B, representa la misma característica para una presión de vapor de mercurio determinada por la temperatura de las paredes del tubo. Se puede observar que la caída de potencial de la descarga disminuye con el incremento de la presión del mercurio, esto es consecuencia de dos hechos:

- a) El incremento de la presión de vapor de mercurio proporciona más átomos de mercurio para ionizar, aumenta la proporción de ionización para una temperatura electrónica dada, siendo necesario temperaturas electrónicas más bajas para un estado estacionario.
- b) El incremento de la presión del mercurio da lugar a un aumento de la retención de radiación de resonancia y reduce las pérdidas de energía en la descarga, disminuyendo con ello el gradiente de potencial axial requerido para mantener una temperatura electrónica dada. Como consecuencia de

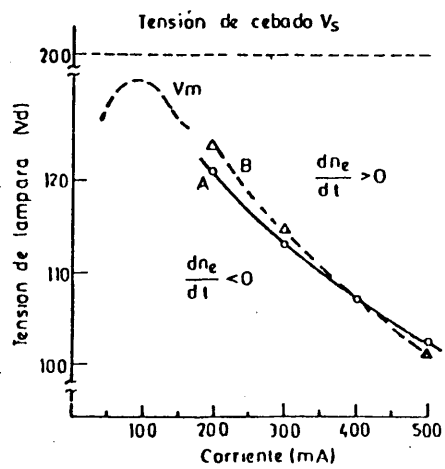


Fig.1-5 Característica tensión de lámpara, corriente lámpara
 curva A) presión de vapor de mercurio constante temperatura de pared 40°C. curva B) temperatura de pared fijada por la corriente, temperatura ambiente 23°C.

que la curva característica (i.v.), es negativa, se dice que tal descarga tiene una "resistencia negativa". Esto da lugar a un problema en el circuito de operación de la lámpara haciéndose necesario el empleo de un elemento capaz de regular la corriente, la potencia o ambas cosas a la vez.

En general se hará necesario el uso de una tensión de encendido superior a la de alimentación en estado estacionario a fin de producir la ionización en el gas y de este modo iniciar la descarga. Esta tensión, la definiremos como - tensión de arranque V_s , si esta tensión de arranque fuese - aplicada directamente, a través de los terminales de la lámpara sin emplear ninguna impedancia en serie, el gas se ionizaría y en un instante determinado el punto (i,v) de la característica se podría encontrar en la línea correspondiente a $V = V_s$ que está dentro del dominio en el cual se cumple que la proporción de ionización excede a las pérdidas y dn_e/dt , es mayor que $n_e \nu_{10}$, en consecuencia n_e va creciendo continuamente con el tiempo, y con ello, la corriente de descarga en la lámpara, hasta tal límite que se puede producir la destrucción del tubo. Por consiguiente, los tubos de descarga han de funcionar dentro de un circuito que al mismo tiempo que facilita el encendido de los mismos, regulen la corriente de lámpara, para lo cual el sistema más sencillo es el empleo de una impedancia serie, tal como se indica en la fig. (1-6), ya sea resistencia, inductancia, capacitancia o bien una combinación de ellas, según el tipo de alimentación en corriente continua o corriente alterna y dentro de esta solo será rentable el -

empleo de inductancias capacitivas si trabajamos con fuentes de alimentación de frecuencias suficientemente elevadas.

En la fig. (1-7) se ha presentado la corriente de lámpara en función de la tensión de lámpara para un circuito formado por una lámpara con una resistencia serie, V_{AB} , es la diferencia de potencial en los extremos de la lámpara, mas la resistencia en serie, V_R la diferencia de potencial en los extremos de la resistencia y V_2 la diferencia de potencial - en los extremos de la lámpara.

Para iniciar la descarga se necesita una tensión V_S , una vez aplicada en los extremos de la lámpara y establecida la ionización, el punto de funcionamiento (i, v) de la característica se encuentra en el dominio donde $dn_e/dt > 0$ y la corriente de descarga hasta el punto de operación (i_{ss}, V_S) aumentos posteriores de la corriente podrían desplazar el punto de operación dentro de una región donde dn_e/dt es menor que cero y entonces la corriente disminuirá volviendo a i_{ss} , esto es debido a que un incremento de la corriente por encima de i_{ss} da lugar a un aumento de la caída de potencial a través de la resistencia y como consecuencia se reduce la diferencia de potencial a través del tubo de descarga, reduciéndose al mismo tiempo la temperatura de los electrones y la producción de iones. La producción de electrones llegaría a ser inferior a las pérdidas de los mismos, dando lugar a una disminución de la densidad electrónica y por consiguiente una reducción de la corriente de lámpara hasta llevarla a un va-

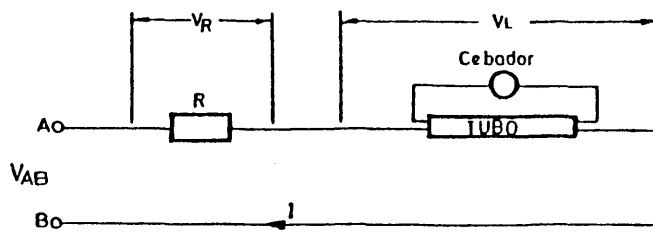


Fig.-1-6 Diagrama equivalente a una estabilización por resistencia.

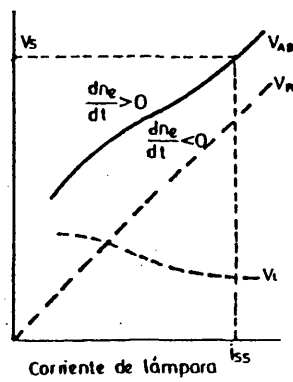


Fig.-1-7 Efectos de la estabilización por resistencia de la corriente de la lámpara.

por i_{ss} , del mismo modo se comprende fácilmente que una disminución de la corriente dará lugar a un efecto opuesto por consiguiente el punto (i_{ss}, V_s) de la característica de funcionamiento del conjunto lámpara resistencia se mantiene estable frente a una perturbación de cualquier signo.

Sustituyendo la ecuación (1-13) en (1-12) y despejando E tendremos:

$$E = \frac{W_e (T_e)^{\frac{1}{2}}}{e \mu_e} \quad (1-14)$$

de la ecuación (1-14) podemos deducir claramente que cuanto menor sea la movilidad de los electrones, tanto mayor será la intensidad del campo eléctrico axial.

(9). La movilidad de los electrones que se puede expresar en función de la frecuencia ν_c de colisión de los electrones con los átomos del gas, que se expresará de la forma:

$$\mu_e = \frac{e}{m \nu_c} \quad (1-15)$$

Las colisiones elásticas debidas al fenómeno de dispersión, que por otra parte, y con gran diferencia, son las más frecuentes, dominan la frecuencia de colisión en la descarga, de tal forma que para presiones normales de vapor de mercurio y de gases raros como componentes de una lámpara fluorescente, determinan la movilidad de los electrones.

Como hemos visto la característica tensión corriente para una lámpara de descarga de baja presión es negativa, esto es debido fundamentalmente a que en un gas ionizado el número de electrones libres aumenta con la corriente, de aquí la necesidad de introducir en el circuito de lámpara un elemento que regule la corriente de lámpara. Ya en 1.948 V.J.(33) Francis enunció que para una lámpara funcionando en condiciones estaticas y alimentada con c.c. los electrones se mueven a través del gas de relleno del tubo, por la acción del campo electrico aplicado entre sus extremos, el gradiente de tensión v la corriente i y la densidad de electrones n vienen relacionados de forma aproximada por la ecuación

$$\frac{v}{i} = \frac{F}{n}$$

donde F es una constante que viene determinada en cada caso por las condiciones de funcionamiento del tubo y depende de la función de distribución de velocidades de los electrones y del camino libre medio de estos.

1.9. Los electrodos en una lámpara de descarga.

Son dos elementos que forman parte de la lámpara situados en los extremos de la misma, su constitución y forma dependen del tipo de lámpara y de la forma del encendido. La finalidad de los electrodos es inyectar electrones de un extremo al otro de la lámpara cuando esta se encuentra alimentada por una fuente de c.a.

Los electrodos en las lámparas de descarga tienen que conducir, potencia eléctrica dentro de la lámpara y también proporcionar una copiosa fuente de electrones para mantener la descarga. Tanto el diseño de los electrodos como los materiales usados en su fabricación son de una gran importancia toda vez que la vida de la lámpara viene dada de forma primordial por la composición de los electrodos.

1.9.1. Funciones básicas en el ánodo y en el cátodo.

Cuando la lámpara fluorescente está alimentada por c.a. en cada semiciclo los electrodos funcionan alternativamente, como cátodo o emisor de electrones y como ánodo o captador de electrones.

La saturación, desde el punto de vista eléctrico, que se presenta en un cátodo precalentado, dentro de una descarga en gas donde la caída de tensión catódica es del orden del potencial de ionización se puede estudiar de la siguiente forma.

Por la ecuación de continuidad podemos escribir:

$$I = I_+ + I_-$$

siendo:

I = corriente total en el cátodo

I_+ = corriente de iones hacia el cátodo

I_- = corriente total de electrones emitidos desde el cátodo.

A continuación tendremos en cuenta las propiedades termoionicas del cátodo bajo el efecto de un campo acelerador y así podemos escribir:

$$I_- = I_e (T_c) \cdot H (E_c \cdot T_c) \quad (1-16)$$

donde :

$I_e (T_c)$ = corriente de electrones debidos a la emisión termoionica a la temperatura T_c .

H = factor multiplicador que es función del campo acelerador E_c en la superficie del cátodo y de la temperatura del cátodo T_c .

Por otra parte tendremos que la temperatura en el cátodo

$$T_c = f (W_c, I^2 R, I V_{+c}, I \phi_c) \quad (1-17)$$

es una función de las diferentes formas de energía que llegan al cátodo tales como:

W_c = Potencia de calentamiento del cátodo

$I^2 R$ = Energía calorifica por efecto joule donde R es la resistencia del cátodo.

$I V_{+c}$ = Energía debida al bombardeo de los iones siendo V_{+c} la tensión correspondiente a la caída catodica.

$I \phi_c$ = Energía debida a los electrones que escapan donde ϕ_c es la función de trabajo.

Por otra parte tenemos que el campo acelerador en la superficie del cátodo es una función de la corriente de iones I_+ y de la caída de tensión catódica V_c , por consiguiente el campo acelerador E_c lo podemos representar por la ecuación

$$E_c = \phi (I_+, V_c) \quad (1-18)$$

Finalmente diremos que la corriente de iones I_+ hacia el cátodo es proporcional a la probabilidad P de que un electrón emitido pueda dar lugar a un ión en la zona de luminiscencia negativa, a la probabilidad P_1 , de que ese ión alcance el cátodo y a la emisión total de electrones I_- por tanto:

$$I_+ = P_1 P(V_c) I_- \quad (1-19)$$

En general la superficie anódica es insuficiente para dar lugar a una caída anódica negativa o cero y el ánodo se ve rodeado por una zona que es atraída hacia el ánodo por la caída anódica positiva, ver fig. (1-8).

Dado que las dimensiones del ánodo son grandes comparadas con el camino libre medio del electrón se presenta una influencia perturbadora en el plasma, que da lugar a una depresión en la densidad del plasma.

La densidad electrónica en la zona que rodea el ánodo es más baja que la densidad electrónica a cierta distancia del ánodo, en una relación aproximada de:

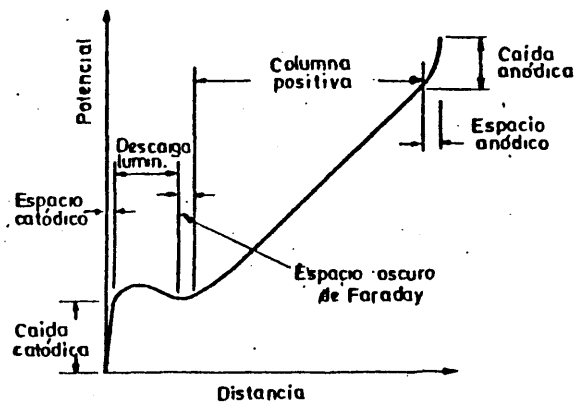


Fig.-1-8 Diagrama de las diferentes regiones de la descarga y caída de potencial en ellas

$$1/(1 + r_e/\lambda_e) \quad (1-20)$$

donde λ_e es el camino libre y r_e es el radio efectivo - del ánodo $\simeq (\frac{1}{2} r_c L)$ donde r_c es el radio de un ánodo cilíndrico y L es la longitud.

La corriente de electrones se dirige hacia el ánodo por difusión como consecuencia del gradiente de densidad y por el campo eléctrico que penetra dentro del plasma desde la envoltura anódica, como consecuencia del efecto acelerado del campo los electrones llegan a la superficie del ánodo con una energía considerable, como consecuencia de esta ganancia de energía, habrá electrones que lleguen a poseer la suficiente energía como para dar lugar a un exceso significativo de ionización. Si hay un exceso de ionización la densidad del plasma se ve repentinamente alta, para que el ánodo capte la corriente electrónica necesaria sin que haya una caída anódica positiva. Si la caída anódica se hace de repente cero, el exceso de ionización cesa.

El exceso de densidad del plasma frente al ánodo controlará el proceso de difusión de iones por difusión ambipolar. Al disminuir la densidad del plasma en la superficie que rodea la zona anódica, la caída anódica aumentará hasta que llegue a ser lo suficientemente alta para que la ionización empiece de nuevo.

Como consecuencia de estas oscilaciones de relajación la caída anódica tiene un diente de sierra variable

con el tiempo para una frecuencia del orden de 1 Kc/s. En la fig. (1-9) se representa la forma de onda de la tensión de lámpara en función del tiempo. En la fig. (1-10) se representa el diente de sierra, los picos del orden de 10V. de amplitud, son las oscilaciones anódicas.

Otro aspecto muy interesante a destacar, debido a la caída anódica, es el fenómeno que tiene lugar cuando las lámparas funcionan con tensiones de alimentación de frecuencias suficientemente altas. En la fig. (1-11) se puede ver, que a causa de las tasas elevadas de producción de iones en la zona de descarga luminiscente, la densidad del plasma en esta zona es 10 veces mayor que la de la columna positiva. Cuando la polaridad de la corriente está cambiando en cada semiciclo, esta masa de plasma no se puede disipar inmediatamente con un tiempo de una fracción de milisegundos tiempo que por otra parte es aproximadamente del orden de la constante de tiempo de la difusión ambipolar, la densidad del plasma disminuye hasta volver al nivel correspondiente a la columna positiva. Durante este tiempo, el ánodo se ve sumergido en una alta densidad de plasma y puede conducir corriente anódica desde él con caída anódica cero o negativa. Cuando la lámpara funciona con frecuencia del orden de los Kilociclos o superiores, la duración del semiciclo llega a ser menor que el tiempo de disipación de la descarga luminiscente del plasma, y la caída anódica se mantiene baja durante el semiciclo en el ánodo. Por tanto una parte importante del incremento en la luminosidad de la lámpara se debe a que a altas frecuencias la caída anódica se mantiene en valores muy bajos.

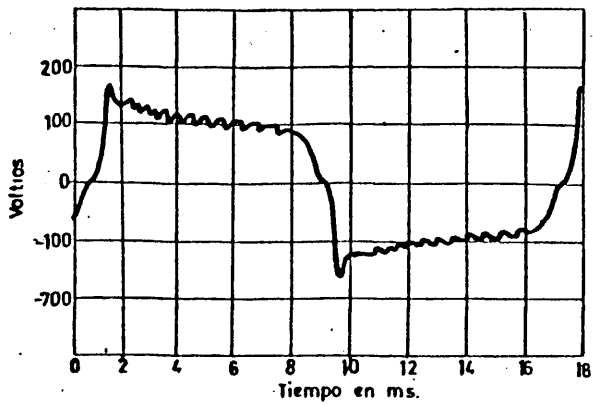


Fig.- 1-9 a) Forma de onda de la tensión de lámpara alimentada por c. a.

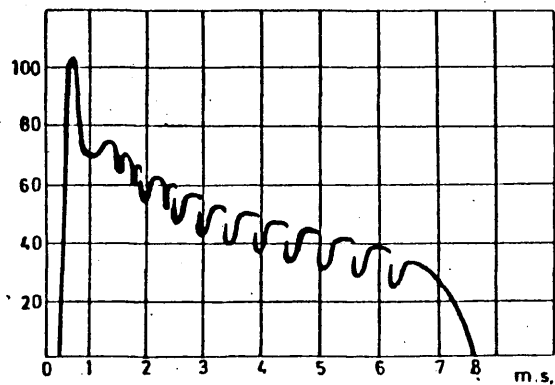


Fig.- 1-10(b)

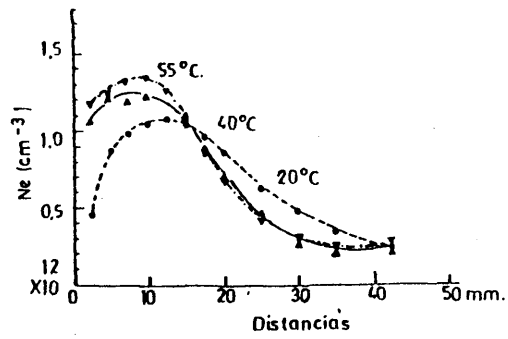


Fig.-11(a) Distribución de la densidad de electrones en la zona de luminiscencia negativa.

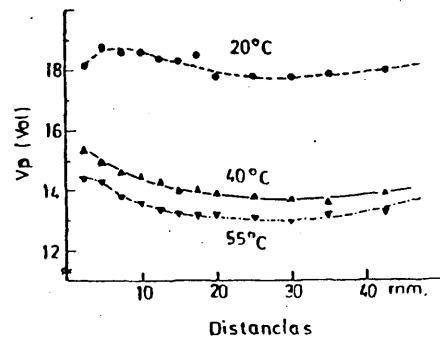


Fig.-11(b) Caída de potencia en la zona de luminiscencia negativa

C A P I T U L O I I

2. Regimen dinamico de la lámpara de descarga.-

Hasta ahora se han estudiado las propiedades de la lám para usando la corriente como un parametro que se ajustará en general mediante un balasto que será resistivo en caso de corriente continua y capacitivo o inductivo en corriente alterna; dado que un regulador resistivo es un dispositivo que proporciona un rendimiento energetico muy pequeño, ya que en la mayoría de los casos la caída de tensión en la lámpara y en el balasto resistivo son iguales, las pérdidas practicamente se igualan a la energía util, por lo que el rendimiento energetico será de un 50%, si a esto añadimos los problemas que encierra el transporte de la corriente continua, nos explicaremos el porque la mayoría de las instalaciones para lámparas fluorescentes están alimentadas con corriente alterna, consiguiendose un rendimiento tanto más elevado cuanto más elevada es la frecuencia de la fuente de alimentación.

Supongamos un circuito como el de la fig. (1-6) constituido por una lámpara en serie con un balasto resistivo alimentado el sistema por un generador de corriente alterna, tambien impondremos la condición de que la impedancia efectiva del balasto resistivo es bastante mayor que la impedancia efectiva de la lámpara y la caída de tensión de la lámpara es muy pequeña - comparada con la tensión de circuito abierto, supondremos ademas

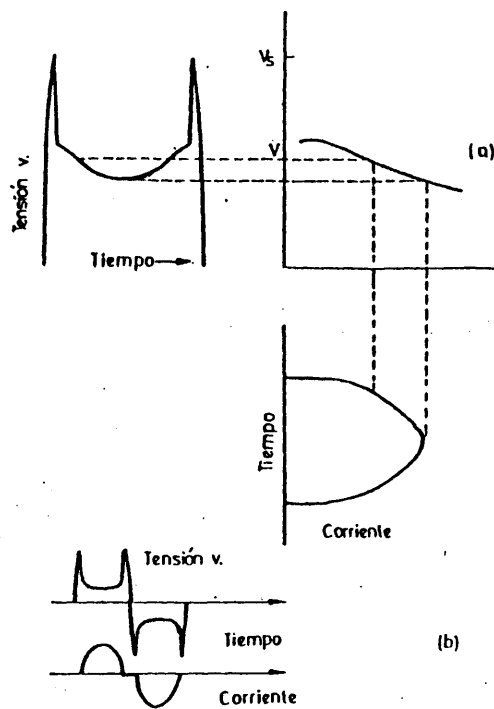


Fig.-21 Forma de onda de la tensión y de la corriente en función del tiempo para una descarga en corriente alterna a baja frecuencia

que en principio la frecuencia de alimentación está comprendida entre 5-10 Hz, bajo estas condiciones la lámpara se comportará de tal forma que su característica seguirá la característica correspondiente a la alimentación en continua. En particular y si tenemos en cuenta la fig. (1-5) la corriente instantánea y la tensión seguirán la característica tensión corriente, correspondiente a la alimentación en corriente continua, en la fig. (2-1) representamos la característica tensión corriente para el caso de alimentar con corriente alterna de baja frecuencia.

Al comienzo de cada ciclo, la corriente de lámpara será nula hasta que la tensión en circuito se hace superior a la tensión de iniciación de la descarga, una vez iniciada la descarga la corriente y tensión instantáneas seguirán la característica (i, V) con una forma de onda de corriente aproximadamente senoidal y como se ha supuesto anteriormente la caída de tensión en la lámpara es bastante más pequeña que la tensión en circuito abierto.

No obstante todo lo visto, lo cierto es que la frecuencia de alimentación para lámparas fluorescentes está comprendida entre los 50 y los 60 Hz, siendo la pulsación de la corriente para 50 Hz es del orden de 314 seg^{-1} que ya no será despreciable frente a la frecuencia de ionización J_i definiéndose esta como el número de pares ión-electrón que se producen en la descarga por seg. y con ello surgiran nuevos efectos que aún no hemos tenido en cuenta.

En una descarga donde las pérdidas por difusión están controladas, la relación entre el número de iones y electrones perdidos en su recorrido desde el eje de la columna a la pared del tubo es proporcional a la densidad de iones y electrones, en consecuencia un sistema en el que no se cumpla esta condición no se encontrara en estado estacionario y la temperatura T_e requerida para mantener la tasa de ionización por electrón igual a la tasa de pérdidas por electrón disminuirá con el aumento de la corriente, por otra parte, el campo eléctrico y en consecuencia la caída de potencial, necesaria para mantener la descarga en estado estacionario a una corriente determinada disminuye también con el aumento de la corriente. Por tanto la temperatura del electrón es un parámetro que tenemos que fijar de forma que la producción de pares de ión-electrón fuese igual a los pares perdidos para mantener homogénea y constante a la densidad de iones y electrones, todo lo cual lo expresamos por la ecuación siguiente:

$$\mu_i(T_e) = \left(\frac{2.4}{R} \right)^2 D_a \quad (2-1)$$

donde $(2.4/R)^2$ son las pérdidas de ión y electrón en la pared del tubo por difusión ambipolar.

D_a = Coeficiente de difusión ambipolar

μ_i = Frecuencia de ionización para mantener la densidad de electrones en estado estático frente a las pérdidas por difusión.

2.1. Difusión ambipolar.

Hemos visto como influye la temperatura del electrón T_e en el fenómeno de la descarga, por tanto se ha de cuidar este parámetro si deseamos obtener una eficiencia máxima en la generación de la radiación de resonancia de 2537Å en una lámpara fluorescente, a continuación vamos a estudiar cuantitativamente los factores que determinan las pérdidas por difusión y la tasa de ionización por electrón necesario para establecer un equilibrio.

La difusión de iones y electrones tiene lugar en el plasma dado que los electrones tienen una masa más ligera y mayor velocidad que los iones, la probabilidad de que los electrones se difundan en las paredes del tubo es mucho mayor que la de los iones, en consecuencia, en el plasma tendremos un exceso de iones positivos. La carga positiva resultante tiende a atraer a los electrones disminuyendo la tasa de difusión, la carga positiva debida a los iones da lugar a un campo eléctrico radial, que a su vez acelera la difusión de iones positivos en la pared del tubo. El efecto neto es que la difusión de electrones se ve retardada y la difusión de iones acelerada hasta que ambos fenómenos tienen lugar en la misma proporción, a esta cantidad se le llama tasa de difusión ambipolar.

Aplicando la ecuación de transporte para iones y electrones podemos expresar la difusión ambipolar.

$$J_i = n_i \mu_i E - D_i \frac{dn_i}{dr}$$

(2-2)

$$J_e = n_e \mu_e E - D_e \frac{dn_e}{dr} \quad (2-3)$$

donde :

J_i, J_e = Densidad de corriente de particular, iones o electrones respectivamente.

n_i, n_e = Densidad de iones o electrones respectivamente

μ_i, μ_e = Movilidad de iones o electrones respectivamente

D_i, D_e = Coeficiente de difusión de iones o electrones respectivamente.

E = Intensidad del campo electrico radial debido al exceso carga espacial.

Igualando las ecuaciones (2-2) y (2-3) eliminando E y suponiendo:

$$n_i \mu_i = n_e \mu_e \quad J_i = J_e = J$$

llegamos a la expresión:

$$\frac{1}{\mu_i} \frac{J}{n_i} + \frac{1}{\mu_e} \frac{J}{n_e} = \left(\frac{D_i}{\mu_i} + \frac{D_e}{\mu_e} \right) \frac{dn}{dr} \quad (2-4)$$

El coeficiente de difusión de una partícula cargada lo podemos expresar en función de su movilidad por la relación de

Einstein $D = \mu KT/e$ si además suponemos μ_i/μ_e en consecuencia $1/\mu_i = 1/\mu_e$ llegamos a la expresión:

$$J = - \frac{\mu_i K (T_e + T_i)}{e} \frac{dn}{dr} \quad (2-5)$$

En un plasma correspondiente a una descarga en baja presión como es el caso de una lámpara fluorescente la temperatura iónica oscila entre 300°K y 500°K mientras que $T_e = 10.000°K$ simplificando la ecuación (2-5) llegamos a la forma simplificada:

$$J = - \frac{\mu_i K T_e}{e} \frac{dn}{dr} \quad (2-6)$$

si llamamos

$$D_a = \frac{\mu_i K T_e}{e} \quad (2-7)$$

vemos que el coeficiente de difusión ambipolar se ha formado de la relación de Einstein combinando la movilidad del ión con la temperatura del electrón.

$$J = - D_a \frac{dn}{dr} \quad (2-8)$$

Utilizando la ecuación (2-8) podemos calcular la tasa de ionización por electrón para equilibrar las pérdidas de par

ticulas cargadas, empleando la ecuación de continuidad para la corriente de iones y electrones.

Suponiendo que no hay recombinación en el volumen de la descarga, la corriente de partículas a través de una superficie cilíndrica $r + dr$ es igual a la corriente a través de la superficie en r más las partículas producidas en dr .

$$2\pi(r + dr) J_r + dr = 2\pi r J_r + (2\pi r dr) n U_i \quad (2-9)$$

donde U_i es la frecuencia de generación de nuevos pares por electrón y por segundo y n es la densidad de electrones, así sustituyendo valores tendremos:

$$\left| - (r + dr) D_a \frac{dn}{dr} \right|_{r+dr} + \left| r D_a \frac{dn}{dr} \right|_r = r dr n U_i \quad (2-10)$$

$$\left| -r D_a \frac{dn}{dr} \right|_{r+dr} - \left| \frac{dn}{dr} \right|_r - \left| -dr D_a \frac{dn}{dr} \right|_{r+dr} - r dr n U_i = 0 \quad (2-11)$$

dividiendo por dr y tomando el límite para $dr \rightarrow 0$ llegamos a la expresión:

$$-\frac{d^2 n}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dn}{dr} + \frac{n U_i}{D_a} = 0 \quad (2-12)$$

si hacemos la sustitución $x = r \sqrt{\frac{\nu_i}{D_a}}$ en la ecuación (2-12) tenemos una ecuación de Bessel, que tiene un máximo en $X = 0$ y un valor cero para $X = 2.4$, evidentemente la densidad electrónica no puede ser cero en ningún punto dentro del tubo y si debe ser cero fuera del tubo, por otra parte nosotros podemos decir que $X = 2.4$ cuando $r = R$, siendo R el radio del tubo, dada la definición de X esto puede ocurrir solamente si

$$\nu_i = \left(\frac{2.4}{R}\right)^2 D_a = \left(\frac{2.4}{R}\right)^2 \mu_i \cdot \frac{KT}{e} \quad (2-13)$$

según la ecuación (2-13) una vez fijado el radio del tubo R y la movilidad de los iones μ_i , la frecuencia de ionización ν_i queda determinada y es a su vez función de la temperatura del electrón.

La movilidad de los iones en una lámpara fluorescente está determinada fundamentalmente por la naturaleza y presión del gas raro que rellena el tubo toda vez que la colisión con los átomos del gas raro impiden en primer lugar el movimiento de los iones de mercurio. En consecuencia los parámetros más efectivos a la hora de diseñar una lámpara son: el gas de relleno, la presión del gas y el diametro del tubo.

2.2. Estudio de la frecuencia de ionización ν_i en función de la temperatura del electrón y del tiempo.

En el caso de una descarga producida en un tubo ali-

mentado con corriente alterna, la densidad electronica no es constante sino que cambia continuamente con el tiempo, por otra parte en la ecuación (2-13) hemos de incluir otro término que tenga en cuenta que la frecuencia de ionización será más alta en el principio del ciclo cuando la corriente empieza a crecer y por tanto la densidad de electrones, que al final del ciclo, cuando la corriente disminuye, el termino correcto a añadir es $(1/n_e) (dn_e/dt)$, que expresa la tasa de variación de la densidad de electrones por unidad de tiempo, con lo que la ecuación (2-13) quedaría de la forma:

$$\frac{d}{dt} (T_e \cdot t) = \left(\frac{2.4}{R} \right)^2 D_a + \frac{1}{n_e} \frac{dn_e}{dt} \quad (2-14)$$

El comportamiento de esta ecuación con respecto al ángulo de fase es difícil de poner de manifiesto. A bajas frecuencias podemos hacer una aproximación razonable que consiste en admitir que, excepto para corrientes próximas a cero

$$\frac{1}{n_e} \frac{dn_e}{dt} = \frac{1}{i} \frac{di}{dt} \quad (2-15)$$

sustituyendo la ecuación (2-15) en la ecuación (2-14) obtendremos la expresión:

$$\frac{d}{dt} (T_e \cdot t) = \left(\frac{2.4}{R} \right)^2 D_a + \frac{1}{i} \frac{di}{dt} \quad (2-16)$$

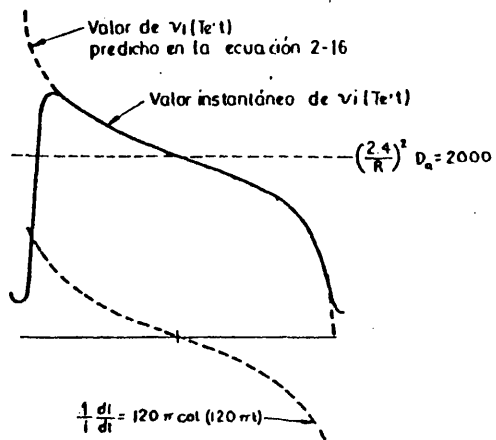


Fig.- 2-2 Variación de v_i durante un semi-ciclo

teniendo en cuenta que para corrientes proximas a cero en cada semiciclo presenta grandes errores, puesto que la densidad electronica nunca llegará a valer cero, por tanto la ecuación (2-14) no tendrá valor infinito para corrientes cero o proximas a cero.

Haciendo uso de la ecuación simplificada (2-16) vamos a poner de manifiesto el comportamiento de la frecuencia de ionización durante un semiciclo. En la fig. (2.2) se representa la variación de la frecuencia de ionización $\nu_i(T_e, t)$. Un valor tipico de $(2.4/R)^2 D_a$ es 2000 S^{-1} correspondiente a las perdidas por difusión ambipolar en una lámpara fluorescente. El valor de $(1/i) (di/dt)$ a 50 Hz viene dado por la expresión $100 \cotg. (100 \gamma t)$.

En la grafica de la fig. (2.2) se ve que en el centro del semiciclo a los 90° la expresión $(1/i) (di/dt)$ introduce correcciones importantes para obtener el valor requerido de la frecuencia de ionización y dentro de los 30° de los ceros de corriente, el factor de corrección se aproxima a dos.

Por consiguiente, la temperatura del electrón debe variar durante el semiciclo siendo más alta al principio y más baja al final, esto a su vez influye en la variación del campo electrico axial y en la caída de potencial requerida en la descarga para mantener la temperatura del electron, por tanto es razonable que la ecuación (1-14) que representa la intensidad del campo electrico axial en función de la temperatura debe incluir un factor de corrección al introducir la variación con el tiempo t ., de hecho esta corrección existe solo que para lámpa

ras funcionando entre 50 y 60 Hz, es despreciable puesto que las pérdidas, en condiciones estáticas, de energía electrónica es mucho mayor que las pérdidas de electrones e iones. Una posible interpretación de la ecuación (2-16) sería que si en un momento determinado la producción de iones y electrones se interrumpiera subitamente, la densidad de electrones decaería con una constante de tiempo igual a la recíproca de la frecuencia de ionización en condiciones estáticas, que sería del orden de 0,5 ms. por el contrario si la energía suministrada a los electrones del gas se cortara de repente, la energía de los electrones decaería mucho más rápidamente, con una constante de tiempo que vendría determinada esencialmente por el tiempo de vida correspondiente a la radiación del átomo excitado, la razón de todo esto es que el conjunto total de energía almacenada en forma de átomos excitados en la descarga supera bastante a la energía cinética total de los electrones en el gas, y esta energía está ligada a los electrones del gas mediante colisiones de segundo tipo. Tanto es así que si la temperatura del electrón disminuye la energía será devuelta desde los átomos excitados y se evita la caída de la temperatura del electrón y por tanto que se precipite a cero.

No obstante, los átomos excitados se ven acoplados al medio exterior que rodea al tubo a través de las pérdidas por radiación, y en el supuesto de un repentino cambio del campo eléctrico aplicado, la densidad de átomos excitados disminuirá con una constante de tiempo determinada por el tiempo de vida de la radiación procedente del átomo excitado.

A causa del fuerte acoplo de los electrones del gas a los atomos excitados y al predominio de la energía total almacenada en los atomos excitados, un cambio de temperatura en el electrón producida por un cambio en el campo electrico axial del tipo función \sin , tiene lugar con una constante de tiempo aproximadamente igual al tiempo de vida de la radiación.

En el caso de una lámpara fluorescente de mercurio y argón, el tiempo de vida importante es el tiempo de duración de la radiación de resonancia, del orden de varios microsegundos. Entonces tan pronto como la variación de U_i requerida en un semiciclo para satisfacer la ecuación (2-16) se mantenga dentro de unos milisegundos, será muy pequeña en comparación con la frecuencia de perdidas por radiación que es de un orden de magnitud de 10^5 por segundo. El campo electrico instantaneo y la temperatura del electrón tambien se pueden relacionar, haciendo uso de la ecuación (1-14) utilizada para condiciones estaticas.

En la fig. (2.1) se puede observar como la intensidad del campo electrico axial y por otra parte la caída de potencial en la lámpara deben estar por encima del valor de su característica estatica al iniciarse el semiciclo y caer por debajo al final del semiciclo. Por otra parte, como hemos visto anteriormente la densidad electronica no puede caer con una constante de tiempo que se aleje mucho de 0,5 ms. aún en el caso de una frecuencia de 60 Hz es comparable a este valor, la densidad electronica nunca llegará a ser cero.

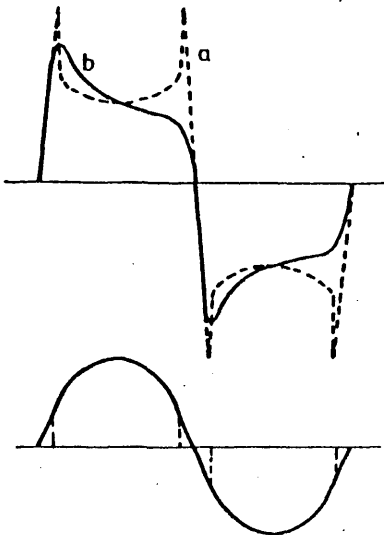


Fig- 2-3 Variación de la tensión y la corriente de lámpara en un ciclo.

a) Curva teórica en condiciones estáticas

b) Curva incluyendo el efecto representado por $\frac{1}{n_e} \frac{dn_e}{dt}$

Teniendo en cuenta que la tensión de encendido de una lámpara de descarga depende del número de electrones libres disponibles para iniciar el proceso de ionización, es lógico que esta tensión sea tanto más baja cuanto mayor sea la densidad de electrones libres y en consecuencia, una vez iniciada la descarga, la tensión de mantenimiento ha de ser menor que la de encendido inicial, además y a causa de la existencia de electrones libres en el plasma, hay un flujo de corriente en todo momento, la inclusión de ambos efectos en la forma de onda de la fig. (2.1) se pueden observar en la fig. (2.3). Donde también podemos observar que tanto la forma de onda de la tensión y la de corriente no son senoidales y en general, el producto de los valores eficaces de la corriente y la tensión de lámpara no serán iguales al valor eficaz del producto de la corriente y tensión instantáneas. En resumen, que los voltios X amperios en la lámpara son mayor que los vatios medidos en la lámpara y la descarga presenta por tanto un factor de potencia efectivo, y si tenemos en cuenta la asimetría de la forma de onda de la tensión, llegamos a la conclusión de que la tensión adelanta a la corriente, en este dispositivo y con relación a los valores eficaces, la lámpara presenta un factor de potencia inductivo del orden de 0,9. Como hemos podido comprobar la variación de la temperatura del electrón con el tiempo, tiene una especial significación ya que tanto en la ecuación de equilibrio de energía como en la eficiencia en la generación de radiación de resonancia, el valor óptimo de la temperatura del electrón tiene una gran influencia y como acabamos de ver la temperatura del electrón varía en cada semiciclo e incluso puede ajustarse a un valor medio óptimo.

2.3. Comportamiento de la descarga a altas frecuencias.

Para frecuencias de la tensión de alimentación superiores a los 50 Hz las características de la descarga empiezan a cambiar, haciéndose sensibles a estos cambios para frecuencias del orden de los Kilociclos, así si volvemos a la ecuación (2-14) ya no es posible seguir manteniendo que $(1/n_e) \cdot (dn_e/dt) \approx (1/i) \cdot (di/dt)$ puesto que a las frecuencias que hablamos $(1/i) \cdot (di/dt)$ llega a ser tan grande en magnitud que si además se hace negativa puede llegar a superar el valor de $(2.4/R)^2 - D_a$. Esto a su vez implicaría una frecuencia de ionización, ecuación (2-16) negativa, hecho que físicamente no tiene sentido. La razón de esta situación físicamente sin sentido real, es que el valor del tiempo de caída de la densidad electrónica $1/(2.4/R)^2 D_a$ ha llegado a un valor igual a varias veces el periodo de la frecuencia de la tensión de alimentación. La densidad electrónica no cambia de un modo sensible en un semi-periodo y si en cambio, se aproxima a un valor constante. La condición impuesta a la temperatura del electrón cambia en tal sentido que la producción media de pares de ion-electrón en un semiciclo, se iguala a las pérdidas medias totales durante el semiciclo, debido a que la densidad de electrones se mantiene aproximadamente constante durante el ciclo completo, la descarga se comporta en cada instante como un conductor ohmico, y tanto la corriente como la diferencia de potencial llegan a presentar una forma de aproximadamente senoidal y muy próximas en fase.

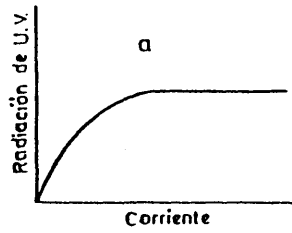


Fig.- 2-4(a) Característica corriente de lámpara producción de radiación U.V.

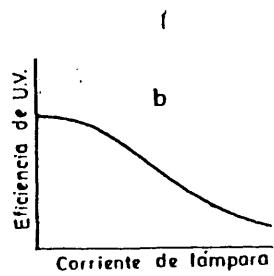


Fig.- 2-4b Característica corriente de lámpara eficiencia en la generación de radiación U.V. de 253.7 nm.

En efecto, la descarga se comporta como una descarga en corriente continua en el sentido de que las ecuaciones (1-14) y (2-14), son aplicables, siempre que tomemos valores eficaces para los parametros más importantes. En la fig. (2-4 a y b) podemos observar la influencia de la densidad electronica, en el mecanismo de disminución de la eficiencia en función de la corriente habiendo admitido además que la densidad electronica es proporcional a la corriente.

Como hemos visto a frecuencias del orden de los Kilociclos la densidad electronica, se aproxima a una constante y ya no será proporcional a los valores instantaneos de la corriente, sino a los valores eficaces de la misma, para este caso de frecuencias del orden de los Kilociclos la interpretación de la fig. (2.4) es similar al caso de alimentar con corriente continua y no cometemos errores al utilizar valores eficaces - aún a sabiendas que los valores de pico de la corriente de lámpara son mayores que los valores eficaces. Todo esto significa que parte de las perdidas de eficiencia que previamente habíamos adscrito al funcionamiento con corriente alterna no tienen lugar y la eficiencia de la descarga se aproxima mucho más al caso de la corriente continua. (12), (22).

2.4. Bases para modelos.

Hasta ahora el ingeniero de diseño, para el desarrollo de sistemas, encendido y regulación, consideraba a la lámpara de descarga como un generador de tensión de onda cuadra-

da. Un conocimiento más profundo de los problemas que se plantea en el circuito de alimentación del tubo y en el propio tubo, así como una mayor disponibilidad de medios y componentes nos induce a la búsqueda de modelos matemáticos de las lámparas de descarga, a fin de que la lámpara pueda ser contemplada dentro del circuito como un componente más del que se pueda conocer con antelación cual va a ser su comportamiento dentro del conjunto. El circuito final, podrá ser muy complicado y con efectos no lineales, pero su estudio completo se puede abordar con la ayuda de un computador adecuado.

(33)V.J. Francis en 1.948, dio las bases para un modelo sencillo de lámpara de descarga. Para el desarrollo de su teoría, utilizó por primera vez variables macroscópicas relacionadas con los fenómenos que tienen lugar dentro de la columna positiva, tales como:

- a) Densidad media de electrones N dentro de la columna positiva.
- b) Diferencia de potencial V entre los electrodos de la lámpara.
- c) Intensidad i de la corriente que circula a través de la columna positiva.

Junto a las variables N , V , i enunciaremos los siguientes postulados:

- I) La producción, por unidad de tiempo de electrones libres dentro de la zona de descarga es proporcional a la poten-

cia instantanea suministrada a la lámpara.

II) En condiciones normales de funcionamiento la perdida de electrones libres dentro de la zona de descarga es proporcional a la densidad de electrones.

III) La conductancia equivalente, instantanea de la lámpara es proporcional a la densidad de electrones libres.

De los postulados I) y II) deducimos la ecuación diferencial

$$\frac{dN}{dt} = \alpha i N - \beta N \quad (2-17)$$

donde α y β son constantes que dependerán de la lámpara, del postulado III), se llega a la ecuación:

$$\frac{i}{V} = \frac{N}{F} \quad (2-18)$$

donde F es una constante que tambien depende de la lámpara.

Una mejora en el modelo se puede obtener, si admitimos que la producción de electrones libres dentro de la columna positiva, es proporcional, no a la potencia instantanea de la lámpara, sino a la corriente que circula a través de la lámpara y a una función $f(v)$ de la tensión entre los electrodos de la lámpara.

Si tenemos en cuenta las perdidas de electrones debidas al fenomeno de recombinación en la ecuación (2-17), incluiremos un ter

mino adicional que nos permite llegar a una expresión que se aproxima mucho más a la realidad, por tanto más completa.

Un parametro que nos va a ser muy util a la hora de diseño de un modelo matemático que contemple el comportamiento dinámico de la lámpara, es la conductancia G definida como la relación entre la corriente instantánea de lámpara y la tensión instantánea. Las experiencias realizadas en el laboratorio nos han permitido estudiar y comprobar el comportamiento de un tubo en función de la conductancia, siempre que el sistema de regulación y alimentación no introduzca grandes deformaciones en la forma de onda de tensión y de corriente, por la presencia de armónicos impares de valores muy elevados en relación con el valor del fundamental.

C A P I T U L O I I I

3.1. Rendimiento y eficiencia en la radiación de ultravioleta en una lámpara fluorescente.

Dada una lámpara fluorescente y por tanto fijados el - diámetro del tubo y la presión para una temperatura ambiente, un - incremento de la corriente a través del tubo da lugar a un incremen - to en la producción de radiación ultravioleta, hasta llegar a un - nivel de saturación, por encima del cual por mucho que aumente la corriente ya no se produce aumento alguno en la generación de ra - diación ultravioleta, ver fig. (2-4 a-b). Las pérdidas por disper - sión elástica y la excitación de radiaciones ultravioletas no uti - lizables continúan aumentando y en consecuencia la eficiencia en la generación de radiación ultravioleta decrece de un modo drástico - con el incremento de la corriente. La razón de este fenómeno des - cansa en el hecho de que al proceso de excitación de átomos, desde estados de bajo nivel energéticos a los de alto nivel por efecto de la colisión con electrones con energía suficiente para ello, que pierden energía cinética en la misma cantidad que ceden energía al átomo, también se le suma el proceso inverso, esto es, un electrón lento al colisionar con un átomo excitado, puede extraer la ener - gía de excitación en forma de energía cinética, dejando al átomo en un estado energético más bajo, tal tipo de colisiones reciben el nombre de colisiones de segundo tipo.

En un sistema en equilibrio termodinámico completo, en el que ninguna radiación sale o entra en el sistema y además todos

los componentes del sistema están a la misma temperatura, la tasa de producción de colisiones de segundo tipo debe ser igual a la tasa de colisiones de excitación para cada estado, tal que el número de átomos en cada estado permanezca constante. En equilibrio termodinámico, la relación entre los átomos en el estado $i=(r,s,o)$ representados por n_i y las que se encuentran en el estado fundamental n_o viene dada por el factor de Boltzmann (60).

$$\frac{n_i}{n_o} = \frac{g_i}{g_o} e^{-eE_i/KT}$$

donde g_i y g_o representan la multiplicidad de estados que en el caso del mercurio toman los siguientes valores:

$g_r = 3$ para el estado de radiación $3P_1$

$g_1 = 5$ Para el estado estacionario $3P_2$

$g_o = 0$ Para el estado fundamental S_o

siendo

e = carga del electrón

E_i = Potencial en el estado i

K = constante Boltzmann

T = Temperatura del electrón

En una lámpara de descarga hay radiaciones que abandonan el sistema, por tanto, el equilibrio termodinámico no puede existir. Sin embargo como la densidad electrónica generada en el

plasma es suficientemente alta, la tasa de colisiones de excitación y captación llegan a ser mucho más grandes que la tasa de radiaciones de transición. Esto, especialmente cierto, en el caso de transiciones de resonancia para las que el efecto de aprisionamiento incrementa grandemente el tiempo de vida efectivo de los estados de excitación. Cuando la densidad de electrones es lo suficientemente alta para que la radiación de transición llegue a ser una perturbación relativamente pequeña de la transición total dentro y fuera del estado, la densidad de átomos en ese estado vendrá dada en primera aproximación por la ecuación 1-12. Bajo estas condiciones el estado en cuestión se describe como si estuviese en equilibrio térmico local E.T.L.

El efecto de la producción de radiación ultravioleta es tan importante y depende hasta tal punto de la temperatura de equilibrio térmico local E.T.L., que en el caso de una lámpara - standard de 40 w., introducida en un baño de agua para mantener constante su temperatura, se consigue un nivel de saturación de la iluminación de salida, por incremento de la corriente de lámpara que llega a ser de 2,5 veces superior a la luminosidad de la lámpara funcionando a la corriente nominal, de hecho hemos de hacer notar que con todos los parámetros fijos la temperatura efectiva del electrón decrece a medida que la corriente de descarga aumenta, también surge en la descarga de baja presión de mercurio y gases - raros, otro proceso muy importante que es el fenómeno de ionización en dos etapas. Por otra parte, al plantear la ecuación de equilibrio de energía en el plasma de una descarga, hemos de tener en cuenta que en estado estático la temperatura efectiva del electrón

ha de tener el valor requerido para que los nuevos iones y electrones se generen a la misma velocidad que se pierden, circunstancia que en resumen define la intensidad del campo eléctrico axial y la caída de potencial en la descarga.

En cuanto al fenómeno de ionización, en primera aproximación podemos decir que la tasa de producción de iones por electrón es solo función de la temperatura efectiva del electrón y de la densidad de átomos de mercurio en condición de ser ionizados, pero esto no es del todo correcto, ya que hay diferentes procesos por los que puede tener lugar la ionización de un átomo, - así un electrón que posea una energía superior a 10,4 eV. puede colisionar con un átomo de mercurio en estado fundamental ionizándolo, o sea electrón con una energía cinética superior a la diferencia entre el potencial de ionización y el potencial de excitación puede ionizar un átomo en un estado excitado dado, así un electrón con una energía superior a 4,8 eV, puede ionizar a un átomo de mercurio en el estado 6^3P_2 .

Mientras que también es cierto, que en tanto que una fracción muy pequeña de átomos de mercurio están en estados excitados bajo las condiciones típicas de la descarga, hay por el contrario una gran cantidad de electrones en el plasma de la descarga que tienen energía cinética suficiente para ionizar átomos excitados.

La densidad de átomos excitados en la descarga aumenta con el incremento de la densidad de electrones y de la corriente, la proporción entre la ionización y el valor medio de electro

nes, para una temperatura dada, también debe aumentar con la corriente, por ejemplo, supongamos que para una corriente I , el 99% de los átomos de mercurio están en estado fundamental y a una temperatura T_e , contribuyendo a una proporción de ionización de R - nuevos pares ión-electrón por seg. por átomo y por electrón. Supongamos además que el 1% de los átomos de mercurio en estados excitados tienen una proporción de ionización por átomo por electrón de $100 R$, la contribución total a la ionización por electrón será:

$$R_1 = 0,98R + 0,01(100R) = 1,99R$$

Supongamos ahora que la corriente ha sido ajustada a un valor $I_2 = 3I_1$ y que el 2% de los átomos de mercurio están en estados excitados, el 98% en estado fundamental, como la proporción de ionización entre átomos en estado fundamental y átomos excitados por átomo y por electrón es inalterable tendremos:

$$R_2 = 0,98R + 0,02 (100R) = 2,98R$$

lo que significa un incremento próximo al 50% en la proporción de ionización por electrón.

En una descarga de difusión controlada, la razón de - pérdidas de iones y electrones desde el plasma a la pared es proporcional a la primera potencia de la densidad de electrones e - iones, en conclusión, la tasa de pérdidas por electrón es una constante independiente de la densidad del electrón y aún de la corriente. Consecuentemente, un sistema en el que la tasa de pérdidas por electrón no se altera con la corriente, pero la tasa de ionización por electrón aumenta con la corriente, no puede estar en estado -

estacionario. En consecuencia la temperatura electronica requerida para mantener la tasa de ionización por electrón igual a la tasa de perdidas por electrón decrece con el aumento de la corriente. Teniendo en cuenta todo lo dicho anteriormente, el campo electrico axial, y por tanto la caída de potencial en la descarga requerida para mantenerla en condiciones estaticas, para una corriente dada, decrece a medida que la corriente aumenta.

3.2. Eficiencia de una lámpara fluorescente.

Puesto que las perdidas en los cátodos se mantienen practicamente constantes, la eficiencia de la lámpara dependerá fundamentalmente de la columna positiva. Realmente no se puede decir que la columna positiva sea un sistema que esté en equilibrio estacionario por otra parte hemos supuesto una distribución energetica de los electrones de tipo Maxwelliano, cumpliendose la condición de que para una temperatura T_e del orden de $10^4 K$ la temperatura del gas es del orden de $315K$. Si la carga espacial dentro de la columna es cero se ha de cumplir que la densidad de electrones ha de ser igual a la de iones, no obstante la corriente de lámpara se debe fundamentalmente a los electrones así si $n_e = \frac{n_e \text{ electrones}}{\text{cm}^3}$ se mueven en dirección al ánodo con una velocidad $v_e \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$ los electrones que han de pasar en un segundo a través de un elemento de superficie de 1 cm^2 normal a la dirección de v_e serán $v_e \cdot n_e$ electrones con una carga total $v_e n_e e$, siendo la densidad de corriente de electrones:

$$j_e = v_e n_e e$$

Haciendo la misma consideración para los iones tendremos que la densidad de corriente de iones vendrá dada por: $j_i = v_i n_i e$, la corriente total en el tubo sera : $J = j_e + j_i$ si hemos admitido que $n_i = n_e$ tendremos que:

$$j = (v_e + v_i) n_e e$$

si bien al ser $v_e \gg v_i$ tambien tendremos que $j \simeq v_e n_e e$.

En la pared del tubo aparece el fenomeno de "difusión ambipolar" apareciendo el fenomeno de recombinación.

Un incremento de las perdidas por ionización debe de ir acompañado de un incremento en la producción de iones y electrones. Por tanto se hace preciso aumentar tanto T_e como la intensidad de campo electrico E y si tenemos en cuenta que las perdidas por ionización son pequeñas, este puede ser un procedimiento de aumentar la producción de radiación.

En el caso que nos ocupa correspondiente a una columna homogénea a baja presión (entre 1 y 10 mm de Hg) caracterizada (37) por $\lambda_e < R$. Siendo λ_e el recorrido libre medio de los electrones y R el radio del tubo. Tendremos que debido a las perdidas continuas de electrones en la pared del tubo la densidad n de estos en la pared será menor que en el eje, siendo a lo largo del mismo máximo n_0 .

La caída radical de electrones desde el eje a la pared del tubo se presenta, por tanto, como un caso típico de difusión determinada por el coeficiente de difusión de electrones D_e . El

mismo fenómeno ocurre con los iones pero en este caso el coeficiente de iones será D_i . Shottky ha demostrado que el movimiento de electrones, como un efecto de difusión ambipolar D_a derivado de los coeficientes D_e y D_i .

Como se ha visto en otro capítulo de esta memoria la densidad de producción de radiación U-V, fig. (2-4a) y (2-4b) llega a un estado de saturación por encima del cual la producción de radiación U-V no aumenta por mucho que se aumente la corriente de lámpara. obviamente la lámpara ha de funcionar en torno a la saturación si se desea un rendimiento óptimo. En la tabla (3-1) se puede observar como se comporta una lámpara de 40 vatios.

TABLA 3-1- Lámpara fluorescente de 40 vatios.

| | A | B |
|---------------------------------|-------|-------|
| Espacio entre electrodos | 120 | 55 |
| Corriente de lámpara | 0,43 | 0,95 |
| Flujo luminoso l/m | 3.150 | 2.200 |
| Eficiencia de lámpara lm/W | 78,75 | 55 |
| Perdidas en el balasto W | 8 | 20 |
| Eficiencia despues de 100h lm/W | 68 | 36 |

En la columna A tenemos los parametros correspondientes a una lámpara, en la columna B aparecen los parametros de una lámpara de igual potencia en la que se ha duplicado la densidad de potencia por unidad de longitud, reduciendo la longitud del tubo y manteniendo constante la potencia de la lámpara, se observa como el flujo luminoso por unidad de volumen aumenta en un factor 1.52,

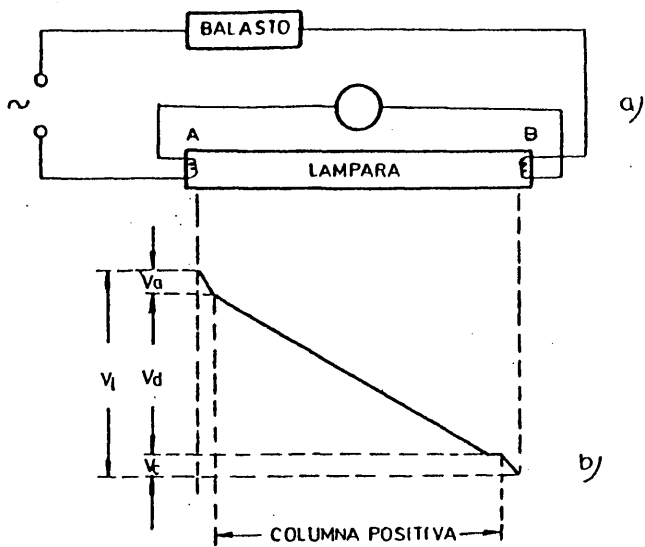
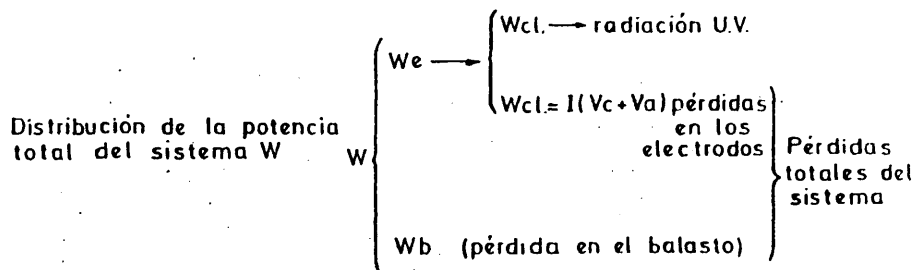


Fig- 3-1 =

- a) Representación esquemática de una lámpara fluorescente en serie con un balasto inductivo
- b) Distribución de caída de potencial en dirección axial dentro del tubo de descarga suponiendo que el electrodo B actúa como cátodo



en tanto que la eficiencia de la $n_0 = \emptyset W$ lámpara después de 100 horas de funcionamiento se ha visto reducida a un factor 1.89, esta disminución de la eficiencia ha sido debida fundamentalmente a causa de un aumento de las pérdidas en los electrodos y a la sobre saturación del nivel de ultravioleta en la columna. Con el fin de aumentar la eficiencia de la lámpara cosa que se consigue aumentando el campo eléctrico E y la temperatura T_e , se puede emplear neón en sustitución del argón, ya que el coeficiente de difusión ambipolar se aumenta en un factor tres. Con ello se llega a conseguir un aumento en la eficiencia del orden del 25% y un incremento de T_e del orden del 20% dando lugar a un aumento de las pérdidas en los electrodos próximas al factor cuatro.

Con lámparas de alta potencia, del orden de los - 215 vatios y para longitudes de 240 cm. los valores medidos - han representado un aumento en la eficiencia del 10%. Para la obtención de los datos de la tabla (3-1) se ha empleado un esquema como el de la fig. (3-1) utilizando un balasto inductivo y una lámpara de 40 vatios del tipo T12 que utiliza como gas de relleno argón y neón, la tensión de alimentación ha sido de 220 voltios 50 Hz.

3.3. Eficiencia de la pared de una lámpara.

Como sabemos la finalidad de una lámpara fluorescente es proporcionar luz visible, después de transformar la radiación ultravioleta de longitud de onda 2537Å mediante el fosforo que recubre las paredes del tubo, radiación visible que ha de -

atravesar las paredes del tubo, ello nos lleva a precisar que hay dos caminos para aumentar la eficiencia de la columna positiva, uno aumentar hasta el óptimo la obtención de radiación ultravioleta, que se suele alcanzar para una presión de vapor de mercurio del orden de 5×10^{-3} mm Hg, y otro eliminar al máximo las pérdidas en la pared del tubo, así la potencia total consumida en la columna positiva W_{col} se distribuye de la siguiente forma :

| | | |
|-----------|---|--|
| W_{col} | { | 65% se transforma en radiación ultravioleta de 2537 A ^o |
| | | 28% se emplea en calentar los gases nobles de relleno y en pérdidas elásticas. |
| | | 1% son pérdidas por ionización. |
| | | 6% otro tipo de radiaciones. |

No obstante al ser las pérdidas por ionización muy pequeñas es lógico que a la hora de optimizar se tenga en cuenta todas las posibilidades que existen. Como una de las condiciones que se cumplen en la columna positiva es que la energía perdida en la pared del tubo es igual a la ganada por la pared por efecto de la ionización, al actuar en este sentido mejorara el rendimiento de la lámpara, ahora bien el efecto de la pared del tubo no es solamente este sino que en la cara interior del tubo también habrá un fenómeno de reflexión de las radiaciones que han de influir en el rendimiento de la lámpara.

3.4. Factores que afectan a la vida de los cátodos.

La esperanza de vida de una lámpara fluorescente viene determinada esencialmente por la vida de sus cátodos que como hemos visto están cubiertos de una capa de material emisor. Cuando por efecto de un calentamiento excesivo de los cátodos se produce un desprendimiento grande de material emisor, el encendido cada vez se hará más difícil, al mismo tiempo que disminuye el flujo luminoso del tubo, debido a la contaminación de la atmósfera interior del mismo a causa del ennegrecimiento de las paredes debido a las partículas de óxido que se volatiliza dentro de la columna positiva.

Las pérdidas de material emisor en los cátodos se deben básicamente a tres procesos que tienen lugar en la superficie del cátodo. (15,16,17)

- a) Reacción entre el material que recubre el cátodo y los gases que de alguna forma contaminan la atmósfera dentro de la cual tiene lugar la descarga.
- b) Extracción de material de recubrimiento del cátodo por bombardeo de partículas, fundamentalmente iones.
- c) Por evaporación del material de recubrimiento del cátodo.

Las pérdidas debidas a las causas expuestas en el apartado a) son poco importantes ya que el proceso de fabricación de la lámpara suele estar muy perfeccionado, a fin de evitar este tipo de contaminación. Por otra parte las reacciones de este tipo suelen ser más bien debidas al fósforo que recubre

las paredes del tubo, donde la superficie del mismo es muchísimo mayor que la de los cátodos, no obstante el nivel de pérdidas es despreciable. En condiciones normales de operación y en funcionamiento continuo las pérdidas debidas al apartado b) son despreciables, no ocurre así cuando el tubo está sometido a un ciclo de trabajo de encendido y apagado muy rápido, ya que en este caso las pérdidas por bombardeo de iones son muy grandes, dando lugar a un envejecimiento rápido de la lámpara.

Mediante la curva característica caída de tensión catódica en función del tiempo es posible establecer un límite al material arrancado del cátodo por efecto del bombardeo de iones toda vez que estos están bombardeando el cátodo a la energía correspondiente a la caída de tensión en el cátodo. En la fig.(3-2) se representa la curva característica correspondiente a una lámpara funcionando con corriente alterna, donde se puede observar que la caída de tensión a lo largo de un semiciclo es inferior a los 17 voltios, no se pone de manifiesto una caída de tensión grande al principio del semiciclo. En condiciones normales de funcionamiento, la corriente de iones en el cátodo para una lámpara fluorescente normal es del orden de 100 mA/cm^2 . Con el fin de conocer en qué proporción se arranca material de la superficie del cátodo por el fenómeno de sputtering, hagamos el siguiente cálculo: En el supuesto de que sea 10^6 el número de iones que han de chocar contra la superficie del cátodo para arrancar un átomo tendremos:

$$\frac{\text{átomos arrancados}}{\text{cm}^2 \cdot \text{seg}} = 10^6 \frac{\text{átomo}}{\text{ion}} \cdot \frac{1000 \cdot 10^{-3} \text{ Amp/cm}^2}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C/ion}} =$$

$$= 60 \cdot 10^{11} \frac{\text{átomos}}{\text{cm}^2 \text{ seg.}} \quad (3-1)$$

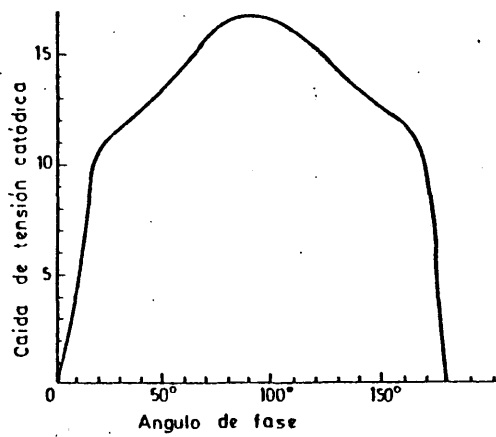


Fig.-3-2 Caída de tensión catódica correspondiente a una lámpara fluorescente alimentada con corriente alterna

si el peso molecular medio del BaO, material más frecuente que se emplea como recubrimiento de la superficie del cátodo, es del orden de 75, tendremos que la cantidad de material perdido en $\text{gr/cm}^2 \text{seg.}$ será:

$$\begin{aligned} \frac{\text{gr}}{\text{cm}^2 \text{seg}} &= 60 \cdot 10^{11} \frac{\text{atomos}}{\text{cm}^2 \text{seg.}} \cdot 75 \frac{\text{u.m.a}}{\text{atom}} \cdot 1,67 \cdot 10^{-24} \text{ gr/uma} = \\ &= 7,5 \cdot 10^{-10} \text{ gr/cm}^2 \text{seg.} \end{aligned} \quad (3-2)$$

Las pérdidas por evaporación en el cátodo determinadas por Rutledge y Rittner vienen dadas por la presión de vapor del BaO y expresadas por la siguiente ecuación:

$$\log_{10} P = - \frac{19.700}{T} + 8,87 \quad (3-3)$$

donde:

P = a la presión de vapor en mm Hg

T = a la temperatura

Si suponemos que la temperatura en el cátodo es de $T_1 = 1160 \text{ K}^\circ$ y sustituimos en la ecuación, tendremos un valor de $P_1 = 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ mm Hg}$ para $T_2 = 1260 \text{ K}^\circ$ el valor de $P_2 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ mm Hg}$.

Para el caso más desfavorable en el que la presión de vapor de BaO sea P_2 tenemos que la velocidad de evaporación de material emisor es del orden de: $1,76 \cdot 10^{-8} \text{ gr/cm}^2 \text{seg.}$ que

comparado con la velocidad de perdida de material emisivo por bombardeo es del orden de 23 veces mayor.

3.5. Causas relacionadas con los catodos que influyen o determinan la vida media de una lámpara fluorescente.

Hemos podido observar anteriormente como tiene lugar el desprendimiento de material emisivo, de la superficie del cátodo este fenomeno no se ve afectado fundamentalmente por el tipo de encendido que se emplee para cebar el arco hasta conseguir que se produzca la descarga dentro del espacio de la columna positiva, las lámparas fluorescentes del tipo de encendido por precalentamiento necesitan un tiempo minimo con los catodos activados antes de que se aplique la tensión de encendido, este periodo de tiempo oscila entre 0,5 seg. y 1 seg. para lámparas del tipo T12-40 vatios cuya corriente de lámpara está en torno a los 500 mA. Al final de este periodo de precalentamiento los catodos han alcanzado una temperatura suficiente como para que la emision de electrones, por efecto termoionico sea lo suficientemente elevada como para producir la descarga electrica al aplicar la tensión en los extremos de los catodos. Cuando el cátodo no alcanza la temperatura adecuada y la lámpara se enciende se producen campos electricos locales elevados que perturban el funcionamiento de la misma todo lo cual da lugar a un aumento de perdidas del material emisivo y a una mayor contaminación de la superficie del tubo. Al encendido de la lámpara cuando los cátodos no han alcanzado la temperatura suficiente se le llama arranque instantaneo, fenomeno este que se ha de evitar si pretendemos que la

vida de la lámpara sea lo más larga posible, para ello el circuito total de alimentación ha de ir provisto de un sistema de cebado del arco, adecuado, bien regulando el tiempo mínimo de precalentamiento, superponiendo impulsos de alta frecuencia en la etapa de precalentamiento, con lo cual la densidad de producción de electrones puede llegar a ser constante, como veremos posteriormente, con ello el funcionamiento de los cátodos será mucho más estable. En un principio se pensó que el fenómeno del arranque instantáneo en una lámpara de precalentamiento era debido al balasto estimándose que para el caso de balastos inductivos diseñados para funcionar a 50 Hz ó 60 Hz las tres características más relacionadas con este fenómeno eran: factor de cresta, tensión eficaz y tensión de mantenimiento.

El factor de cresta δ de la tensión de alimentación a la lámpara se define como la relación entre el valor de pico V_p y el valor V_{RMS} eficaz de la tensión medidos en los extremos de la lámpara antes de iniciarse la descarga, esto es en vacío

$$\delta = \frac{V_p}{V_{RMS}}$$

En la fig. (3-3) se representa el efecto del factor de cresta de la tensión de alimentación en el fenómeno del arranque instantáneo. Esta característica se ha obtenido con una serie de balastos designados por las letras, B_1 , B_2 , B_3 , B_4 y B_5 cuyas

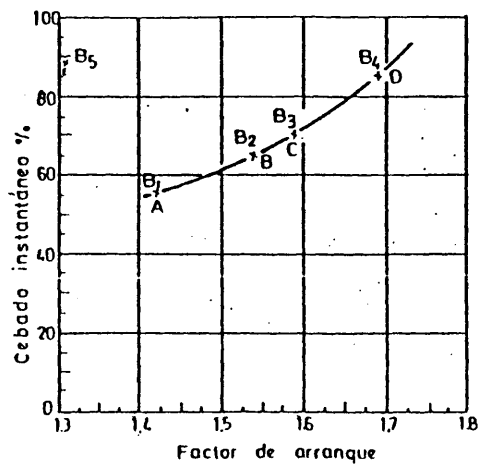


Fig-3-3 Características factor de cresta de la tensión de encendido y % de arranque instantáneo

características especiales aparecen en la table (3-2).

TABLA 3-2. Características de los balastos correspondientes a la fig. (3-3).

| Balastos | Tensión eficaz | Tensión de pico | Factor de cresta | % de arranque con cebador instantaneo. |
|----------------|----------------|-----------------|------------------|--|
| B ₁ | 209 | 299 | 1,43 | 56% |
| B ₂ | 206 | 319 | 1,55 | 66% |
| B ₃ | 208 | 331 | 1,59 | 70% |
| B ₄ | 211 | 359 | 1,70 | 86% |
| B ₅ | 218 | 288 | 1,32 | 87% |

La reactancia B₅ que da lugar a un factor de cresta - muy reducido (1,32) presenta un incremento muy brusco en la tensión de arranque dando lugar a un tanto por ciento de probabilidad de arranque instantaneo elevado, cuando en realidad por las características propias del diseño no debería de ocurrir así, - en los restantes balastos podemos observar que el tanto por ciento de probabilidad de que se produzca el fenomeno del arranque instantaneo es tanto mayor cuanto más elevado es el factor de cresta.

A lo largo de un gran número de experiencias de laboratorio se ha podido comprobar la influencia del tanto por ciento de encendidos por arranque instantaneo en el porcentaje de espe-

ranza de vida de una lámpara fluorescente diseñada para arranque por precalentamiento, en la fig. (3-4) se representa una grafica donde se puede observar que una lámpara que se enciende mediante el arranque instantaneo tiene una esperanza de vida equivalente al 35% de la correspondiente a una lámpara de precalentamiento que se enciende en condiciones normales.

3.6. Influencia del factor de cresta de la corriente de lámpara en la vida de una lámpara fluorescente.

Uno de los fenómenos más estudiados ha sido el efecto del factor de cresta de la corriente de lámpara en la vida de una lámpara fluorescente. El factor de cresta de la corriente de lámpara se define como la relación entre el valor de pico I_p y el valor eficaz I_{RMS} de dicha corriente esto es $\lambda = I_p / I_{RMS}$.

En un principio cuando la mayoría de las lámparas fluorescentes se encienden con auxilio de cebador, el balasto a emplear es de tipo inductivo y solamente en el caso de que la tensión de alimentación es inferior a 125 voltios se emplea el autotransformador como sistema de encendido y regulación de corriente de lámpara. En ambos casos balasto inductivo o autotransformador, la deformación de la onda de corriente es debida a los fenómenos que ocurren en la columna positiva propiamente dicha y a la deformación introducida por el balasto que será tanto mayor cuanto más saturado este el nucleo, pero todo esto no llegaba a producir un efecto excesivamente pernicioso en la vida de la lámpara. La aparición de tubos fluorescentes de alta o muy alta emi

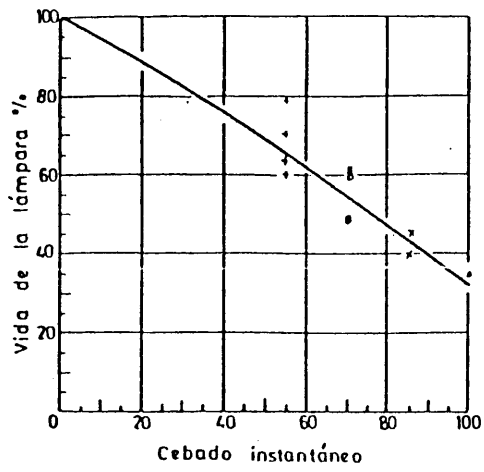


Fig-34 Efecto del cebado instantáneo en la vida de una lámpara fluorescente de 40 wátios

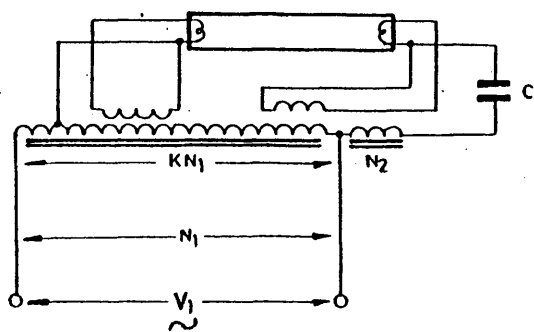


Fig.- 3-5 Circuito de encendido y regulación para lámpara fluorescente

sión que necesitan una tensión superior a la de red ha hecho necesario el uso de balastos o sistema autotransformador de alto factor de dispersión empleando como elemento de regulación de corriente la combinación de la autoinducción propia del balasto más un condensador en serie con la lámpara, tal que el sistema total introduce una gran cantidad de armónicos en la corriente de lámpara. Se han hecho medidas experimentales con diferentes balastos cuya característica fundamental estriba en que todas ellas se han diseñado para encender una lámpara de 110 vatios de potencia siendo el factor de cresta de la corriente de lámpara para cada uno de 1,5; 1,65; 1,8; 2,0; y 2,55; para conseguir esto se han empleado diferentes tipos de núcleo magnético en cuanto a forma y en cuanto a características del material magnético a emplear. En el caso de factor de cresta para corriente 1,5 se ha prescindido del condensador en serie C que aparece en el circuito de la fig. (3-5).

Con el fin de estudiar el envejecimiento prematuro de la lámpara en función del factor de cresta de la corriente de lámpara se han utilizado 12 tubos de 110 vatios, con cada uno de los balastos que vienen caracterizados por el factor de cresta de la corriente de lámpara. Se ha medido el flujo luminoso de la lámpara para un factor de cresta 1,5 y se ha comparado con el flujo luminoso dado por un lote de lámparas iguales alimentadas por balastos cuyos factores de cresta de corriente de lámpara son los reseñados anteriormente, después de un periodo de tiempo funcionando, equivalente a 5.000 ciclos de encendido y apaga

do de la lámpara, tal que en un minuto al menos durante 30 seg. la lámpara ha de permanecer apagada, para lo cual se ha empleado un temporizador que nos permite variar el tiempo correspondiente al ciclo de encendido y apagado. En la fig. (3-6) se representan oscilogramas correspondientes a los factores de cresta de los diferentes balastos empleados en la experiencia y en la fig. (3-7) aparece la distribución de puntos correspondientes a los resultados obtenidos, pudiéndose observar como la esperanza de vida de la lámpara disminuye hasta un valor del 15% para un factor de cresta 2,55. Una de las consecuencias de la disminución de la esperanza de vida de la lámpara en función del factor de cresta, se debe fundamentalmente a una distribución no uniforme de la densidad de electrones dentro de la columna, debido a la importancia de los armónicos 3º, 5º y 7º fundamentalmente. Esta es la razón por la cual en las normas correspondientes a balastos hay un apartado dedicado expresamente al contenido de armónicos de la corriente fijándose unos límites máximos por encima de los cuales el balasto no es aceptable.

3.7. Limitaciones en la corriente de lámpara.

Los dispositivos de encendido y regulación son diseñados fundamentalmente con la idea de obtener un máximo rendimiento energético en general y en particular conseguir la iluminación deseada en un punto con un mínimo de energía consumida, tratando de asegurar el mayor número de horas de vida útil del tubo, pero esto solo se puede conseguir mediante el establecimiento de un equilibrio entre los diferentes parámetros que hemos -

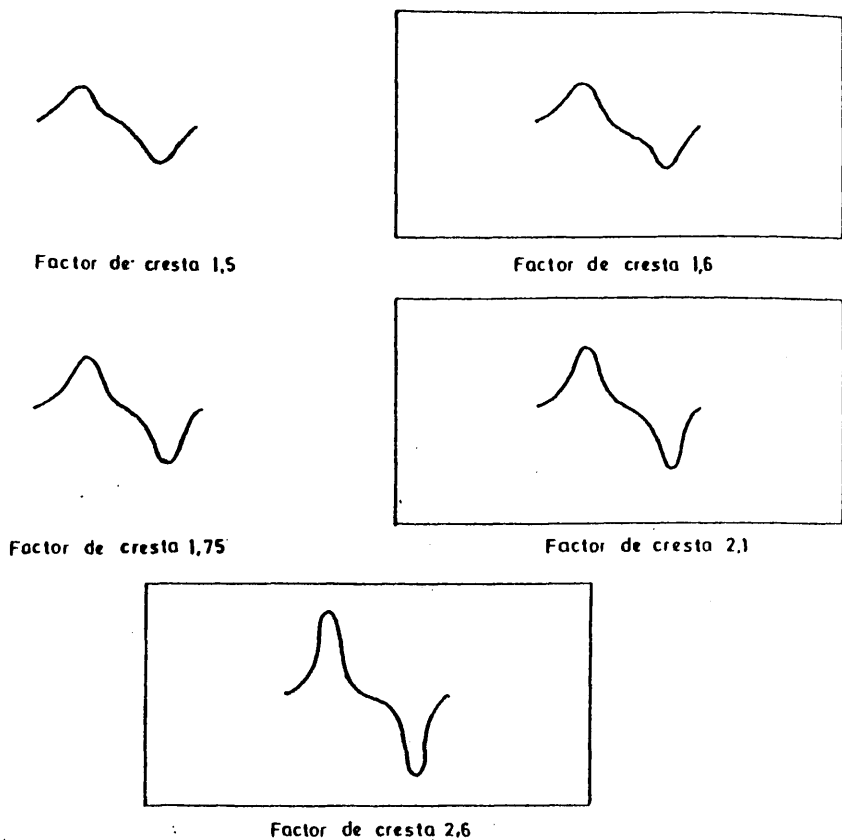


Fig.-3-6. Forma de onda de la corriente de lámpara para diferentes factores de cresta

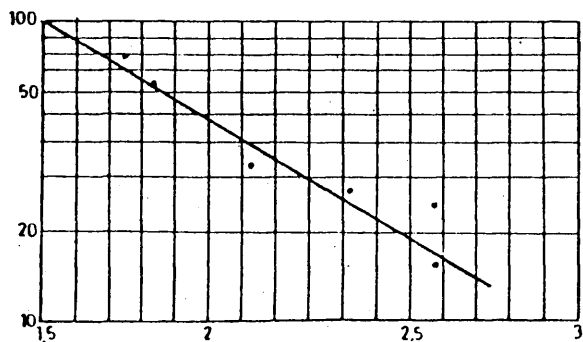


Fig.-3-7. Efecto del factor de cresta en la vida de una lámpara fluorescente.

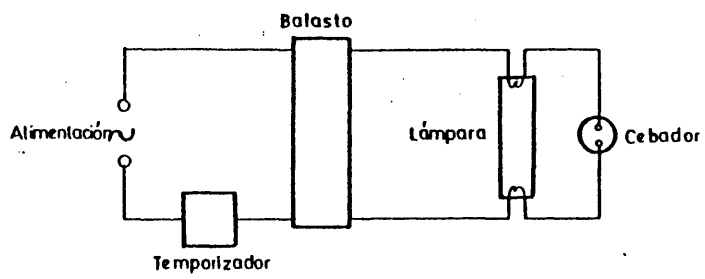


Fig.-3-8 Circuito de prueba de duración de una lámpara fluorescente

estudiado, dada la gran complejidad que presenta la lámpara de descarga.

En este apartado tratamos de fijar los valores máximos y mínimos de algunos parámetros característicos de la lámpara obtenidos experimentalmente.

3.7.1. Factor de forma de una lámpara.

Cuando una lámpara fluorescente funciona con corriente alterna a baja frecuencia entre 50 Hz y 60 Hz, las formas de onda de tensión y de corriente de lámpara, pero fundamentalmente la onda de tensión está muy lejos de presentar una forma de onda de tipo senoidal, es por ello, por lo que el producto de (3) los valores eficaces de la tensión y de la corriente de lámpara difiere del valor de la potencia medida entre los extremos de la lámpara, lo cual equivale a admitir la existencia de un factor de potencia de lámpara λ_L que lo definiremos mediante la expresión (3-4).

$$\lambda_L = \frac{\int v \cdot i \cdot dt}{\sqrt{\int v^2 dt} \cdot \sqrt{\int i^2 dt}}$$

donde v e i son los valores instantáneos de la tensión y de la corriente de lámpara.

Para formas de onda no muy distorsionadas $0.9 \leq \lambda_L \leq 0.97$ sin llegar a la unidad, para formas de onda muy distorsionadas como puede ser el caso en el que exista un condensador en serie con la lámpara el valor de λ_L es inferior a 0.9.

Esta influencia de la distorsión de las formas de onda de tensión y de corriente de lámpara en el valor de λ_L es debido a que λ_L depende del contenido de armónicos de la onda de tensión fundamentalmente y no se debe a una diferencia de fase entre la onda de tensión y la onda de corriente, es por ello, por lo que el factor de potencia de lámpara λ_L es más conocido con el nombre de factor de forma.

3.7.2. Límites de la corriente de lámpara.

De la forma de onda de la corriente de lámpara y de su valor dependen en gran medida el rendimiento de un tubo fluorescente ya que la producción de radiación U.V. entre otros parámetros depende de la corriente y el flujo luminoso producido por un tubo depende también de la cantidad de radiación U.V. que llega al material fluorescente que recubre la pared interior del tubo.

Experimentalmente hemos estudiado unos tubos fluorescentes de 110 vatios A.R. y de 40 vatios arranque por cebador.

Al no disponer de una esfera integradora hemos preparado un dispositivo cilíndrico adecuado al tamaño del tubo pero con el volumen suficiente de aire para que la temperatura de la pared se mantenga constante y hemos medido la luminosidad en un punto fijo en función de la corriente de lámpara, para esta experiencia hemos empleado balastos patrón y balastos comerciales, los balastos patrón han sido diseñados por nosotros de acuerdo con la norma C.E.I. 82. En las tablas (3-3) y (3-4) representamos los valores correspondientes a tubos de 110 vatios A.R.

alimentado con un balasto patrón que presenta un factor de cresta para la corriente de lámpara de $\lambda = 1.53$ y un balasto comercial de alto factor con condensador en serie de un valor $\lambda = 2.13$ respectivamente.

TABLA (3-3).

| I_L m Amp. | lux | W_L vatios | lux/vatios | |
|--------------|------|--------------|------------|------|
| 700 | 615 | | 1.53 | |
| 800 | 680 | | 1.53 | |
| 1.000 | 800 | | 1.53 | |
| 1.200 | 870 | 95 | 1.53 | 9.16 |
| 1.400 | 940 | 108.4 | 1.53 | 8.67 |
| 1.500 | 1000 | 114.4 | 1.53 | 8.74 |
| 1.600 | 1025 | 121 | 1.53 | 8.47 |
| 1.700 | 1050 | | | |
| 2.000 | 1090 | | | |

TABLA (3-4)

| I_L m Amp. | lux | W_L vatios | lux/vatios |
|--------------|-----|--------------|------------|
| 700 | 610 | 64 | 9.53 |
| 800 | 660 | 71 | 9.30 |
| 900 | 710 | 77 | 9.22 |
| 1.000 | 750 | 83 | 9.04 |
| 1.200 | 800 | 93 | 8.60 |

| | | | | |
|-------|-----|-------|------|------|
| 1.300 | 822 | 98 | | 8.39 |
| 1.400 | 845 | 102.4 | | 8.25 |
| 1.500 | 860 | 106 | 2.13 | 8.11 |
| 1.600 | 868 | 109 | | 7.96 |
| 1.700 | 850 | 114 | 2.23 | 7.46 |
| 1.800 | 840 | 115 | 2.27 | 7.30 |

De la comparación de ambas tablas se deduce:

- a) En el balasto puramente inductivo el número de lux/vatio tiene su valor óptimo para una corriente de lámpara cuyo valor eficaz es 1.5 amp., para una intensidad de corriente de 1,2 amperios aparece un valor de lux/vatio de 9.16 que es incluso superior al valor obtenido para un valor de la corriente de lámpara de 1,5 amp. y a partir de este valor el número de lux/vatio disminuye, por tanto para llegar a un rendimiento óptimo en la iluminación producida por una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. alimentada con c.a. y empleando un balasto inductivo el valor de la corriente de lámpara ha de estar comprendido entre 1.2 amp. mínimo y 1.6 amp. máximo, este último valor no aconsejable ya que traería consigo un envejecimiento rápido del tubo.
- b) Para el balasto comercial se ha comprobado: I) El factor de cresta es muy elevado 2.13 para un valor eficaz de la corriente de lámpara de 1.5 amp. este factor de cresta se incrementa progresivamente a medida que aumenta el valor eficaz de la co

corriente de lámpara llegando a 2.27 para una corriente eficaz de 1.8 Amp. II) Como consecuencia del elevado factor de cresta el rendimiento lux/vatio disminuye paulatinamente de 9.53 para un valor eficaz de $I_L = 0.7$ hasta llegar a 7.3 para $I_L = 1.8$. III) Si comparamos el rendimiento lux/vatio en el caso de regulación con balasto inductivo con la regulación con balasto comercial de alto factor vemos que el rendimiento en este caso es menor que en el balasto inductivo debido fundamentalmente al factor de cresta elevado, que como hemos explicado produce dentro de la columna positiva un fenómeno de saturación.

En consecuencia al diseñar un balasto comercial de alto factor se ha de cuidar mucho el factor de cresta que según esta normalizado no ha de ser superior a 1.7.

Siguiendo el mismo método que para el tubo de 110 vatios A.R. se ha estudiado el comportamiento de un tubo fluorescente de 40 vatios arranque por cebador utilizando dos balastos inductivos uno patrón que hemos diseñado de acuerdo con la norma C.E.I. 82 y otro comercial, los resultados obtenidos aparecen en las tablas 3-5 y 3-6.

TABLA 3-5. Valores correspondientes a un tubo de 40 vatios con balasto patrón.

| Im. Amp | Lux | W_L vatios | lux/vatio | I_p |
|---------|-----|--------------|-----------|-------|
| 280 | 458 | 28 | 16.37 | |
| 320 | 510 | 31.2 | 16.35 | |

| | | | | | |
|-----|-----|------|-----|-------|-----|
| 360 | 558 | 34.2 | | 16.32 | 545 |
| 400 | 600 | 37.6 | | 15.96 | 600 |
| 435 | 640 | 40 | 1.5 | 16 | 655 |
| 460 | 656 | 41.2 | | 15.9 | 690 |
| 480 | 678 | 43.4 | | 15.62 | 720 |
| 520 | 715 | 46.2 | | 15.48 | 780 |

TABLA (3-6). Valores correspondientes a un tubo de 40 vatios con balasto comercial.

| I m. Amp. | Lux | W_L vatios | | Lux/vatios | I_p |
|-----------|-----|--------------|------|------------|-------|
| 280 | 450 | 28 | 1.55 | 16.07 | 435 |
| 320 | 505 | 31.2 | 1.55 | 16.19 | 495 |
| 360 | 555 | 34.4 | 1.55 | 16.13 | 560 |
| 400 | 585 | 37 | 1.54 | 15.81 | 615 |
| 435 | 618 | 39.4 | 1.54 | 15.68 | 670 |
| 460 | 645 | 42 | 1.55 | 15.36 | 715 |
| 480 | 662 | 43.2 | 1.56 | 15.32 | 750 |
| 520 | 695 | 45.5 | 1.57 | 15.27 | 820 |

De la comparación entre los valores representan en las tablas (3-5) y (3-6) se desprende:

- a) El rendimiento luminoso es tanto menor cuanto mayor es el factor de cresta de la corriente de lámpara.

- b) Para una intensidad de corriente de lámpara de 435 mA el valor medido de la potencia de lámpara es el optimo.
- c) De nuevo se observa que tratandose de los balastos inductivos el de factor de cresta mayor no solamente produce menos luz en el punto de observación sino que las perdidas en el balasto tambien son mayores.
- d) Los valores minimos y maximos de la corriente de lámpara para obtener un rendimiento luminoso aceptable sin perjudicar excesivamente a la lámpara son 400 m.Amp. y 460 m.Amp. si bien el limite superior no es aconsejable.

En general un balasto ha de estar diseñado de tal forma que se cumplan las siguientes condiciones:

- a) Para dos alternancias sucesivas la forma de onda de la corriente de lámpara ha de ser analoga y su valor máximo diferira en menos del 5%.
- b) El factor de cresta de la corriente de lámpara se debe conservar inferior a 1.7 para valores de la tensión de alimentación comprendidas entre el 90% y el 100% de dicha tensión nominal, e inferior a 1.8 para valores comprendidos entre el 100% y el 110% de la tensión nominal.

La potencia suministrada a la lámpara por el balasto alimentado a la tensión y frecuencia nominales no ha de ser inferior al 92.5% de la que suministraría a la misma lámpara un ba - lasto de referencia alimentado en las mismas condiciones.

Por otra parte y para toda tensión comprendida entre el 90% y el 110% de su tensión nominal, la potencia suministrada a la lámpara por el balasto debe ser igual o mayor que el 85% de la suministrada a la misma lámpara por un balasto de referencia alimentado al 90% de su tensión nominal y menor o igual al 115% de la que suministra a la misma lámpara el balasto de referencia alimentado al 110% de la tensión nominal.

Valor de la intensidad de corriente en lámpara. El balasto, alimentado a tensión y frecuencias nominales limitará la intensidad de la corriente suministrada a una lámpara a un valor no superior al 115% del que se obtendría con la misma lámpara asociada a un balasto de referencia y alimentado el conjunto en las mismas condiciones.

C A P I T U L O I V

4. Modelos matematicos para una lámpara de descarga de baja presión.

4.1. Sistemas de encendido y estabilización para lámparas de des carga.

(32) Como hemos podido observar la característica tensión-corriente de una lámpara de descarga es negativa, por tanto se hace necesario disponer de un dispositivo adecuado capaz, no sólo de producir el encendido de la lámpara, sino, que también ha de regular el paso de la corriente a través del tubo, esto hasta ahora, se ha conseguido empleando balastos, "sistemas de encendido y regulación", unas veces formados por una resistencia exclusivamente, otras por una autoinducción, otras por un autotransformador, etc. Ahora bien, dada una lámpara cuyas características de fabricación son conocidas, el diseño de estos balastos se hacía por aproximaciones sucesivas o tanteos. En la actualidad, el conocimiento más profundo de los fenómenos físicos dentro de la lámpara, la posibilidad de usar tensiones de alimentación de frecuencia elevadas, desde 400 c/s hasta los 40 Kc/s, ha hecho cambiar la problemática del diseño de estos dispositivos de regulación y control, no sólo ya por la necesidad de utilizar materiales magnéticos más adecuados para estas frecuencias, cual es el caso de los núcleos de ferrita en sus diferentes formas y características, sino que por otra parte, la influencia de la electrónica se ha hecho sentir de tal modo

que en la actualidad se tienda a utilizar cada vez con más frecuencia y eficacia los dispositivos electrónicos-magnéticos y electrónicos propiamente, en sustitución de los convencionales ello lleva consigo la necesidad de una mayor precisión en el diseño, cosa que hasta ahora no era excesivamente importante.

Todas estas razones, además de razones de economía son las que han llevado a investigar sobre diferentes modelos matemáticos de lámparas de descarga, tanto en alta como en baja presión, para una vez conocido el modelo matemático poder sustituir a la lámpara dentro del circuito total como un componente más.

4.2. Circuito equivalente de una lámpara de descarga.

En 1.953 C. Zwikker publicaba un trabajo en el que al estudiar el circuito eléctrico de la fig. (4-1) considera la lámpara equivalente a un generador de fuerza electromotriz de onda cuadrada de amplitud $\frac{1}{2} A$, aproximación que no se adapta a la realidad ya que para frecuencias de la tensión de alimentación inferiores a los 400 Hz la forma de onda de la tensión de lámpara no es una onda cuadrada según se puede observar en la fig. (4-2) y para frecuencias más elevadas la forma de onda de la tensión de lámpara se hace cada vez más senoidal como se puede observar en la fig. (4-3).

(20) Siguiendo esta misma línea J.A. Cordero y S. Ros en 1.975 hacían el estudio de la forma de onda de la corriente de lámpara para lo que utilizábamos un circuito eléctrico simpli-

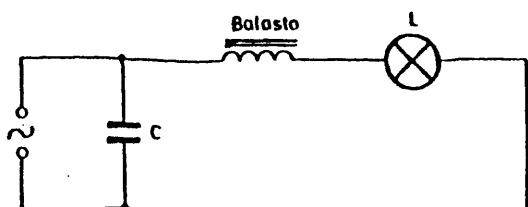


Fig.-(4-1) Circuito de alimentación para lámparas de descarga con condensador para corrección del factor de potencia

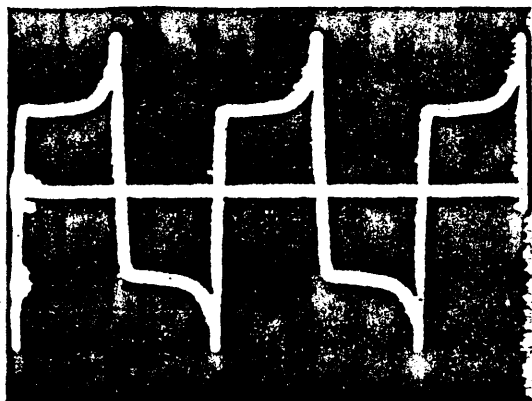
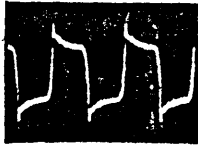
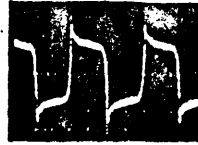


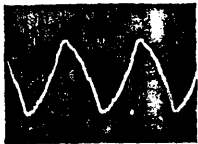
Fig.(4.2) Forma de onda de la tensión de lámpara para una frecuencia de 50 Hz con balasto patrón.



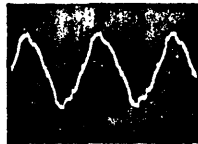
50Hz 40w



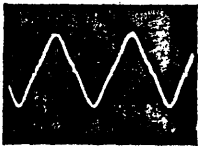
50Hz 20w



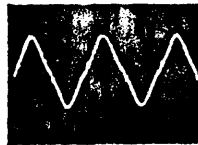
800Hz 40w



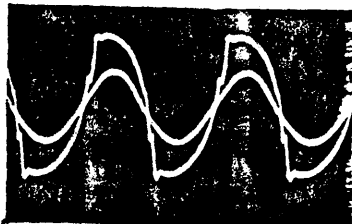
800Hz 20w



8000Hz 40w



8000Hz 20w



15 Kc 20w



57Kc 14w

Fig. 4-3. Forma de onda de la tensión de lámpara para frecuencias de 50 Hz. y superiores.

ficado como el de la fig. (4-4), considerando que la lámpara es un generador de tensión que suministra una onda cuadrada - de amplitud A y en consecuencia la tensión instantánea $V_L(t)$ de la lámpara será de la forma:

$$V_L(t) = \begin{cases} + A & \text{para } 2K \frac{T}{2} \leq t \leq (2K + 1) \frac{T}{2} \\ - A & \text{para } (2K + 1) \frac{T}{2} \leq t \leq (2K + 2) \frac{T}{2} \end{cases}$$

(4-1)

en tanto que la tensión de alimentación en un instante (t) y para una tensión de alimentación de tipo senoidal vendrá dada por la expresión:

$$V_{oc}(t) = V_{oc} \text{ sen } (\omega t + \phi)$$

siendo ϕ la diferencia de fase entre la tensión de alimentación y la tensión de lámpara. A partir de estos supuestos y - teniendo en cuenta el circuito de la fig. (4-4) se puede es - cribir la ecuación diferencial:

$$V_{oc} \text{ sen } (\omega t + \phi) - A = R_i(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

(4-2)

donde L es el valor de la autoinducción del balasto y R es la

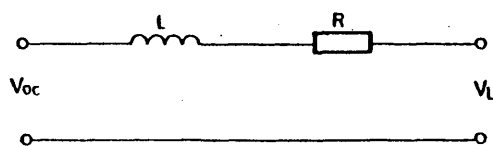


Fig.-(4-4) Circuito equivalente para lámpara de descarga con balasto inductivo

resistencia propia del balasto. Supuesto en primera aproximación que la ecuación (4-2) es lineal, es aplicable la transformada de Laplace, si imponemos la condición de que $i(0) = 0$ e introducimos el parámetro $a = R/L$ llegamos a la expresión:

$$I(s) = \frac{V_{oc}}{L} \frac{w \cos \phi + S \operatorname{sen} \phi}{(s^2 + w^2)(S + a)} + \frac{A}{L} \frac{1}{s(s+a)} + i(0) \frac{1}{S + a} \quad (4-3)$$

hallando la transformada inversa y teniendo en cuenta que $i(0) = 0$ se llega finalmente a la expresión:

$$i(t) = \frac{A}{L} \frac{e^{-at} - 1}{a} + \frac{V_{oc}}{\sqrt{R^2 + L^2 w^2}} - \operatorname{sen} \psi e^{-at} + \operatorname{sen}(wt + \psi) \quad (4-4)$$

donde $\psi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} w/a$.

Si tenemos en cuenta una condición más que imponemos a $i(t)$ tal que: $i(t) = 0$ para $t = 0$ y $t = T/2$, por otro lado admitimos que las pérdidas en el balasto son despreciables tendremos después de una serie de sustituciones y simplificaciones en la ecuación (4-4) que para $2K T/2 \leq t \leq (2K + 1) T/2$ la intensidad de la corriente de lámpara $i(t)$ vendrá dada por:

$$i(t) = \frac{\Delta T}{4L} \frac{A}{L} t - \frac{V_{oc}}{Lw} \cos (wt + \psi) \quad (4-5)$$

siendo:

$$\cos \psi = \frac{\pi A}{2 V_{oc}} \quad (4-6)$$

en los semiperiodos correspondientes a :

$$(2K + 1) T/2 \leq t \leq 2(K + 1) T/2$$

la forma de onda de la intensidad de corriente será la misma pero en la ecuación (4-5) los signos de los terminos estarán cambiados. Si se compara la curva teorica y la real correspondientes a una lámpara fluorescente fig. (4-5) y fig. (4-6) respectivamente, vemos que hay una ligera discrepancia entre ambas debido posiblemente a que no se han tenido en cuenta todos los fenomenos que tienen lugar dentro del tubo de descarga al haber supuesto que la lámpara es un generador de onda cuadrada.

4.3. Ecuación diferencial para una lámpara fluorescente.

Partiendo de los postulados del apartado (2-4) y haciendo uso de las ecuaciones (2-17) y (2-18) tratamos de llegar a una ecuación diferencial donde solo aparezcan las variables v e i para ello eliminamos la variable N mediante una combinación de las ecuaciones (2-17) y (2-18) de esta forma llegamos a la expresión:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{F}{v^2} \left| v \frac{di}{dt} - i \frac{dv}{dt} \right| = \alpha i v - \beta F \frac{i}{v}$$

(4-7)

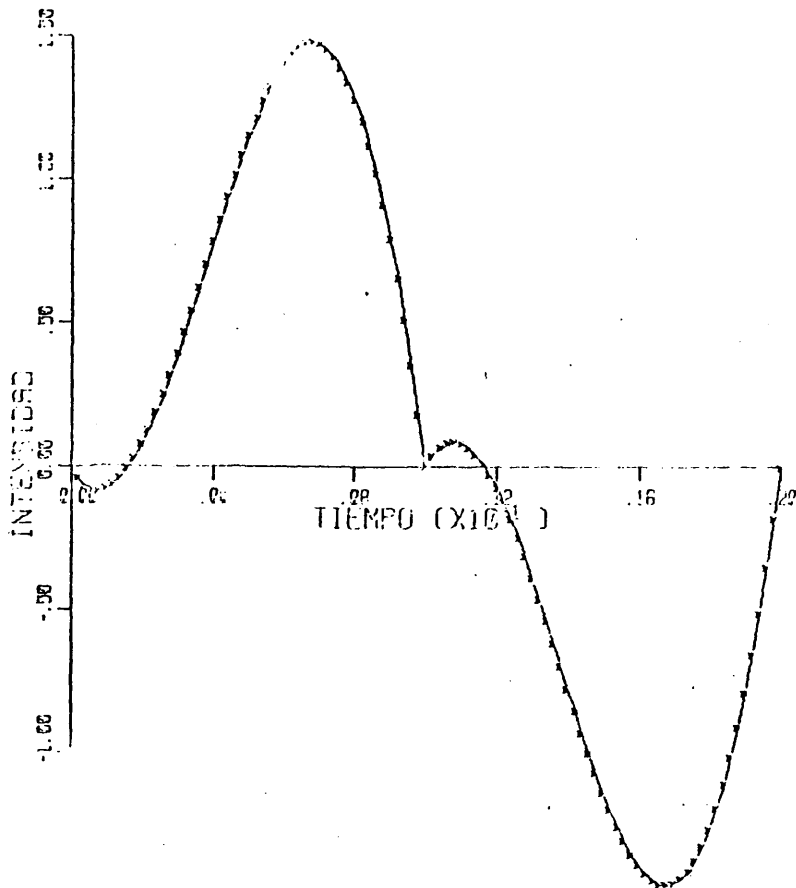
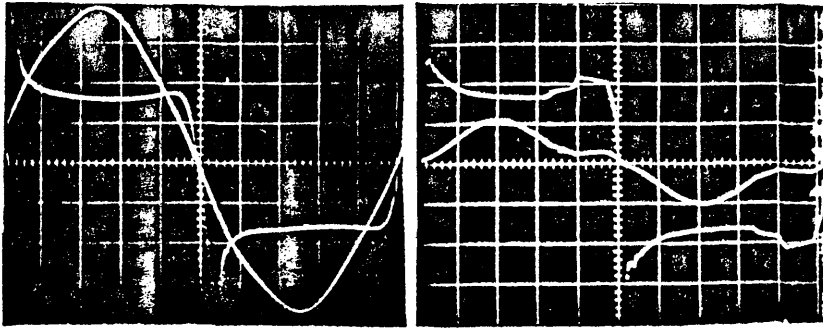


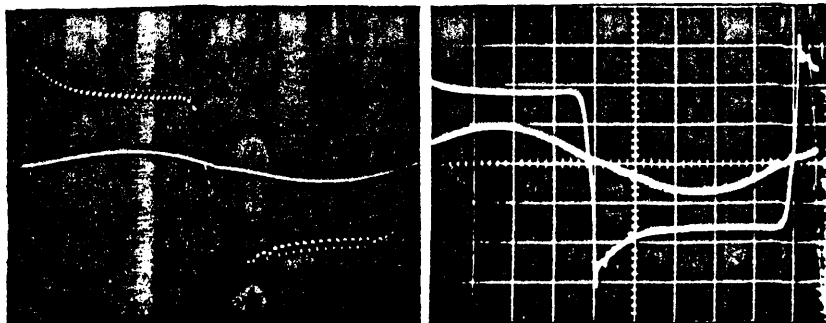
Fig. (4.5) Curva teórica de la corriente de lám para de una lámpara fluorescente de AR.

Características de tensión e intensidad correspondientes a una lámpara de 110 vatios A.R.



Onda de tensión y corriente con balasto - resistivo.

Onda de tensión y corriente con un balasto comercial con condensador en serie.



Onda de tensión y corriente con un balasto inductivo

Onda de tensión y corriente con un balasto patron.

Fig. 4-6

y multiplicando por V/i da la ecuación:

$$\frac{1}{i} \frac{di}{dt} = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} + \frac{\alpha}{F} V^2 - \beta \quad (4-8)$$

obteniendose una ecuación diferencial básica que relaciona la tensión y la corriente de lámpara.

Si integramos con relación al tiempo, en la ecuación (4-8) introduciendo las constantes de integración apropiadas, podemos escribir:

$$\ln \frac{i(t)}{i(o)} = \ln \frac{V(t)}{V(o)} + \int_0^t \frac{\alpha}{F} V^2 - \beta dt \quad (4-9)$$

$$\ln \frac{i}{i(o)} = \ln \frac{V}{V_o} + e \int_0^t \left(\frac{\alpha}{F} V^2 - \beta \right) dt \quad (4-10)$$

$$i = V \frac{i_o}{V_o} e^{\int_0^t \left(\frac{\alpha}{F} V^2 - \beta \right) dt} \quad (4-11)$$

a partir de la ecuación (4-11) se puede determinar fácilmente la corriente de lámpara i si conocemos la tensión instantánea de lámpara $V(t)$ y las constantes, β , y α/F . En general y a partir de la ecuación (4-11) se deduce que para $|V| < V_e$, V constante o variable, la corriente de lámpara disminuirá has-

ta llegar a un valor cero, por el contrario si $|v| > V_e$, la corriente crece indefinidamente V_e es la tensión de lámpara obtenida para el caso en que $\frac{\alpha}{F} \cdot v^2 - \beta = 0$, por tanto $V_e = \sqrt{F\beta/\alpha}$.

La corriente de lámpara i , en principio desconocida podemos llevarla al valor deseado a partir de un valor arbitrario. Sea una función constante a intervalos y con valores $v^+ > V_e$ y $v^- < V_e$ y V_e , donde v^- puede tomar cualquier valor o bien $v^- = 0$ para mayor simplicidad. Si el valor de consigna para la corriente de lámpara lo definimos por i_o la respuesta a las diferentes tensiones de lámpara vendrán representadas por las figuras (4-7a) y (4-7b).

Si v no es constante pero periódica y además se cumple que:

$$\int_0^T \left(\frac{\alpha v^2}{F} - \beta \right) dt = 0 \quad (4-12)$$

se cumplirá también que la intensidad será periódica cumpliendo la condición:

$$\begin{aligned} i(t+T) &= \frac{i_o}{v_o} v(t+T) e^{\int_0^{t+T} \left(\frac{\alpha v^2}{F} - \beta \right) dt} = \\ &= \frac{i_o}{v_o} v(t) e^{\int_T^{t+T} \left(\frac{\alpha v^2}{F} - \beta \right) dt} e^{\int_0^T \left(\frac{\alpha v^2}{F} - \beta \right) dt} = i(t) \end{aligned}$$

$$(4-13)$$

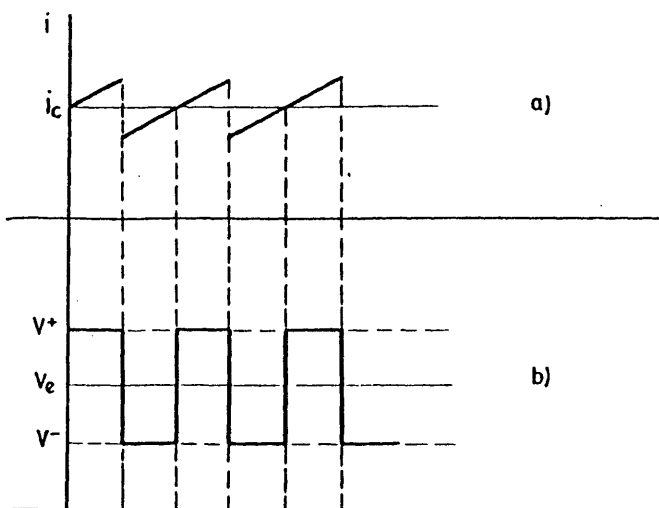


Fig-4-7 Variación de la corriente de lámpara en función de V en torno al valor V_e

En este supuesto y alterando del modo conveniente la forma de V podemos modificar la corriente de lámpara i a voluntad. Con $V(t)$ periódica pero tal que:

$$\int_0^T \left(\frac{\alpha V^2}{F} - \beta \right) dt > 0$$

la corriente de lámpara crecerá y con $V(t)$ periódica pero

$$\int_0^T \left(\frac{\alpha V^2}{F} - \beta \right) dt < 0$$

la corriente de lámpara disminuirá.

En el caso de una función senoidal de amplitud constante y mediante variación de la frecuencia no se puede conseguir llevar la corriente a las condiciones de equilibrio, sea $V = V_0 \sin \omega t$ demosremos que la condición de equilibrio no depende de la frecuencia, en efecto sea:

$$\int_0^T \left(\frac{\alpha V^2}{F} - \beta \right) dt = \int_0^T \left(\frac{\alpha V_0^2}{F} \sin^2 \omega t - \beta \right) dt = 0$$

$$\int_0^T \left[\frac{\alpha V_0^2}{F} (1 - \cos 2\omega t) - \beta \right] dt = 0$$

puesto que

$$\int_0^T \cos 2\omega t \, dt = 0 \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

tendremos que:

$$\int_0^T \left(\frac{\alpha v_0^2}{F} - \beta \right) dt = 0$$

que no depende de w

4.4. Simulación del comportamiento de una lámpara fluorescente.

Partiendo de las ecuaciones (2-17) y (2-18) se ha realizado la simulación analógica del comportamiento de una lámpara fluorescente que viene caracterizado por los parámetros R , α/F , β y V los cuales se han determinado experimentalmente para los siguientes casos:

- a) Lámpara fluorescente de 40 vatios alimentada a 220 voltios.
- b) Lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. alimentada a 220 voltios.

4.4.1. Determinación de las constantes α/F y β .

Para la determinación de las constantes α/F y β haremos uso de las graficas correspondientes al lugar geométrico de la impedancia de una lámpara fluorescente y por comparación de la grafica real de la impedancia con la grafica obtenida mediante el estudio del comportamiento de una lámpara fluorescente alimentada por corriente continua sometida a una perturbación debida a una baja señal de alterna a diferentes frecuencias, determinamos los valores de α/F y β de la lámpara que corresponda.

Partiendo de las ecuaciones (4-14) y (2-18)

$$\gamma \frac{d^2 N}{dt^2} + \frac{dN}{dt} = \alpha VI - \beta N \quad (4-14)$$

la ecuación (4-14) se obtiene añadiendo a la ecuación (2-17) el término de segundo orden $\gamma d^2 N/dt^2$ que nos permitirá obtener un circuito equivalente de la lámpara en el que aparecen dos autoinducciones, podemos llegar a una ecuación función de v e i de valores pequeños, correspondientes a las perturbaciones de corriente alterna que una vez realizadas las oportunas sustituciones llegariamos a la expresión:

$$\gamma \frac{d^2 n}{dt^2} + \frac{dn}{dt} = \alpha V_0 i + \alpha I_0 v - \beta n$$

$$\frac{i}{V_0} - \frac{I_0}{V_0^2} v = \frac{n}{F}$$

donde V_0 e I_0 son los valores de la tensión y de la corriente de lámpara en condiciones estáticas. Relacionando ambas ecuaciones y aplicando la transformada de Laplace podemos expresar la impedancia de la lámpara por (4-15)

$$Z(s) = \frac{V(s)}{I(s)} = \frac{V_0}{I_0} \frac{(\gamma s + 1) s}{\gamma s^2 + s + 2\beta} \quad (4-15)$$

Para el caso de bajas frecuencias la expresión (4-15) quedaría reducida a : $Z(s) = V_0/I_0 \cdot S/S+2\beta$, y para altas - frecuencias de la expresión (4-15) queda reducida a

$$Z(s) = \frac{V_0}{I_0} \frac{S}{S + 1/\gamma}$$

Ambas expresiones una vez representadas ver fig. (4-8) representan semicírculos que arrancan del origen de coordenadas con un diámetro igual a V_0/I_0 . Las graficas de la fig. (4-8) se han obtenido en función de las variables $\gamma\beta$ y w/β donde $\gamma\beta$ varia desde -1 a +1 y en lugar de \bar{Z} se ha normalizado la expresión haciendo uso de $Z/V_0/I_0$.

En la determinación del lugar geométrico de la impedancia para una lámpara fluorescente se ha empleado un circuito como el de la fig. (4-9) constituido fundamentalmente por - una fuente de tensión continua, un filtro, dispositivo de regulación de corriente de lámpara, un generador de ondas a diferentes frecuencias, un registrador. La lámpara objeto de estudio - se ha mantenido durante todo el ensayo a una temperatura de pared de 40°C, ver fig. (4-9a). El sistema de alimentación ha sido regulado de forma tal que la potencia consumida por la lámpara se ha mantenido constante durante todo el proceso de medida. En estas condiciones hemos medido la corriente, la tensión y el ángulo de fase a diferentes frecuencias. A partir de estos valores se han obtenido las graficas correspondientes a las figs. (4-10) y (4-11).

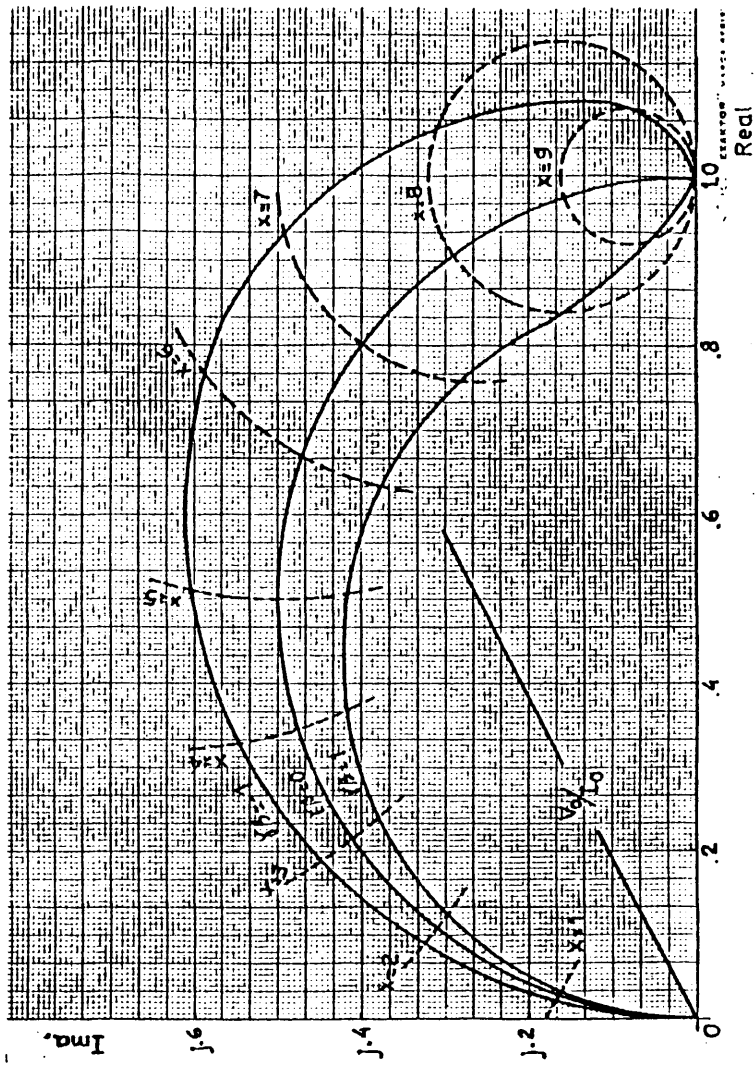


Fig. 4.8 LUGAR GEOMETRICO DE LA IMPEDANCIA NORMALIZADA PARA UNA LAMPARA FLUORESCENTE

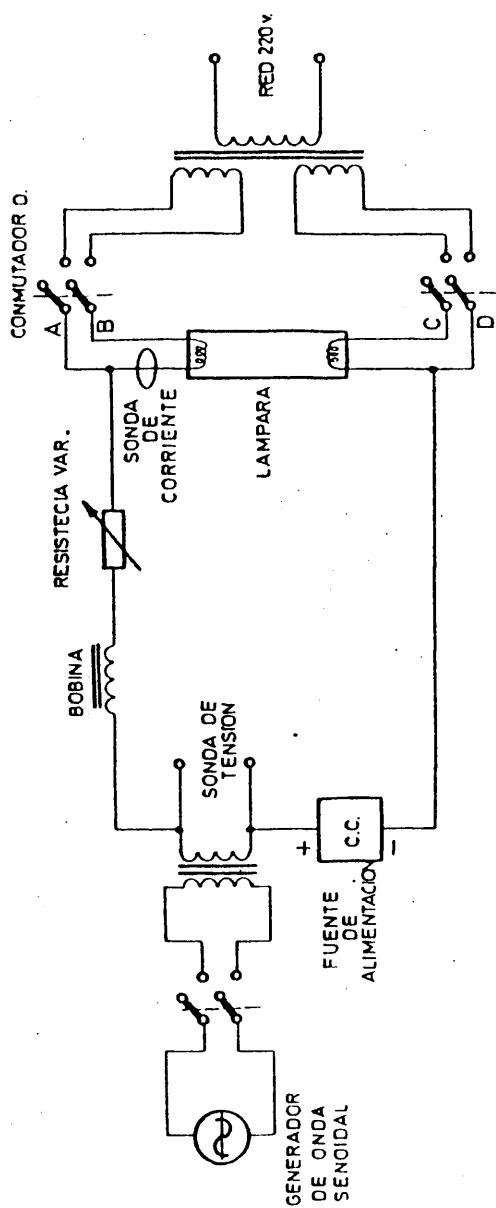


Fig.4-9 Circuito de medida del lugar geométrico de la impedancia de una lámpara de descarga de 110 w. A.R.



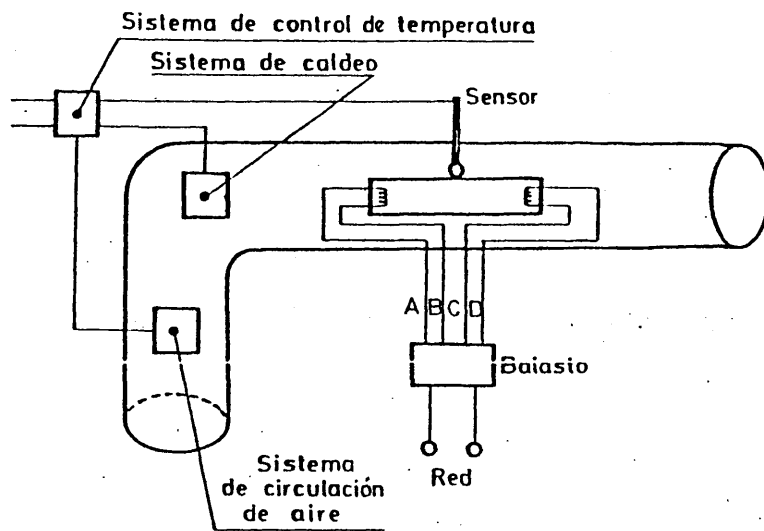


Fig.-49(a) Dispositivo para la regulación de la temperatura de pared del tubo

Lámpara 40 w.
 $I_0 = 418 \text{ mA}$
 $V_0 = 96 \text{ V}$
 $T_{\text{pared}} = 35^\circ\text{C}$

$r' = 780 \Omega$
 $\frac{1}{2} \tau' = 11900 \text{ rad./seg.}$
 $\beta = 5950$

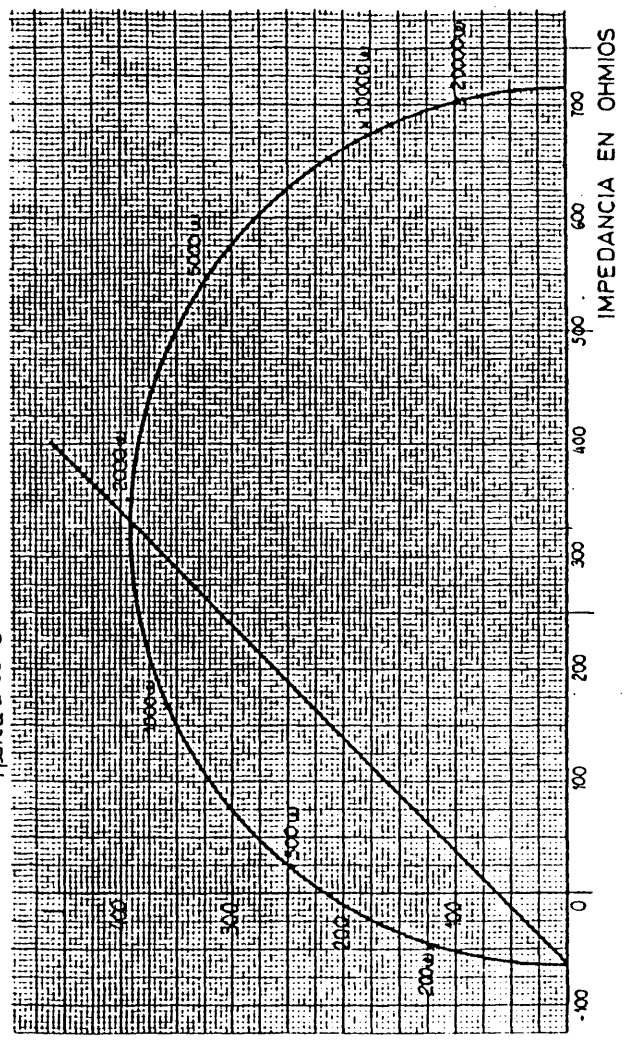


Fig. 4.10 LUGAR GEOMETRICO DE LA IMPEDANCIA PARA UNA LAMPARA FLUORESCENTE DE 40 w.

$V_0 = 86 \text{ v.}$
 $I_0 = 1.45 \text{ A.}$
 $T_{\text{pared}} = 40^\circ\text{C}$
 $\beta = 3142 \text{ rad/seg.}$
 $N_0/F = 0.017 \text{ A./v.}$
 $r = 16$
 $r' = 2.08$
 $1/C = 6284$
 $\alpha/F = 0.425$

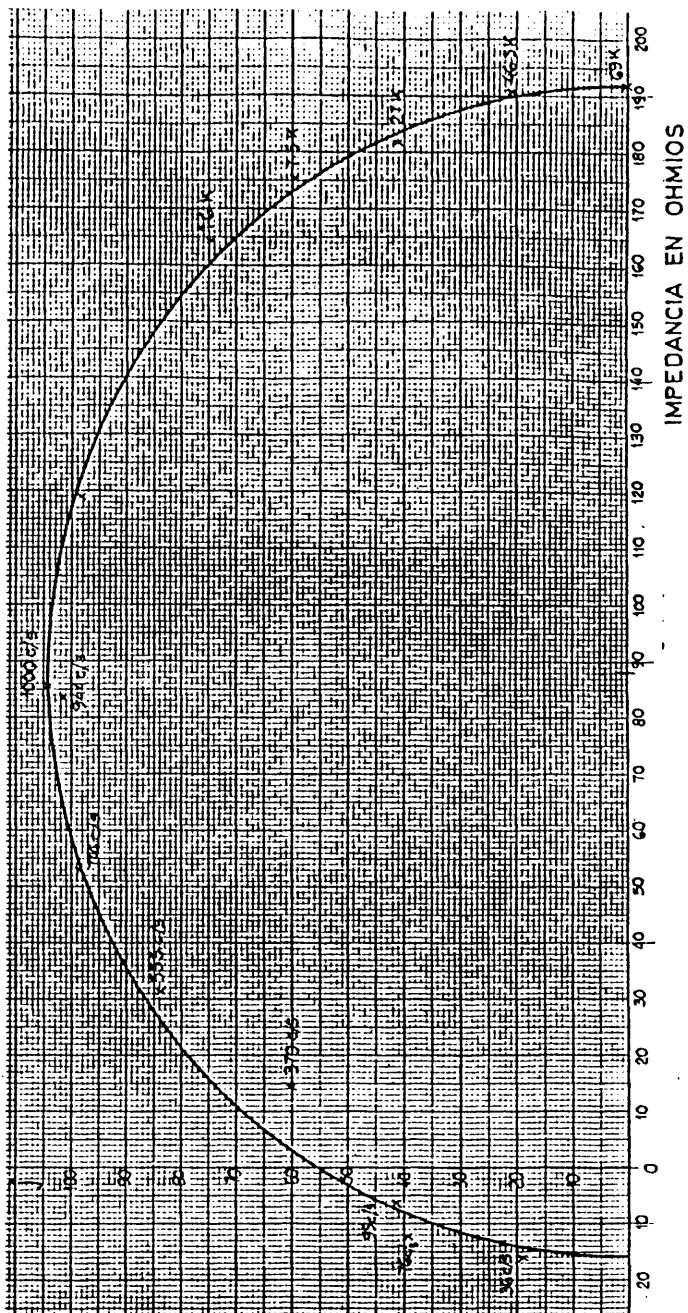


Fig. 4-11 LUGAR GEOMETRICO DE LA IMPEDANCIA PARA LAMPARA FLUORESCENTE 110 w. A.R.

Comparando las graficas de las figs. (4-8) con las graficas de las figs. (4-10) y (4-11) observamos que la impedancia real para una lámpara fluorescente coincide con la grafica teorica para el caso en que $\gamma\beta = 0$ donde la impedancia viene representada por un semicirculo. Partiendo de este supuesto, con ayuda de las graficas de las figs. (4-10) y (4-11) hemos obtenido la tabla (4-1a) y (4-1b).

Lámpara fluorescente de 40 vatios

| I_0 Amp. | V_0 Vol. | T_{pa} °C | $2\beta=1/\zeta$ rad/s | rad/s | α/F Vol ⁻² .S ⁻¹ | N_0/F amp/Vol |
|------------|------------|-------------|---------------------------|-------|--|--------------------|
| 0,418 | 96 | 40 | 11900 | 5950 | 0,67 | $4.35.10^{-3}$ |

TABLA (4-1a)

Lámpara fluorescente de 110 vatios A.R.

| I_0 Amp. | V_0 Vol. | T_{pa} °C | $2\beta=1/\zeta$ rad/s | rad/s | α/F Vol ⁻² .S ⁻¹ | N_0/F amp/Vol |
|------------|------------|-------------|---------------------------|-------|--|--------------------|
| 1,450 | 86 | 40 | 6284 | 3142 | 0,425 | 17.10^{-3} |

TABLA (4-1b)

El valor de V se ha fijado en 220V. con esta condición y para la lámpara de 40 vatios el valor de R (donde R es la re-

sistencia empleada como balasto en serie con la lámpara) es de 286 ohmios, para una corriente de lámpara de $I_0 = 0.418$ amperios. En el caso de una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. y para una corriente de lámpara de 1.45 amperios R tomará un valor de 91 ohmios.

4.4.2. Simulación.

La simulación de la lámpara se ha realizado mediante el programa CAN. Este programa consta de un traductor de lenguaje de descripción de problemas de cálculo analógico y un emulador de una calculadora de este tipo (34).

El diagrama de bloques para la simulación analógica de la lámpara se representa en la fig. (4-12) y el listado obtenido mediante el CAN correspondiente a dicho diagrama en general, aparece en el apéndice A.

4.4.3. Resultados obtenidos en la simulación.

A partir del listado general hemos llevado a cabo las sustituciones que se indican en la tabla (4-2).

| Potencia de lámpara | R.K. OHMS | ALFA/F.1.E ⁻³ Vol ⁻² . ms ⁻¹ | BETA rad/ms | V.P.P. |
|---------------------|-----------|--|----------------|--------|
| 40 vatios | 0,286 | 0,00067 | 5.950 | 311.13 |
| 110 vatios | 0,091 | 0,000425 | 3.142 | 311.13 |

TABLA (4-2)

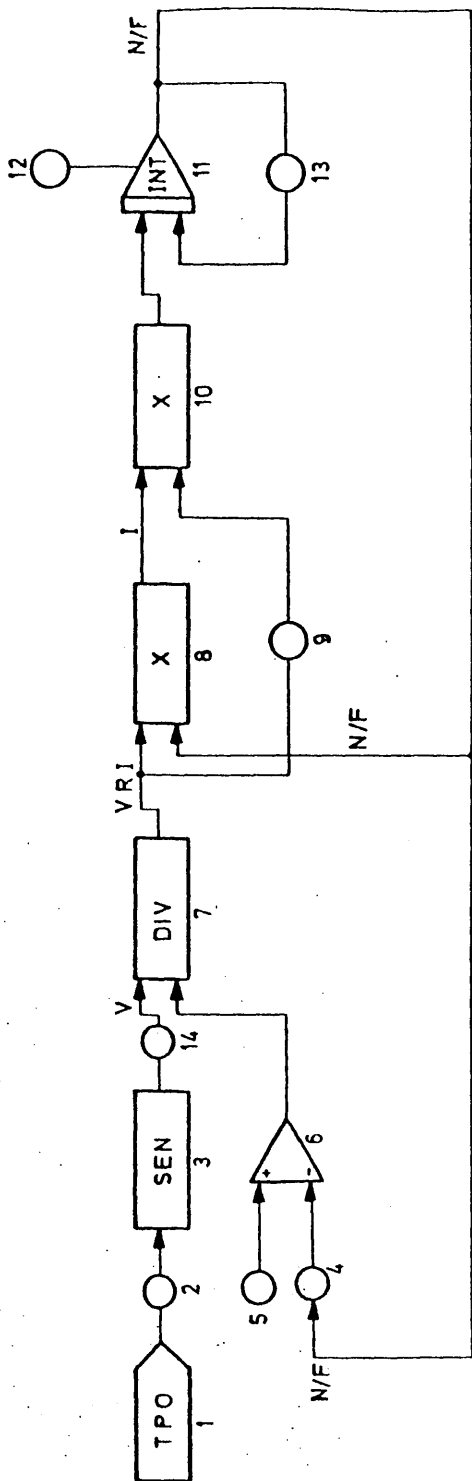


Fig-4-12 Simulación analógica de una lámpara fluorescente de 40w. -Diagrama de bloques-

Con estos datos se han obtenido los valores de las variables V.I. N/F en función del tiempo que se ven en los listados a, b que aparecen en el apéndice A.

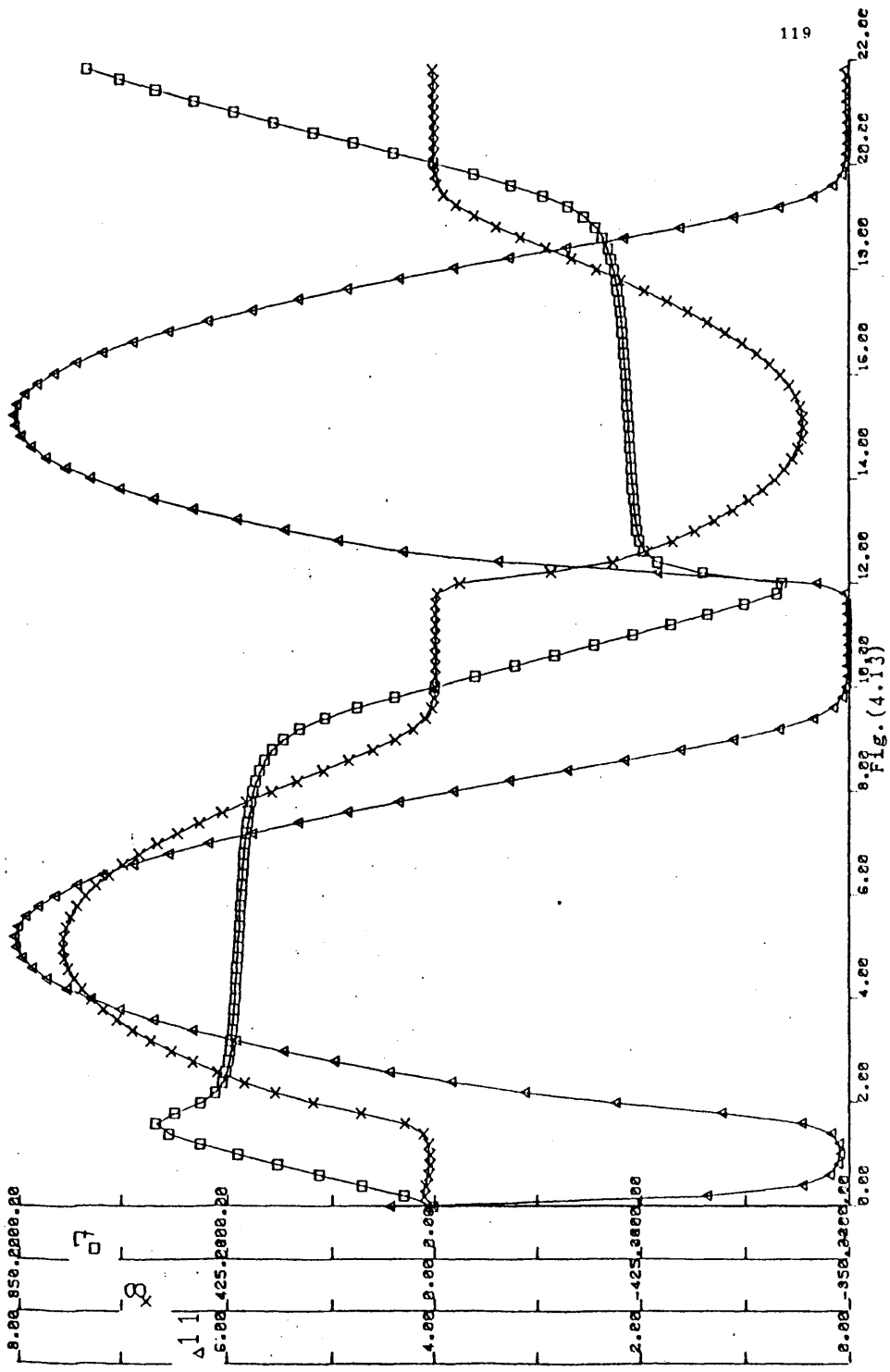
El listado (a) corresponde a la simulación de una lámpara fluorescente de 40 vatios y el (b) corresponde a una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. estos valores se representan en las figuras (4-13a) y (4-14a) respectivamente donde las curvas vienen caracterizadas de la siguiente forma:

□ Tensión; X Corriente Δ N/F

4.4.4. Comparación de los resultados con las gráficas obtenidas experimentalmente.

Partiendo de las gráficas (4-13a) y (4-14a) obtenidas por simulación y comparándolas con las gráficas (4-15) y (4-16) obtenidas experimentalmente, se observa que la forma de onda de la tensión coincide en la gráfica real y en la simulada, la ligera discrepancia en el valor de la tensión es debida a que el tubo utilizado para determinar las constantes α/F y β no es el mismo que se ha empleado para obtener la gráfica experimental, no obstante son del mismo tipo, debido a la dificultad de encontrar en el mercado dos tubos de características idénticas.

Comparando las ondas de corriente simulada y experimental, los valores en cada punto son muy similares debido a que los tubos no son idénticos, la discrepancia en cuanto a la



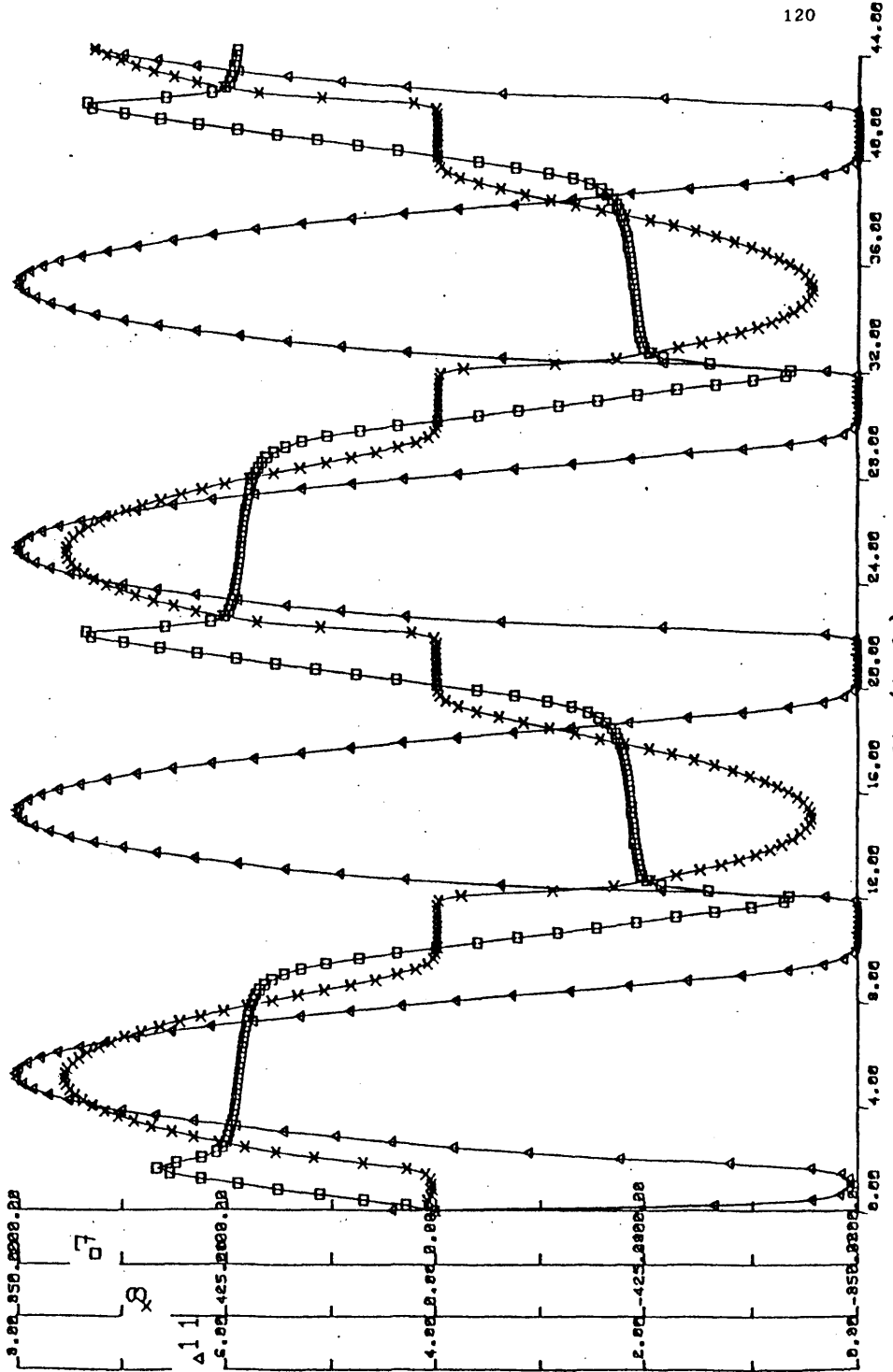


Fig. (4.13a)

□

x

Δ11

24.00 1300.000. 0

16.00 00.00 0.0

8.00 1300.00 00

0.00 2600.00

0.00

2.00

4.00

.00

8.00

10.00

12.00

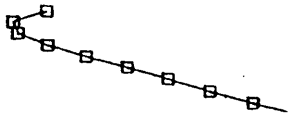
14.00

16.00

18.00

20.00

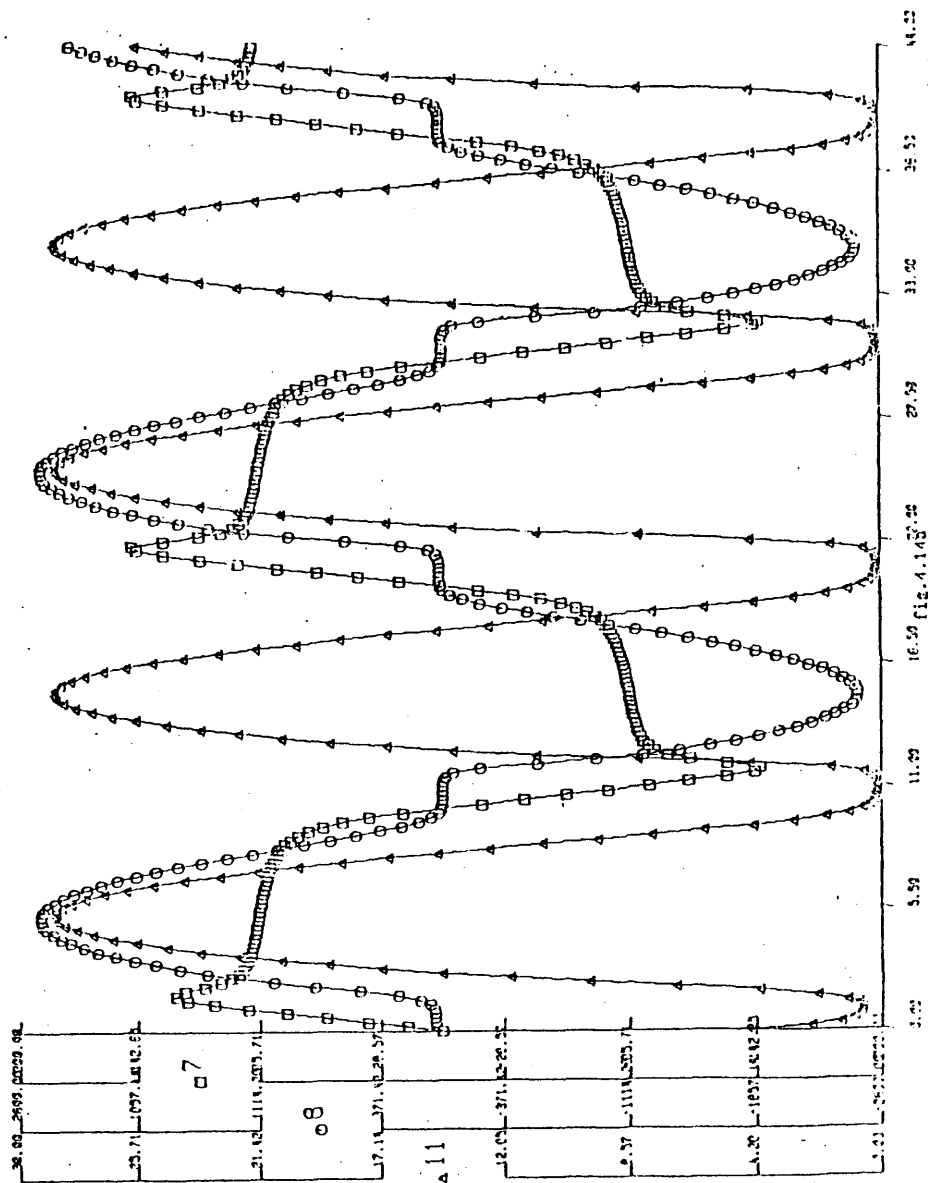
2.00



121



Fig. (4.14)



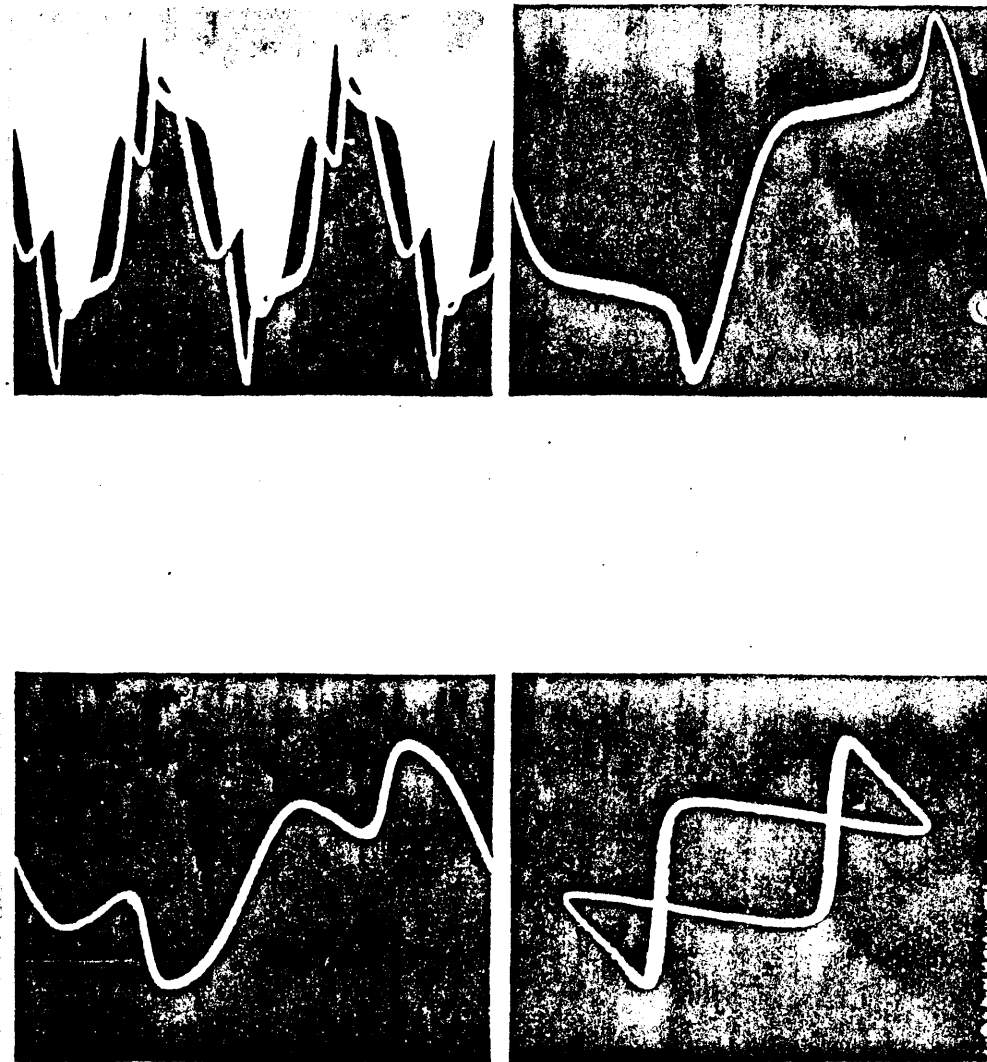


Fig. (4-15)

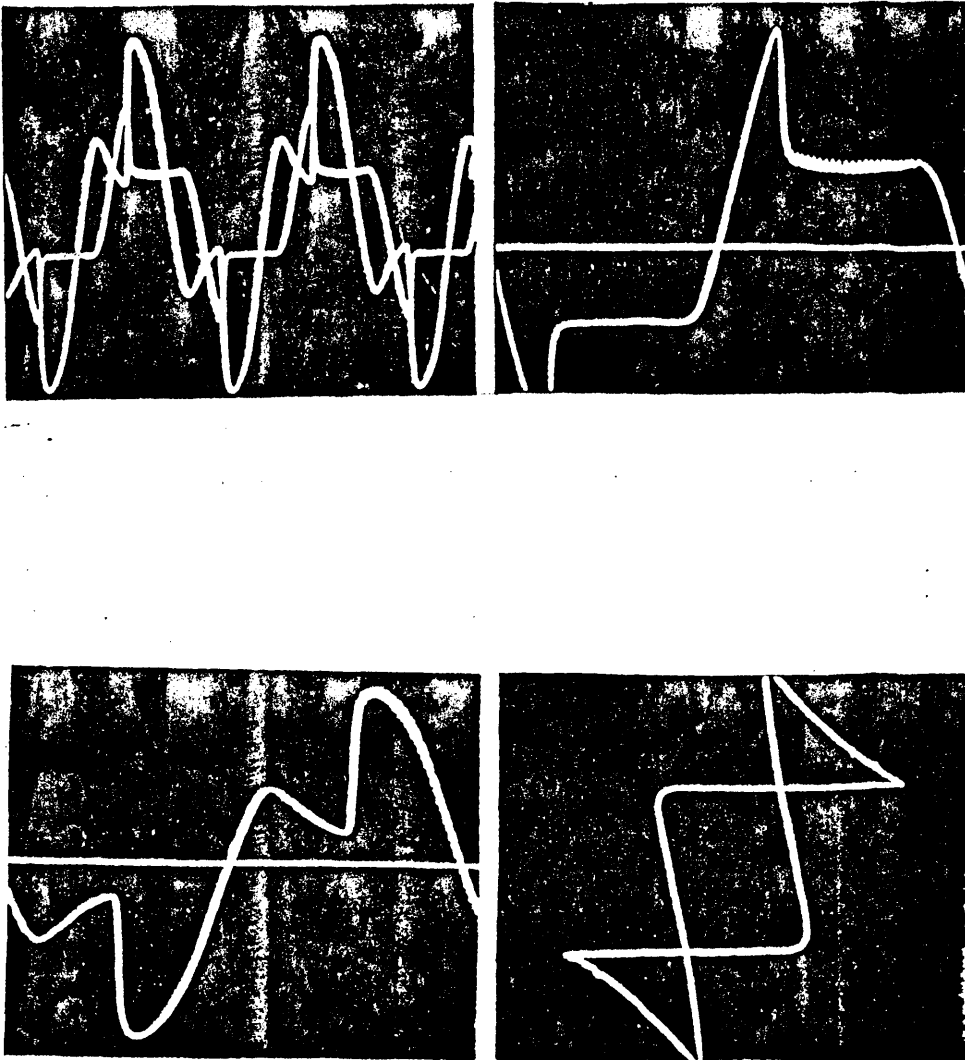


Fig. (4-16)

Forma de onda de la tensión y corriente de una lámpara de 110 vatios con balasto resistivo.

forma de onda puede ser consecuencia de que la resistencia serie empleada como balasto no es una resistencia pura, que sería el caso ideal.

4.4.5. Estudio del comportamiento del modelo cuando el balasto en serie está formado por una L y una R.

A partir de las constantes α/F y β determinadas en 4.4.1. y utilizando el mismo programa de simulación hemos estudiado el comportamiento de un tubo fluorescente de 110 w. A.R. alimentado con una tensión senoidal y empleando un balasto patrón diseñado especialmente y comprobado experimentalmente cuyas características son $L = 450$ mH; $R = 75$ ohmios, el diagrama de bloque de la simulación analógica del sistema se representa en la fig. (4-17) y el listado obtenido mediante el CAN correspondiente al diagrama de bloque queda de la forma que aparece en el apéndice B.

En el desarrollo del listado de datos se ha comprobado la existencia de un transitorio como se puede ver en el gráfico (a) apéndice B, donde observamos que a partir de los 280 milisegundos el sistema se estabiliza. Tomando los valores de las variables I , V y N/F en el instante 280 milisegundos como datos iniciales del programa CAN obteniéndose la gráfica de la fig. (4-18) y el listado general de datos lo tenemos en el apéndice B apartado b, si comparamos estos resultados con la gráfica de la fig. (4-19) obtenida experimentalmente podemos comprobar que la forma de onda de la tensión y de la corriente en am-

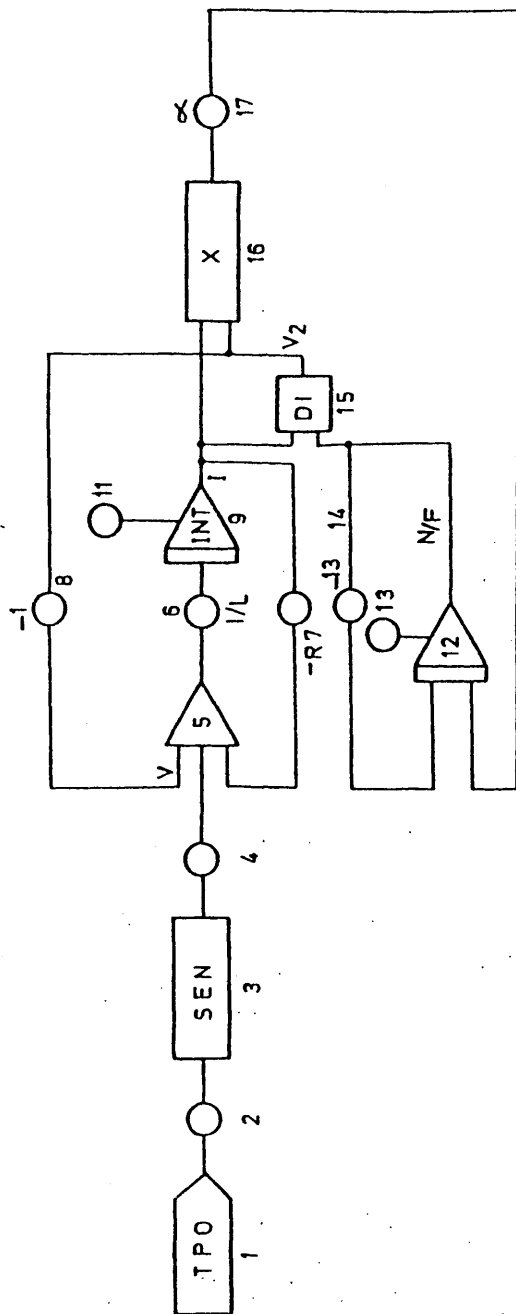
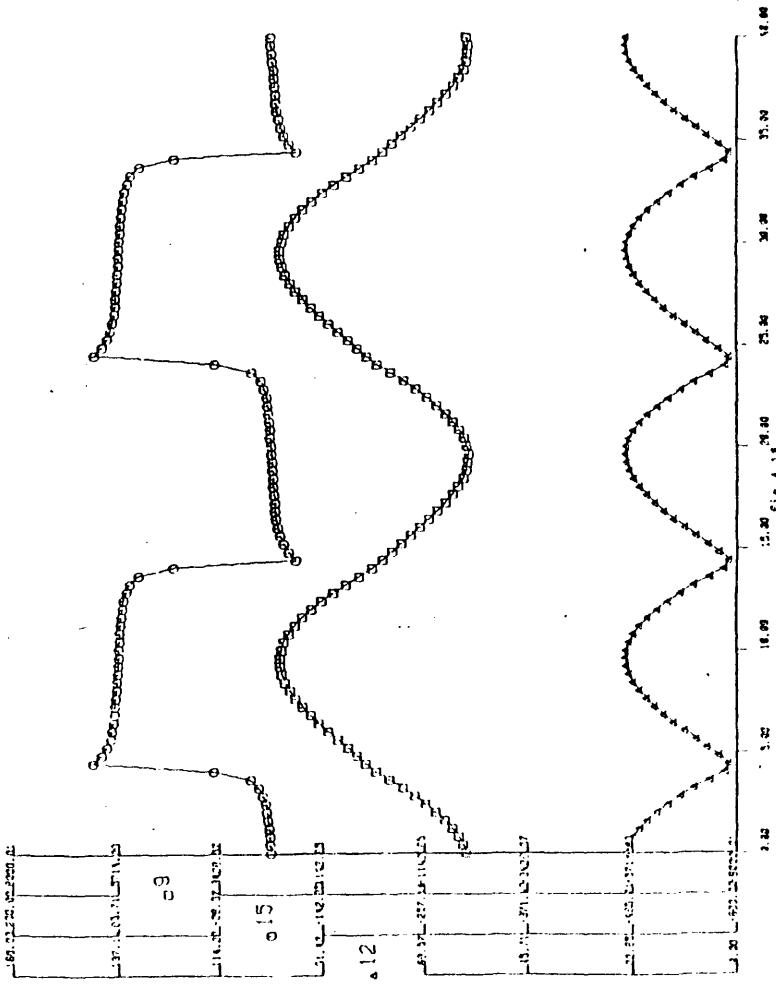
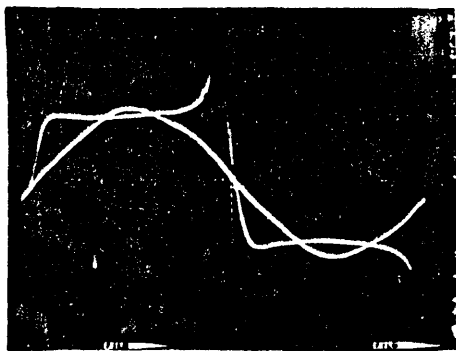


Fig.-4-17 Simulación analógica de una lámpara fluorescente de 110W.A.R con L y R en serie.— Diagrama de bloques.





(Fig. 4-19) Característica de la forma de onda de tensión y de corriente para una lámpara de 110w AR.

Los casos son idénticos y en cuanto a los valores instantáneos de la tensión y de la corriente presentan unas diferencias entre los valores calculados con el programa CAN y los obtenidos experimentalmente, que son del orden del 5%. En este caso el modelo representa el comportamiento de la lámpara fluorescente con más precisión que cuando se emplea una resistencia en serie.

4.5. Forma generalizada de la ecuación diferencial de una lámpara fluorescente.

Si en los supuestos establecidos en (4-3) admitimos que la producción de electrones libres es proporcional, no a la potencia instantánea de la lámpara, sino a la corriente que circula a través de la lámpara y a una función $f(v)$ de la tensión entre los electrodos de la lámpara, estamos en condiciones de escribir la ecuación diferencial: (85)

$$\frac{dN}{dt} = i f(v) - \beta N \quad (4-16)$$

que con la ayuda de la ecuación (2-18) podemos llegar a una ecuación cuyas variables son V e i una vez eliminada la variable N llegamos a la ecuación (4-17)

$$i = V \frac{i_0}{V_0} e^{\int_0^t \left[\frac{vf(v)}{F} - \beta \right] dt}$$

(4-17)

La función $f(V)$ dependerá en cada caso del tipo de lámpara y la hemos de determinar experimentalmente, si bien se han de fijar las siguientes condiciones:

- a) Para dos alternancias sucesivas las graficas correspondientes a N/F y $d.N/F/dt$ han de ser idénticas.
- b) Siendo $1/F \frac{dN}{dt}$ función de i y de $f(V)$ si consideramos que $d.N/F/dt$ y para e un semiciclo y para t positivo es idéntico a $d.N/F/dt$ en otro semiciclo para t negativo, podremos escribir que:

$$i f(V) = (-i) f(-V) \quad (4-18)$$

luego:

$$f(V) = -f(-V) \quad (4-19)$$

- c) En condiciones de equilibrio dinámico, las formas de onda correspondientes a la tensión y a la corriente se han de repetir con un periodo T , por tanto se ha de cumplir que:

$$V(t) = V(t + T) = -V(t + T/2) \quad (4-20)$$

$$i(t) = i(t + T) = -i(t + T/2) \quad (4-21)$$

A partir de la ecuación (4-17) llegamos a la condición de estabilidad dinámica representada por la ecuación (4-22).

$$\int_0^{T/2} \left(\frac{v f(v)}{F} - \beta \right) dt = 0 \quad (4-22)$$

las ecuaciones (4-18) y (4-22) dan la información suficiente para poder definir $f(v)$ de tal forma que si $f(v)$ la representamos como una serie de potencias la función $f(v)$ será una función impar de la forma:

$$f(v) = \sum_{i=1}^m A_i v^{2i-1} \quad (4-23)$$

de esta forma si suponemos que $f(v) = av + bv^3$ y sustituimos en la ecuación (4-22) tendremos:

$$\frac{a}{F} \int_0^{T/2} v^2 dt + \frac{b}{F} \int_0^{T/2} v^4 dt = \frac{T}{2} \beta \quad (4-24)$$

donde a/F y b/F son constantes que se obtienen calculando las integrales v^2 y v^4 a partir de casos concretos.

4.5.1. Determinación de las constantes a/F y b/F .

Hemos estudiado el caso concreto de un tubo fluorescente de 110 vatios A.R. el cual se ha alimentado de tal forma

que en todo momento la potencia suministrada al sistema se ha mantenido constante, así mismo las medidas se han llevado a cabo manteniéndose constante la temperatura de pared del tubo. En estas condiciones, para realizar las medidas de la tensión de lámpara, hemos utilizado un balasto patrón tipo inductivo y un balasto formado por una resistencia respectivamente. A partir de estos datos hemos obtenido las graficas de las figuras (4-20) y (4-21) que como se puede observar presentan formas de onda, para la tensión de lámpara muy diferentes, debido al tipo de elemento regulador que se ha empleado.

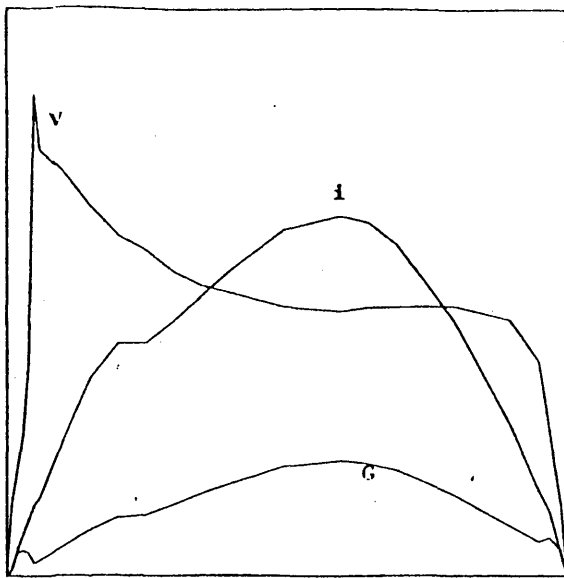
Tomando los valores instantaneos obtenidos de las graficas de tensión de las figuras (4-20) y (4-21) se han calculado las integrales de V^2 y V^4 en un semiperiodo para los dos casos. El metodo seguido para esta integración ha sido el de los trapecios, en el apendice C, apartado a se muestra el listado y el programa usado.

Tomando los valores de V^2 y V^4 obtenidos para el caso de un balasto inductivo y resistivo respectivamente y haciendo uso del valor de la constante β calculada en 4.4.1. planteamos el siguiente sistema de dos ecuaciones con dos incognitas representadas para a/F y b/F .

$$\frac{a}{F} 467.10^2 + \frac{b}{F} 652.10^8 = 31,42$$

$$\frac{a}{F} 722.10^2 + \frac{b}{F} 453.10^8 = 31,42$$

(4-25)

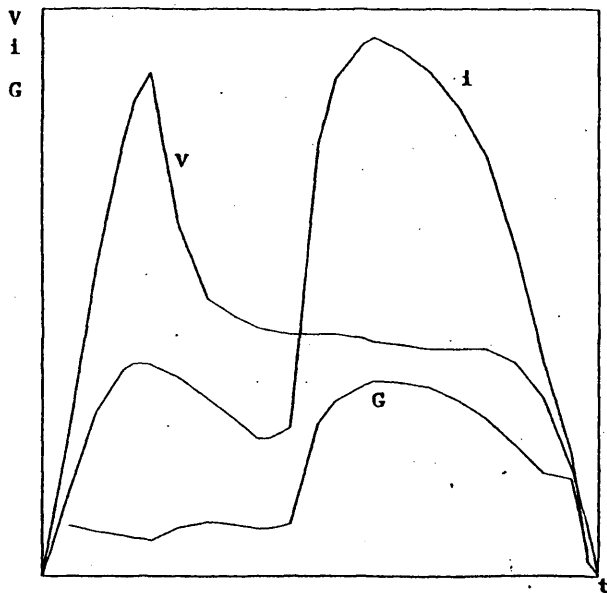


$0.467E+05 v^2$
 $0.652E+11 v^1$
 $0.753E+17 v^6$

$0.133E+02$
 $0.230E+04$
 $0.275E+06$

| t.m.s. | Vol | Amp. | Amp/Vol |
|--------|--------|-------|------------|
| 0.0 | 0.00 | 0.000 | 0.0000E+00 |
| 0.1 | 25.00 | 0.025 | 0.1000E-02 |
| 0.2 | 37.50 | 0.100 | 0.2667E-02 |
| 0.3 | 50.00 | 0.150 | 0.3000E-02 |
| 0.4 | 75.00 | 0.200 | 0.2667E-02 |
| 0.5 | 170.00 | 0.250 | 0.1471E-02 |
| 0.6 | 150.00 | 0.275 | 0.1833E-02 |
| 1.0 | 142.50 | 0.475 | 0.3333E-02 |
| 1.5 | 130.00 | 0.700 | 0.5385E-02 |
| 2.0 | 120.00 | 0.825 | 0.6875E-02 |
| 2.5 | 115.00 | 0.825 | 0.7174E-02 |
| 3.0 | 107.50 | 0.900 | 0.8372E-02 |
| 3.5 | 102.50 | 0.988 | 0.9639E-02 |
| 4.0 | 100.00 | 1.075 | 0.1075E-01 |
| 4.5 | 97.50 | 1.150 | 0.1179E-01 |
| 5.0 | 95.00 | 1.225 | 0.1289E-01 |
| 6.0 | 93.75 | 1.275 | 0.1360E-01 |
| 6.5 | 95.00 | 1.250 | 0.1316E-01 |
| 7.0 | 95.00 | 1.175 | 0.1237E-01 |
| 8.0 | 95.00 | 0.900 | 0.9474E-02 |
| 9.0 | 90.00 | 0.525 | 0.5833E-02 |
| 9.5 | 75.00 | 0.300 | 0.4000E-02 |
| 9.7 | 50.00 | 0.225 | 0.4500E-02 |
| 9.9 | 25.00 | 0.075 | 0.3000E-02 |
| 10.0 | 0.00 | 0.000 | 0.0000E+00 |

Fig. (4-20)



$0.722E+05 v^2$
 $0.453E+11 v^1$
 $0.251E+17 v^6$

$0.224E+02$
 $0.743E+04$
 $0.191E+07$

| t.m.s. | Vol | Amp | Amp/Vol |
|--------|--------|-------|------------|
| 0.0 | 0.00 | 0.000 | 0.0000E+00 |
| 0.5 | 50.00 | 0.300 | 0.6000E-02 |
| 1.0 | 108.70 | 0.575 | 0.5290E-02 |
| 1.5 | 152.50 | 0.725 | 0.4754E-02 |
| 1.7 | 167.40 | 0.750 | 0.4480E-02 |
| 2.0 | 177.50 | 0.745 | 0.4197E-02 |
| 2.5 | 122.50 | 0.700 | 0.5714E-02 |
| 3.0 | 97.50 | 0.625 | 0.6410E-02 |
| 3.5 | 91.25 | 0.550 | 0.6027E-02 |
| 3.9 | 87.50 | 0.485 | 0.5543E-02 |
| 4.1 | 86.50 | 0.485 | 0.5607E-02 |
| 4.5 | 85.00 | 0.525 | 0.6176E-02 |
| 5.0 | 85.00 | 1.525 | 0.1794E-01 |
| 5.3 | 85.00 | 1.750 | 0.2059E-01 |
| 5.8 | 83.78 | 1.875 | 0.2238E-01 |
| 6.0 | 82.50 | 1.900 | 0.2303E-01 |
| 6.5 | 81.40 | 1.850 | 0.2273E-01 |
| 7.0 | 80.00 | 1.775 | 0.2219E-01 |
| 7.5 | 80.00 | 1.650 | 0.2062E-01 |
| 8.0 | 80.00 | 1.475 | 0.1844E-01 |
| 8.5 | 75.00 | 1.150 | 0.1533E-01 |
| 9.0 | 62.50 | 0.750 | 0.1200E-01 |
| 9.5 | 37.50 | 0.425 | 0.1133E-01 |
| 9.8 | 17.50 | 0.050 | 0.2857E-02 |
| 10.0 | 0.00 | 0.000 | 0.0000E+00 |

Fig.(1-21)

resuelto el sistema se han obtenido los siguientes valores:

$$\frac{a}{F} = 24 \times 10^{-5} \text{ Vol}^{-2} \text{ S}^{-1}$$

$$\frac{b}{F} = 309 \times 10^{-12} \text{ Vol}^{-4} \text{ S}^{-1}$$

de esta forma tendremos la función

$$\frac{f(V)}{F} = 24 \times 10^{-5} V + 309 \times 10^{-12} V^3 \quad (4-26)$$

4.5.2. Simulación y comparación de resultados.

Empleando el mismo sistema que en 4.4.2. y teniendo en cuenta la función representada por (4-26) se ha realizado el diagrama de bloque de la fig. (4-22) para la simulación analógica de una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. utilizando un balasto resistivo en serie. El listado obtenido mediante el CAN aparece en el Apendice D apartado a.

El listado de datos aparece en el Apendice D apartado a, partiendo de los valores de V, I y N/F obtenidos en la simulación, se han representado gráficamente las tres variables cuyas formas de onda aparecen en la fig. (4-23).

Comparando los valores obtenidos en la simulación para una lámpara de 110 vatios A.R. a partir de la función $f(V)$ y las calculadas para la misma lámpara en el caso más sencillo en que $f(V)$ queda reducida a $f(V) = \propto V$ fig. (4-14) y listado

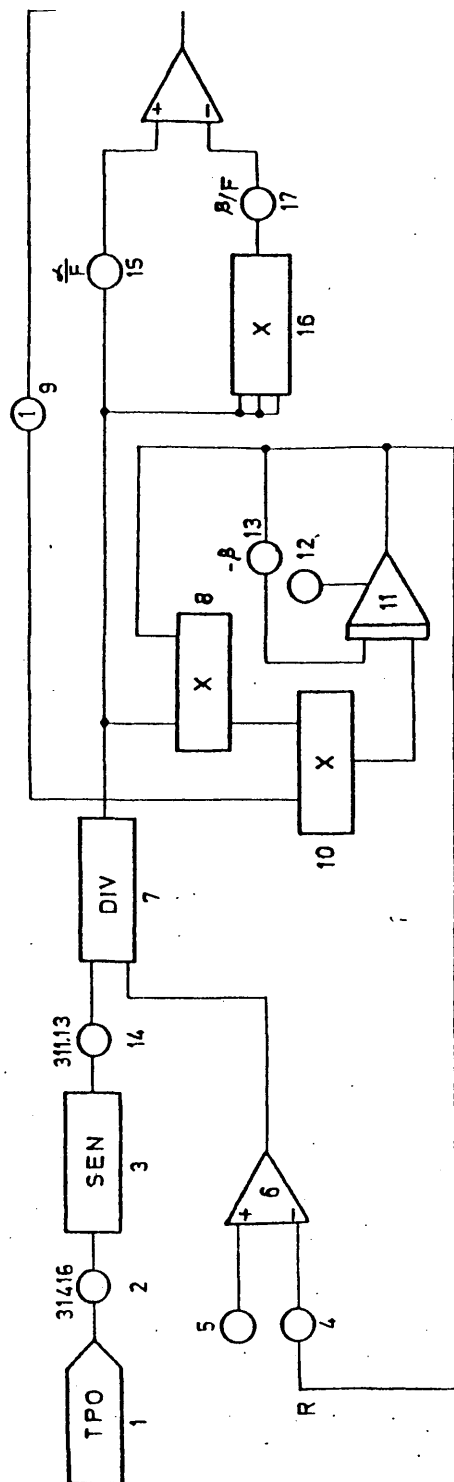


Fig.- 4-22 Simulación analógica de una lámpara fluorescente de 110 W.A.R. con $f(V)$ y resistencia en serie.- Diagrama de bloques.

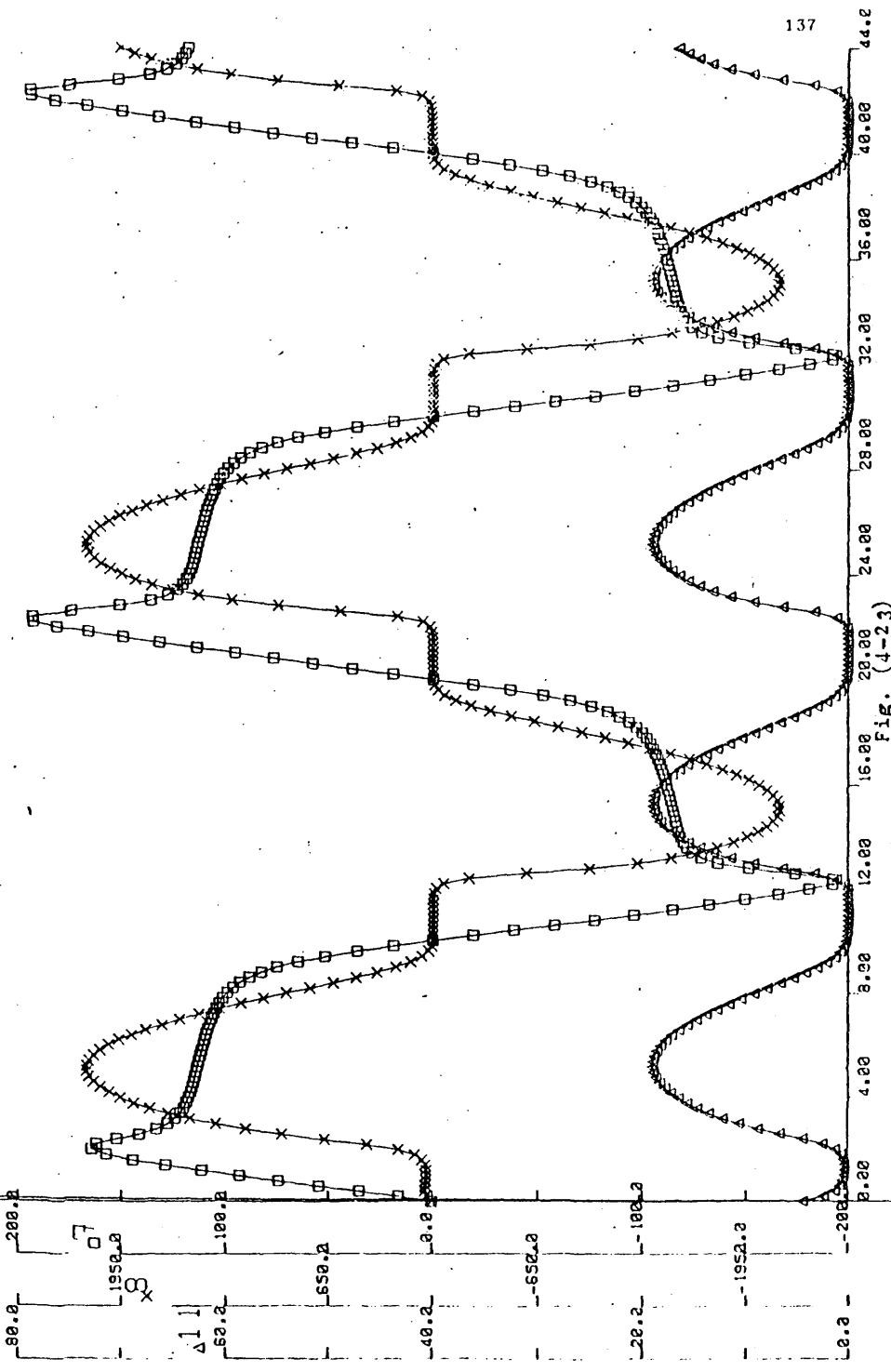


Fig. (4-23)

b, apéndice A, con la gráfica real obtenida experimentalmente se observa que esta nueva aproximación a partir de la función $f(V)$ es mucho más perfecta como lo demuestra una mayor semejanza entre las formas de onda de tensión y de corriente simuladas con las formas de onda obtenidas experimentalmente, al mismo tiempo, que hay una mayor concordancia con los valores instantáneos de V e I .

4.5.3. Comportamiento del modelo con función $f(V)$ y balasto en serie con la lámpara formado por una L y una R .

Siguiendo el mismo procedimiento empleado en 4.4.5. y utilizando el mismo balasto inductivo se ha procedido a simular el comportamiento de una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. utilizando la función $f(V)$ definida por la ecuación (4-26) con todos estos datos se ha llegado al diagrama de bloques de la fig. (4-24) a partir del cual y con ayuda del CAN como ocurrió en todos los casos anteriores hemos obtenido el listado que aparece en el apéndice D, apartado c. (34).

En el desarrollo del programa se ha comprobado la existencia de un transitorio el cual desaparece al cabo de los 280 milisegundos, a partir de aquí el sistema se estabiliza, habiéndose tomado como datos iniciales los correspondientes a este punto. En base a esto se ha obtenido un listado de valores para las variables V , I y N/F que aparece en el apéndice D, apartado d. Con estos datos se han obtenido las gráficas correspondientes para V , I , N/F que se representan en la fig. (4-25) de la comparación de las formas de onda de tensión y de corriente de la fig.

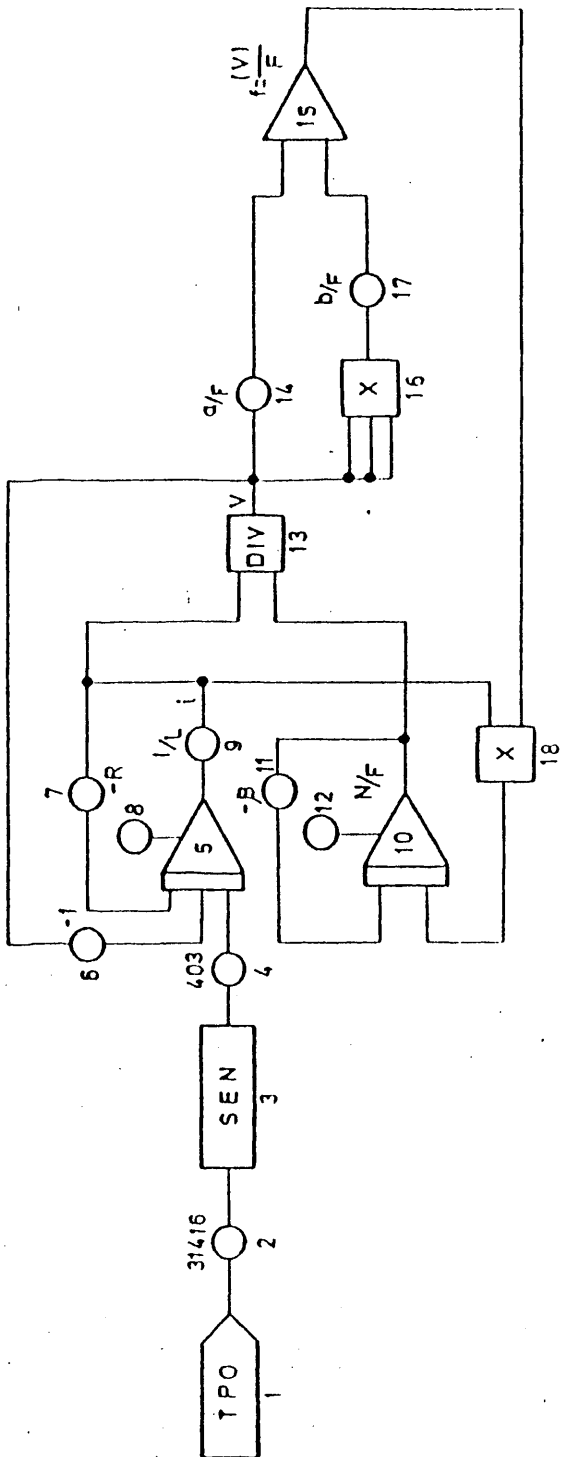


FIG.-4-24 Simulación analógica de una lámpara fluorescente de 110 W.A.R.
 On $f_2(V)/F$ y LYR en serie.- Diagrama de bloques.

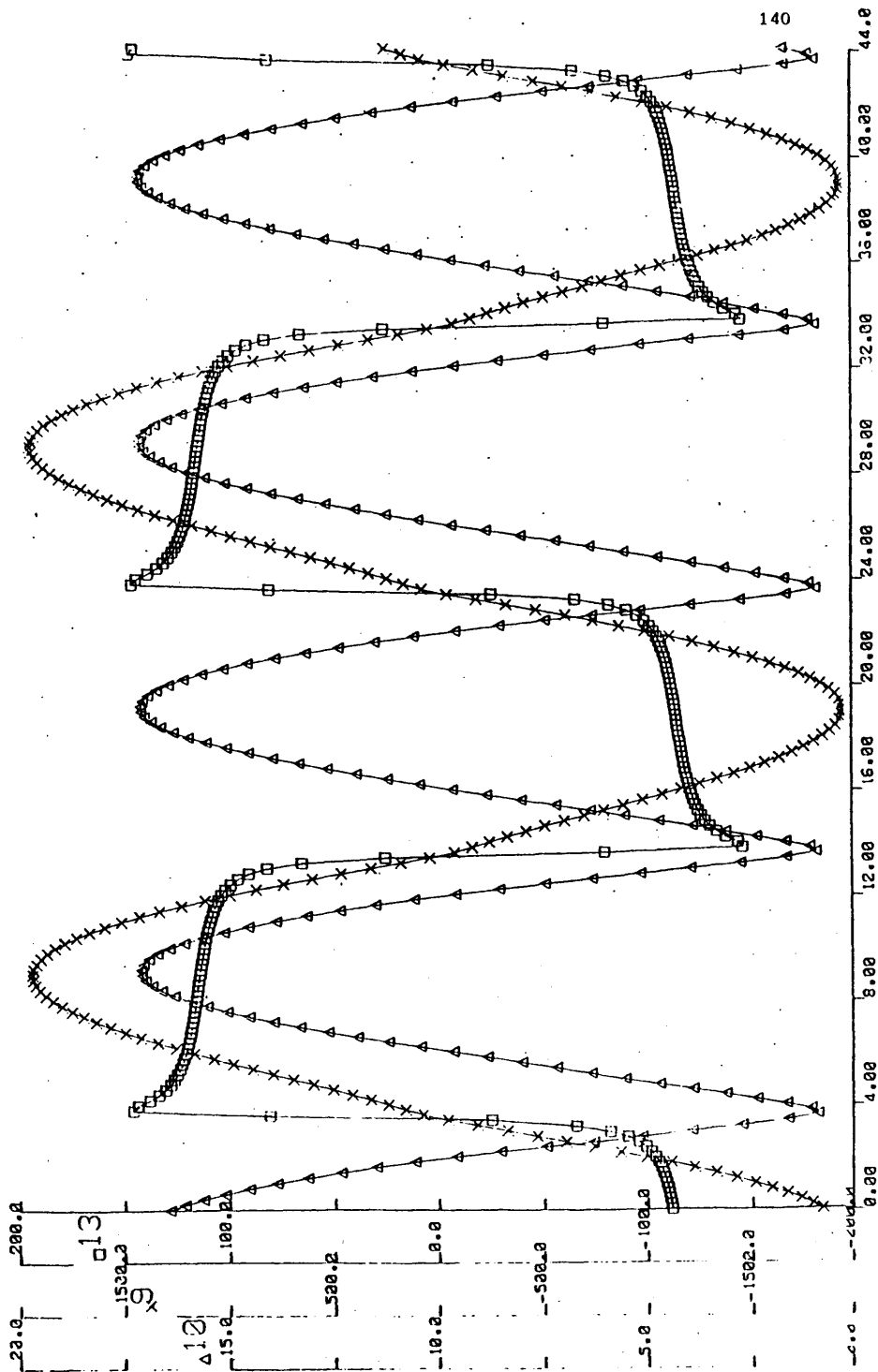


Fig. (4-25)

(4-25) con las de las figuras (4-19) y (4-20). Vemos como las graficas son identicas y los valores de V e I coinciden con los obtenidos experimentalmente, si consideramos el error de medida debido al osciloscopio. Por tanto la aproximación por $f(V)$ y con un balasto inductivo, que es el caso más generalizado, es lo suficientemente buena como para poder hacer un diseño de balasto con una precisión mayor de lo que hasta ahora se venia haciendo tomando como datos de partida la tensión, corriente y potencia de lámpara.

4.6. Modelo de circuito equivalente para una lámpara de descarga teniendo en cuenta las perdidas debidas al fenomeno de recombinación y sometida a una pequeña perturbación de corriente alterna.

En el capitulo hemos hecho referencia a las perdidas de electrones en el seno de la descarga debidas al fenomeno de recombinación, este fenomeno lo podemos representar por la ecuación:



(4-27)

donde:

N_e = densidad de electrones libres

N_i = densidad de iones libres

N_o = densidad de atomos neutros

K = constante de reacción

Admitiendo que en régimen estacionario se verifica que $N_e = N_i$ la contribución a la pérdida de electrones por efecto de recombinación vendrá representada por la expresión

$$\frac{dN}{dt} = -K N^2$$

(4-28)

A las pérdidas debidas al fenómeno de recombinación añadiremos ahora las pérdidas de electrones que tienen lugar en la pared del tubo. Este tipo de pérdidas se pueden poner de manifiesto de diferentes formas:

- a) En el caso de tubos idénticos desde el punto de vista geométrico, cuando los electrones se encuentran con una conductancia elevada a lo largo de la superficie del tubo en su camino hacia el anodo, las pérdidas son proporcionales a la concentración de electrones.
- b) Cuando la carga es neutralizada por iones positivos la ecuación que nos da las pérdidas solo variará en una constante.

Cuando ambos fenómenos se dan al mismo tiempo las pérdidas totales en la pared de la columna positiva vendrán representadas por la ecuación:

$$\frac{dn}{dt} = -aN^2 - bN$$

(4-29)

por tanto la ecuación generalizada que nos representa la varia-

ción total del número de electrones por unidad de tiempo dentro de la columna positiva será de la forma:

$$\frac{dN}{dt} = i f(V) - (K + a) N^2 - bN \quad (4-30)$$

para mayor simplicidad vamos a estudiar el caso más sencillo en que $f(V) = \alpha V$. En este caso la ecuación (4-30) la escribimos de la forma:

$$\frac{dN}{dt} = \alpha VI - \beta N - \gamma N^2 \quad (4-31)$$

Las ecuaciones (2-18) y (4-31) nos van a permitir estudiar el circuito equivalente, teniendo en cuenta que F, α, β, γ son constantes que en cada caso dependerán del tipo de lámpara que se estudie.

Si suponemos que en condiciones estáticas las variables macroscópicas (V, I, N) toman los valores V_0, I_0, N_0 , al someter a la lámpara a una pequeña perturbación de corriente alterna, tendremos que en un instante t las variables (V, I, N) vendrán representadas por las siguientes expresiones:

$$V = V_0 + v$$

$$I = I_0 + i$$

$$N = N_0 + n$$

donde v , i , n , son las variaciones experimentadas por V, I, N , respectivamente como consecuencia de la perturbación introducida.

Sustituyendo los nuevos valores de V, I, N , en la ecuación diferencial anterior llegamos a la siguiente expresión:

$$\frac{dn}{dt} = \alpha(V_0 + v)(I_0 + i) - \beta(N_0 + n) - \gamma(N_0 + n)^2 \quad (4-32)$$

simplificando y una vez despreciados los terminos que por ser poco significativos frente a otros, no introducen grandes modificaciones, llegamos a la ecuación:

$$\frac{dN}{dt} = \alpha V_0 I_0 - \beta N_0 - \gamma N_0^2 + \alpha V_0 i + \alpha v I_0 - n(\beta + 2\gamma N_0) \quad (4-33)$$

como V_0, I_0, N_0 son condiciones estacionarias de funcionamiento se ha verificado

$$0 = \alpha V_0 I_0 - \beta N_0 - \gamma N_0^2 \quad (4-34)$$

y la ecuación diferencial quedaría de la forma:

$$\frac{dn}{dt} = \alpha v I_0 + \alpha v_0 i - (\beta + 2\gamma N_0) n \quad (4-35)$$

procediendo como hasta ahora y sustituyendo en la ecuación (2-18) tendremos:

$$\frac{1}{v_0} i - \frac{I_0}{v_0^2} v = \frac{n}{F} \quad (4-36)$$

tomando transformadas de Laplace en las ecuaciones (4-35) tendremos las siguientes expresiones:

$$\left[(\beta + 2\gamma N_0) + s \right] N(s) = \alpha I_0 V(s) + \alpha v_0 I(s) \quad (4-37)$$

$$\frac{N(s)}{F} = \frac{I(s)}{v_0} - \frac{I_0}{v_0^2} V(s) \quad (4-38)$$

eliminando $N(s)$ entre las ecuaciones (4-37) y (4-38) tendremos:

$$\frac{\alpha \left[I_0 V(s) + v_0 I(s) \right]}{(\beta + 2\gamma N_0) + s} = \frac{v_0 F I(s) - F I_0 V(s)}{v_0^2} \quad (4-39)$$

despues de simplificar y haciendo una transposición de terminos llegamos a una relación entre $V(s)$ e $I(s)$ de la forma:

$$\frac{V(s)}{I(s)} = \frac{\left[(\beta + 2\gamma N_0) + S \right] F - V_0^2 \alpha}{V_0} \bigg/ \frac{\alpha I_0 V_0^2 + \left[(\beta + 2\gamma N_0) + S \right] F I_0}{V_0^2} \quad (4-40)$$

$$\frac{V(s)}{I(s)} = \left[\frac{FV_0 (\beta + 2\gamma N_0) - \alpha V_0^3}{K_1} + SF V_0 \right] \bigg/ \left[\frac{FI_0 (\beta + 2\gamma N_0) + \alpha I_0 V_0^2}{K_2} + SF I_0 \right] \quad (4-41)$$

donde:

$$K_1 = FV_0 (\beta + 2\gamma N_0) - \alpha V_0^3$$

$$K_2 = FI_0 (\beta + 2\gamma N_0) + \alpha I_0 V_0^2$$

si introducimos las constantes:

$$K'_1 = \frac{K_1}{FV_0} \quad \text{y} \quad K'_2 = \frac{K_2}{FI_0}$$

la expresión (4-41) se puede representar por:

$$\frac{V(s)}{I(s)} = \frac{K_1 + SF V_0}{K_2 + SK I_0} = \frac{K_1/FV_0 + S}{K_2/FV_0 + (I_0/V_0)S} = \frac{K'_1 + S}{K'_2 + I_0/V_0 S} \quad (4-42)$$

por tanto la impedancia de la lámpara $Z(s)$ se expresa de la forma:

$$Z(s) = \frac{K'_1 + S}{K'_2 + (I_0/V_0) S}$$

si relacionamos las ecuaciones (4-37) y (4-38) tendremos:

$$\frac{V(s)}{I(s)} = \frac{V_0}{I_0} \frac{S + (\beta + 2\gamma N_0) - (\alpha/F) V_0^2}{S + (\beta + 2\gamma N_0) + (\alpha/F) V_0^2} \quad (4-43)$$

teniendo en cuenta la expresión (4-34) llegamos a la igualdad

$\alpha V_0^2/F = \beta + \gamma N_0$ y sustituyendo en (4-43) queda de la forma:

$$\begin{aligned} \frac{V(s)}{I(s)} &= \frac{V_0}{I_0} \frac{S + (\beta + 2\gamma N_0) - (\beta + \gamma N_0)}{S + (\beta + 2\gamma N_0) + (\beta + \gamma N_0)} = \\ &= \frac{V_0}{I_0} \frac{S + \gamma N_0}{S + 2\beta + 3\gamma N_0} \end{aligned} \quad (4-44)$$

si hacemos $V_0/I_0 = R_0$ y sustituimos en (4-44) tendremos una expresión que nos da la impedancia de la lámpara.

$$Z(s) = R_0 \frac{s + \gamma N_0}{s + (2\beta + 3\gamma N_0)} \quad (4-45)$$

para representar el circuito equivalente correspondiente a la expresión (4-45) ésta la descomponemos de la forma:

$$Z(s) = Z_1(s) + Z_2(s) \quad (4-46)$$

siendo:

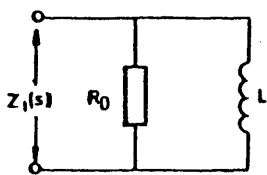
$$Z_1(s) = \frac{R_0 s}{s + (2\beta + 3\gamma N_0)} \quad (4-47)$$

$$Z_2(s) = \frac{R_0 \gamma N_0}{s + (2\beta + 3\gamma N_0)} \quad (4-48)$$

cuyos circuitos equivalentes se representan en las figuras - (4-26) y (4-27) y el circuito equivalente de $Z(s)$, que se re presenta en la fig. (4-28).

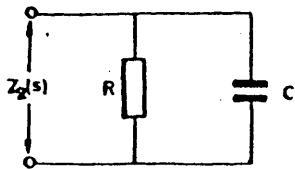
4.7. Modelo matemático de una lámpara fluorescente en función de la conductancia equivalente.

Hasta ahora las ecuaciones diferenciales que hemos



donde $L = \frac{R_0}{2\beta + 3\gamma N_0}$
 $R_0 = \frac{V_0}{I_0}$

Fig.- (4-26) Circuito equivalente de $Z_1(s)$



donde $R = \frac{R_0 \gamma N_0}{2\beta + 3\gamma N_0}$
 $C = \frac{1}{R_0 \gamma N_0}$

Fig.- (4-27) Circuito de equivalente de $Z_2(s)$

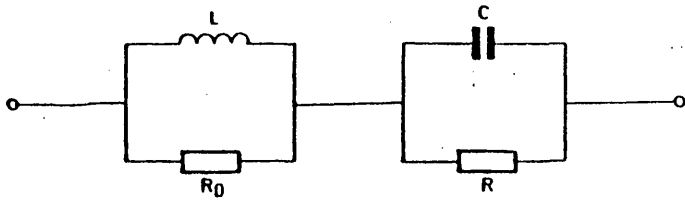


Fig.- (4-28) Circuito equivalente de $Z(s) = Z_1(s) + Z_2(s)$

estudiado expresan el comportamiento de las lámparas de descarga en función de la tensión y de la corriente de lámpara para lo cual se hace necesario conocer los valores instantáneos de V e I .

En este apartado tratamos de llegar a un modelo matemático de una lámpara fluorescente en función de la conductancia G , de la lámpara definida a partir de la ecuación 2-18 como: (33) (72)

$$G = \frac{I}{V} = \frac{N}{F} \quad (2-18a)$$

siendo F una constante.

Relacionando las ecuaciones (2-18a) y (4-31) llegamos a las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dG}{dt} = A \cdot VI - B \cdot G - C \cdot G^2 \quad (4-49)$$

$$\frac{dG}{dt} = A \cdot I^2 / G - B \cdot G - C \cdot G^2 \quad (4-50)$$

donde A , B , C , son constantes que dependerán en cada caso del tipo de lámpara.

En lo sucesivo emplearemos la ecuación (4-50) dado que según hemos podido comprobar experimentalmente, se obtiene una mayor precisión tomando valores de I y de G a partir de -

las graficas experimentales, no sucede lo mismo tomando valores de I, V y G.

4.7.1. Determinación de las constantes del modelo.

Tomando como punto de partida las curvas características de tensión, corriente y conductancia, obtenidas experimentalmente, de una lámpara de descarga. En la fig. (4-29) podemos observar las graficas V e I y la grafica de la conductancia correspondiente a un semiperiodo.

Para la determinación de las constantes A, B y C hemos tomado tres puntos de la grafica de conductancia, en nuestro caso correspondera a los instantes:

$$t_1 = 2.5 \text{ ms}; \quad t_2 = 5.5 \text{ ms} \quad \text{y} \quad t_3 = 9 \text{ ms}$$

a partir de los cuales hemos obtenido la siguiente tabla de valores.

TABLA II. Puntos caracteristicos correspondientes a un tubo fluorescente, de 110 watios A.R.

| t m.s | V vol | I Amp | G Amp/Vol | $\frac{dG}{dt}$ | tg. a | Factor de escala. |
|----------|----------|----------|----------------------|-----------------|--------|----------------------|
| 2.5 | 96 | 1.2 | $12.5 \cdot 10^{-3}$ | 5.495 | 2.7475 | 2 |
| 5.5 | 84 | 1.9 | 22.6210^{-3} | 0 | 0 | 2 |
| 9.0 | 80 | 0.675 | 8.4410^{-3} | -58084 | -29042 | 2 |

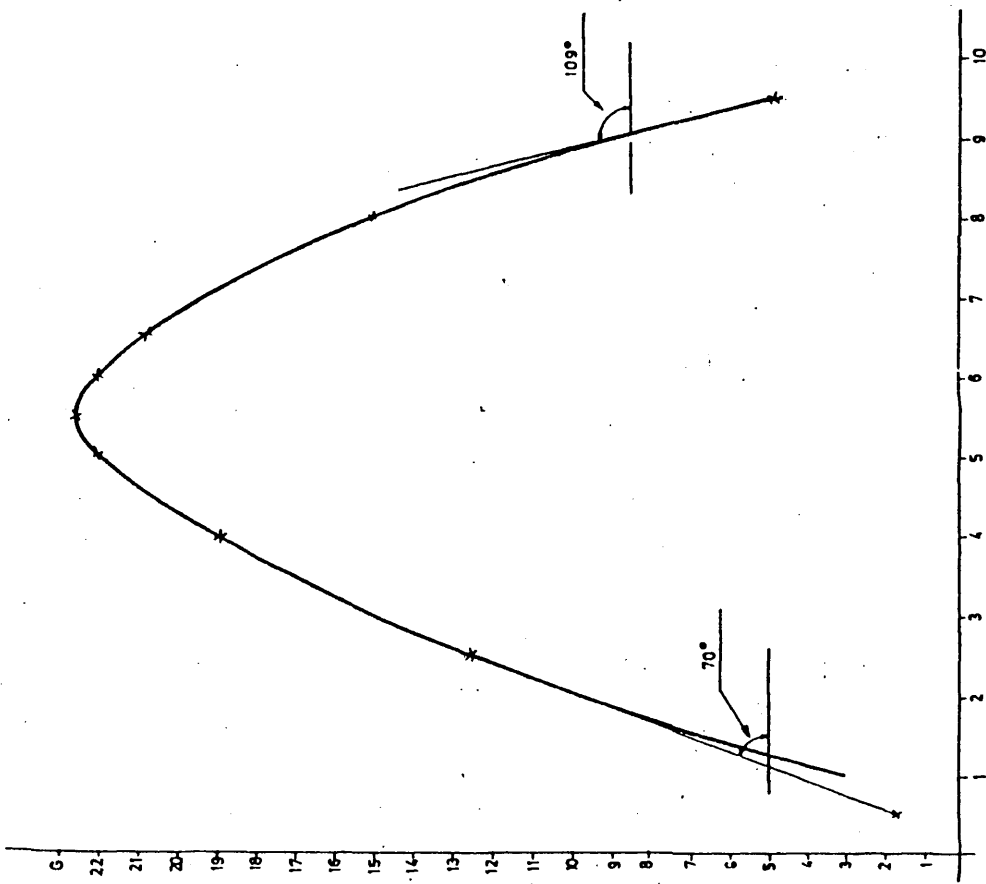


Fig.-4-29 Conductancia de una lámpara fluorescente de 110 w A.R.

sustituidos los valores de V, I, G y dG/dt representados en la tabla II en la ecuación (4-50) se llega al sistema de ecuaciones (4-51).

$$\begin{aligned} 115.2 A - 12.510^{-3} B - 156.2510^{-6} C &= 5.495 \\ 159.6 A - 22.6210^{-3} B - 511.6210^{-6} C &= 0 \\ 54.0 A - 8.4410^{-3} B - 71.1910^{-6} C &= -5810 \end{aligned}$$

(4-51)

que una vez resuelto se han obtenido los siguientes valores:

$$A = 354.23 \times 10^{-3} \text{ Vol}^{-2} \text{ seg.}^{-1}$$

$$B = 3227 \text{ seg.}^{-1}$$

$$C = -32169.3 \text{ Vol. Amp.}^{-1} \text{ seg.}^{-1}$$

una vez sustituidos en la ecuación (4-50) queda de la forma:

$$\frac{dG}{dt} = 354.23 \times 10^{-6} \frac{1}{G} - 3.227G + 321.693 \times 10^{-4} G^2$$

(4-52)

donde las constantes han sido modificadas con el fin de que las unidades sean voltios, miliamperios y milisegundos.

4.8. Simulación del comportamiento de una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. en función de la conductancia G.

Supongamos un circuito formado por un balasto inductivo en serie con una lámpara fluorescente y alimentada por una fuente de corriente alterna, supuesta en principio de tipo senoidal. La ecuación del circuito en función de la conductancia G de la lámpara sería de la forma:

$$V_m \text{ sen } \omega t = L \frac{dI}{dt} + (R + 1/G) I$$

(4-53)

donde $L = 0.570$ henrios es el valor de la autoinducción del balasto y $R = 7.5$ ohmios es la resistencia de pérdidas.

Relacionando entre sí las ecuaciones (2-18a) (4-52) y (4-53) se ha obtenido el diagrama de bloques de la fig. (4-30) para la simulación analógica de la lámpara, haciendo uso del CAN se ha obtenido el correspondiente listado del programa, que aparece en el apéndice E apartado a. El listado de datos aparece en el apéndice E apartado b. (34).

En el desarrollo del programa como ha ocurrido en todos los casos en los cuales aparece una inductancia en serie se ha presentado un transitorio que desaparece después de 280 milisegundos. Una vez conseguida la estabilidad del sistema se han listado los valores correspondientes a las variables $V, I,$ y ϕ y se han representado gráficamente en la fig. (4-31). De la observación de estas gráficas deducimos que las formas de onda de tensión y de corriente de lámpara son coincidentes con las obtenidas experimentalmente. En la tabla III se representan los va-

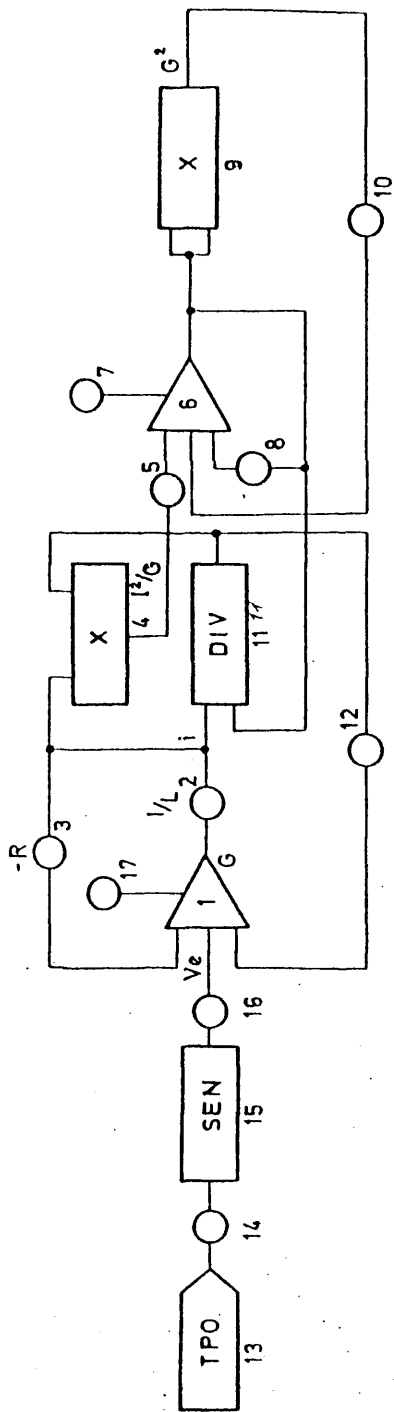


Fig.- 4-30 Diagrama de bloques para la simulación analógica de una lámpara fluorescente en función de la conductancia, G

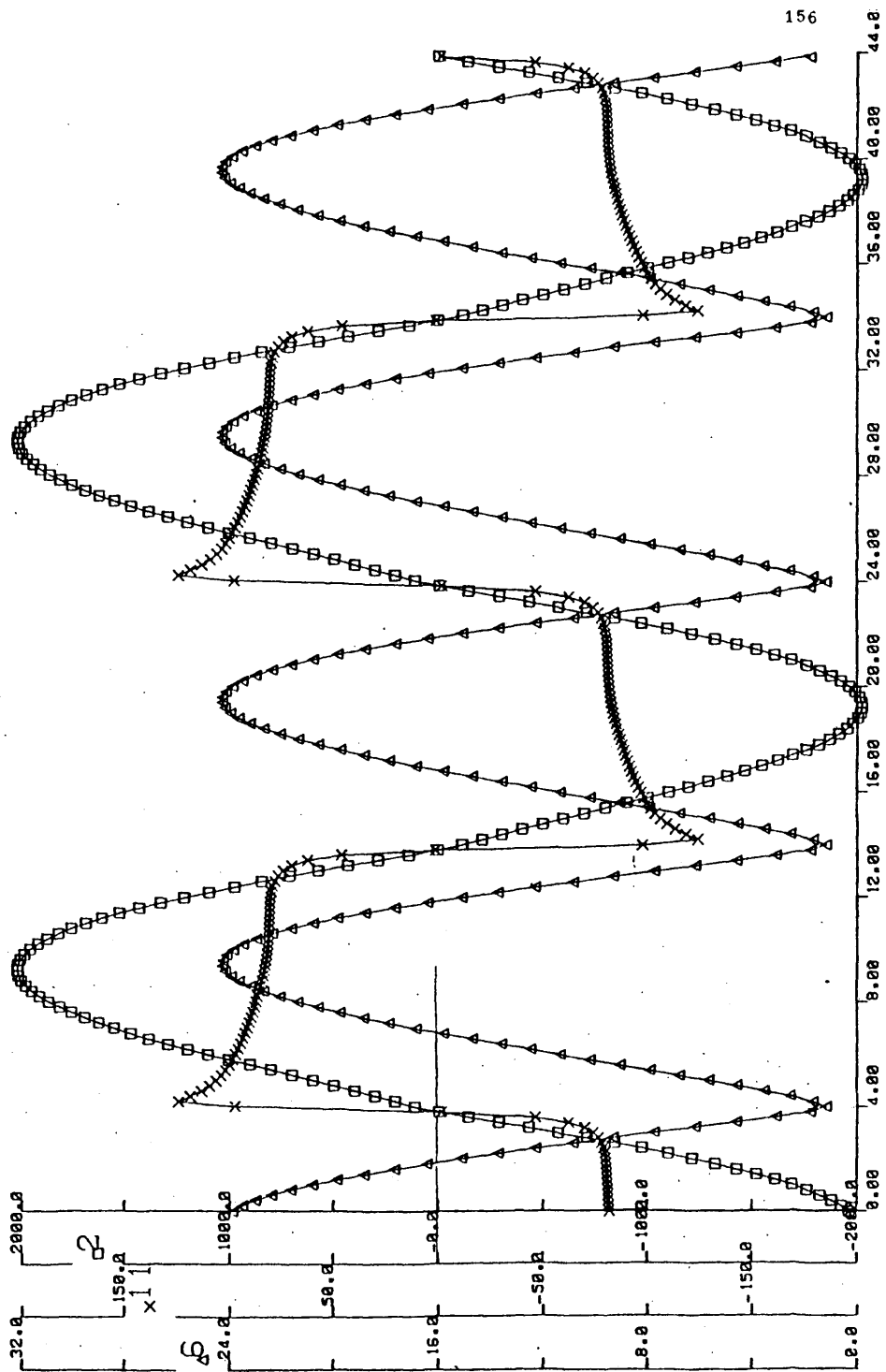


FIG. 4-31

lores de V, I, G obtenidos de lecturas directas sobre el osciloscopio donde los errores de medida estan en torno a:

$$\Delta I = \pm 25 \text{ mA} \quad \Delta V = \pm 1 \text{ Vol.}$$

TABLA III. Valores de V e I obtenidos experimentalmente para una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R.

| t m.seg. ξ^{-1} | I m Amp | V Vol | G m.Amp/Vol |
|------------------------|------------|----------|----------------|
| 5 | 250 | 125 | 2.000 |
| 10 | 475 | 112 | 4.241 |
| 15 | 725 | 105 | 6.904 |
| 20 | 950 | 102 | 9.313 |
| 25 | 1.200 | 96 | 14.500 |
| 30 | 1.425 | 93.5 | 15.241 |
| 35 | 1.600 | | 17.777 |
| 40 | 1.800 | 88 | 20.454 |
| 45 | 1.900 | 87 | 21.839 |
| 50 | 1.975 | 85.4 | 23.235 |
| 55 | 2.000 | 84.5 | 23.668 |
| 60 | 1.950 | 83.0 | 23.493 |
| 65 | 1.850 | 82.0 | 22.561 |
| 70 | 1.725 | 81.5 | 21.166 |
| 75 | 1.550 | 81.5 | 19.018 |
| 80 | 1.300 | 81 | 16.049 |
| 85 | 1.025 | 82 | 12.500 |
| 90 | 700 | 78 | 8.974 |
| 94 | 427 | 71 | 6.014 |

TABLA IV. Valores de las variables I, V y G obtenidos a partir del modelo.

| t m.seg. | I m.Amp. | V Vol | G m.Am/Vol |
|-------------|-------------|----------|---------------|
| .5 | 252.6 | 122.0 | 2.070 |
| 1. | 497.8 | 109.5 | 4.545 |
| 1.5 | 753.1 | 103.1 | 7.302 |
| 2. | 1.007 | 98.95 | 10.170 |
| 2.5 | 1.248 | 95.68 | 13.050 |
| 3. | 1.469 | 92.91 | 15.820 |
| 3.5 | 1.662 | 90.47 | 18.370 |
| 4. | 1.820 | 88.30 | 20.610 |
| 4.5 | 1.936 | 86.40 | 22.410 |
| 5. | 2.005 | 84.78 | 23.660 |
| 5.5 | 2.025 | 83.47 | 24.260 |
| 6. | 1.991 | 82.48 | 24.140 |
| 6.5 | 1.904 | 81.81 | 23.270 |
| 7. | 1.763 | 81.41 | 21.650 |
| 7.5 | 1.569 | 81.15 | 19.340 |
| 8. | 1.326 | 80.78 | 16.420 |
| 8.5 | 1.039 | 79.81 | 13.020 |
| 9. | 713.4 | 76.92 | 9.274 |
| 9.4 | 431.7 | 70.27 | 6.143 |

4.9. Comparación entre los diferentes modelos propuestos.

A la vista de los resultados obtenidos con los distintos modelos estudiados en el capítulo IV hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- 1) El modelo basado en las ecuaciones (2-17) y (2-18) si bien, responde con buena aproximación al comportamiento real de la lámpara, ofrece la dificultad práctica a la hora de determinar las constantes a/F y b/F , basadas en un ensayo en el que el sistema total se alimenta con c.c. y sometida a una pequeña perturbación de corriente alterna.
- 2) El modelo basado en las ecuaciones (2-18) y (4-16) responde en la simulación de forma más adecuada al comportamiento de la lámpara tanto en el caso de la simulación con balasto en serie tipo inductivo también en serie. La dificultad de este modelo aparece a la hora de determinar los parámetros a/F y b/F estos dos últimos se calculan a partir de unos datos experimentales de la tensión de lámpara y su posterior integración para obtener V^2 y V^4 en un semiperiodo.
- 3) El modelo basado en la conductancia G de la lámpara representado por la ecuación (4-50) comparado con los otros modelos estudiados, es más fácil de determinar ya que las constantes que aparecen se calculan a partir de la forma de onda de la tensión y de la corriente, sin grandes complicaciones, a esta facilidad añadiremos que a la hora de la simulación los resultados obtenidos son mucho más precisos que con los otros modelos, como hemos podido comprobar de la observación de las

graficas y listados correspondientes a las variables tensión V y corriente I para cada modelo.

De la observación de los diferentes modelos entendemos que de todos los aquí estudiados el modelo más apropiado para el diseño es el basado en la conductancia equivalente de la lámpara.

C A P I T U L O V

5. Diseño de balastos para lámparas fluorescentes de A.R.

En los diferentes capítulos de esta memoria hemos visto los fenómenos que tienen lugar en la descarga de un tubo fluorescente y la función que desempeña el balasto. Dada la importancia que este último tiene dentro del circuito, es necesario imponer unas condiciones mínimas para el diseño establecido internacionalmente, si bien con diferentes matices según el país de que se trate. Las condiciones de diseño que nosotros exponemos aquí, están basadas en la norma USA Standar C-8, (3) y (104), en la norma CEI 82 referente a balastos para lámparas o tubos fluorescentes (19), en un proyecto de norma Española para balastos, para lámparas con cebador, elaborado en el Instituto de Automática Industrial, (89) dentro del grupo de trabajo en el que se está desarrollando esta memoria y en los resultados experimentales obtenidos. Aquí sólo expondremos aquellas condiciones de tipo eléctrico encaminadas a un mejor funcionamiento de la lámpara, mayor duración en la vida de la lámpara, mayor rendimiento energético y luminoso y a la obtención del mayor rendimiento del sistema con el mínimo volumen y peso.

Una vez fijadas las condiciones mínimas a cumplir por el balasto, hemos de comprobar que se cumplen en el modelo diseñado para ello tenemos que disponer necesariamente de un balasto patrón y de un tubo patrón.

El balasto patron está constituido por una inductancia asociada con una resistencia ohmica, si es necesario, a fin de fijar el factor de potencia en el valor fijado por la norma, se emplean en los ensayos de balastos comerciales y para la selección de lámparas de referencia. El balasto de patron o de referencia se caracteriza por presentar una impedancia constante en un amplio rango de corrientes, la característica tensión corriente es constante y practicamente inalterable en el tiempo por las variaciones de temperatura o por influencias magneticas externas, las especificaciones correspondientes al balasto patron para una lámpara de 110 watos A.R., obtenidos de la norma USA C 82-3-1962 son: (3).

| | |
|--|-------------|
| Valor eficaz de la tensión de alimentación | 300 voltios |
| Valor eficaz de la corriente de lámpara | 1500 m.Amp. |
| Valor de la impedancia medida a 25°C | 179 ohmios |

Lámpara de patron o de referencia es aquella que habiendo sufrido un envejecimiento de al menos 100 horas, asociada a un balasto patron en condiciones normales de funcionamiento y a una temperatura ambiente de 25°C, ni su intensidad de corriente ni su potencia ni su tensión propia, difieren en más del 2.5% de los valores respectivos correspondientes a las características del tipo de lámpara de que se trate, que viene expresado en la norma correspondiente, en nuestro caso los valores propios de una lámpara de 110 watos A.R. obtenidos de la norma USA C 78 (1/5) son:

| | |
|-------------------|-------------|
| Longitud del tubo | 1219.2 m.m. |
| Díametro del tubo | 38.1 m.m. |

| | |
|---|---------------|
| Potencia consumida por el tubo | 116 wátios |
| Caida de tensión en los extremos del tubo | 84 Vol. efic. |
| Valor eficaz de la corriente de lámpara | 1500 m.A, |

Luminosidad de salida de la lámpara

Cuando el balasto está alimentado a la tensión y frecuencia nominal, la luminosidad producida por una lámpara de referencia será igual a la luminosidad suministrada por la misma lámpara cuando opera con un balasto de referencia a la misma tensión y frecuencia nominales admitiéndose una variación del 5%.

Corriente de lámpara

- a) Cuando el balasto está alimentado a su tensión y frecuencia nominal, la corriente que circula por una lámpara de referencia no ha de exceder del 115% de la corriente que circule por esa misma lámpara alimentada por un balasto de referencia a su tensión y frecuencia nominales.
- b) La forma de onda de la corriente que absorbe de la red el conjunto formado por el balasto asociado a una lámpara de referencia, cuando está alimentado a tensión y frecuencia nominales - debe ser tal que el contenido del tercer armónico expresado en tanto por ciento de componente fundamental de la corriente de alimentación no debe exceder de $25 \times \lambda / 0.9$ siendo λ el factor de potencia del conjunto balasto y lámpara.
- c) Dos alternancias sucesivas de la corriente de lámpara, deben presentar al osciloscopio formas analogas y sus valores de cresta diferir en menos del 5%, o bien, la intensidad de cualquier

armónico par no ha de sobrepasar el 2.5% del valor del fundamental.

- d) El factor de cresta de la corriente de lámpara se debe mantener por debajo de 1.7 para valores de la tensión de alimentación comprendidas entre el 90% y el 100% de dicha tensión nominal, e inferior a 1.8 para valores comprendidos en el 100% y el 110%.

Potencia de lámpara

El balasto alimentado a la tensión y frecuencia nominales, suministrará a una lámpara de referencia una potencia no inferior al 92.5% de la que suministraría a la misma lámpara un balasto de referencia alimentado en las mismas condiciones.

Por otra parte y para toda tensión de alimentación comprendida entre el 90% y el 110% de su tensión nominal, la potencia suministrada a la misma lámpara de referencia por el balasto debe ser igual o mayor que el 85% de la suministrada a la misma lámpara por un balasto de referencia alimentado al 90% de su tensión nominal y menor o igual que el 115% de la que suministra a la misma lámpara el balasto de referencia alimentado al 110% de su tensión nominal.

Regulación

- a) Cuando el balasto funciona a una tensión comprendida entre el 90% y el 110% de la tensión nominal la potencia consumida por una lámpara de referencia estará comprendida entre el 85% y el 115% de la potencia consumida por la misma lámpara conectada con un balasto de referencia.

b) Cuando el balasto funciona a una tensión comprendida entre el 90% y el 110% de la tensión nominal la luminosidad de la lámpara estará comprendida entre el 75% y el 125% de la luminosidad producida por la misma lámpara cuando funciona con el mismo balasto a su tensión nominal.

5.1. Diseño de un balasto inductivo para un tubo fluorescente de 110 vatios AR alimentado con c.a. a 50 Hz.

Tomando como base el modelo de la conductancia equivalente y haciendo uso de la ecuación (4-52), nos proponemos determinar el valor de la inductancia L en serie con la lámpara de tal forma que, el valor eficaz de la corriente de lámpara sea 1.500 mA a la tensión nominal de alimentación, el factor de cresta λ de la corriente de lámpara sea $\leq 1,7$ y el rendimiento energético K del sistema sea tal que $K \geq 0,85$, K lo definimos como el cociente entre la potencia medida en los extremos de la lámpara y la potencia total absorbida de la red. Con estos condicionantes se ha simulado el sistema total formado por el balasto de inductancia L , la resistencia de pérdidas R correspondiente a cada L , que hemos calculado por simple proporcionalidad y la lámpara. Con el fin de evitar un programa más complejo hemos seguido utilizando el sistema CAN. Hemos simulado la lámpara y estudiado su comportamiento dentro de un circuito formado por la lámpara y la inductancia L con su resistencia de pérdidas correspondiente, el programa nos permite obtener las integrales $\int i^2 dt$, $\int v_L i dt$, $\int v_i dt$. Donde:

i = intensidad instantánea en la lámpara
 v_L = tensión instantánea en los extremos de la lámpara
 v = tensión instantánea de alimentación

A partir de estas integrales calculadas dentro de un periodo completo, hemos calculado parametros como, intensidad - eficaz, factor de cresta, rendimiento energetico, etc. para ello hemos utilizado diferentes valores de L con su correspondiente - resistencia de perdidas R hasta llegar al valor optimo, de esta forma se ha elaborado la tabla de valores (5-1).

Los listados de los programas así como los valores correspondientes a las variables estudiadas aparecen, para cada caso, en el apendice F.

TABLA 5-1

| | L m.H | R ohmios | I ef mAmp | K | Factor de cresta λ |
|---|----------|-------------|--------------|--------|-------------------------------|
| 1 | 537.60 | 5.78 | 1511 | 90.91% | 1.430 |
| 2 | 526.30 | 5.78 | 1544 | 89.55% | 1.420 |
| 3 | 570.60 | 5.78 | 1424 | 90.41% | 1.420 |
| 4 | 546.00 | 8.00 | 1480 | 86.67% | 1.425 |
| 5 | 541.42 | 5.78 | 1500 | 89.98% | 1.424 |

Del estudio de la tabla (5-1) deducimos que las características del balasto que cumple con las condiciones impuestas es el que aparece en 5º lugar con los siguientes valores:

$$L = 541.42 \text{ mH}$$

$$R = 5.78 \text{ ohmios}$$

Con estos valores hemos construido el balasto correspondiente, cuyas características de fabricación son: chapa magnética de grano orientado Unisil-52, núcleo en E I modelo - 150 x 125 x 50 mm. Apilamiento 50 mm. Entrehierro de 0,1 mm. - Hilo de cobre de 1.1 mm. de diámetro. Número de espiras 390. Para estudiar el comportamiento de este balasto, con una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. hemos medido previamente la potencia absorbida por esta misma lámpara utilizando un balasto - patron que hemos diseñado y construido de acuerdo con la norma C.E.I. 82 siendo el valor eficaz de la corriente de lámpara de 1.500 mA, bajo estas condiciones la potencia absorbida por la lámpara ha resultado ser de 103 w^w vatios para una tensión de alimentación de 285 voltios.

Conocidos estos datos, hemos puesto a funcionar el balasto diseñado para una tensión de 285 voltios, habiéndose obtenido los siguientes resultados: Inductancia : $L = 541.42 \text{ mH}$. Resistencia de pérdidas: $R = 6.6 \text{ ohmios}$; Potencia de lámpara : $W_L = 103 \text{ vatios}$; Potencia total consumida por el sistema $W_L = 117 \text{ vatios}$; Potencia consumida en el balasto : $W_b = 14 \text{ vatios}$; Corriente de lámpara en valor eficaz: $I_L = 1500 \text{ mAmp}$; Corriente de lámpara valor de pico: $I_p = 2200 \text{ mAmp}$.

Comparando los valores previstos para el modelo con los datos reales obtenidos experimentalmente y representados en la tabla 5-2, llegamos a las siguientes conclusiones:

TABLA 5-2

| | L mH | R ohmios | I ef.mAmp | K | |
|-------------------|---------|-------------|--------------|-------|-------|
| Modelo | 541.42 | 5.78 | 1500 | 89.98 | 1.424 |
| Experimen tal. | 541.42 | 6.22 | 1500 | 88.03 | 1.46 |

a) Existe una gran concordancia entre los valores previstos y los valores medidos experimentalmente.

b) La diferencia en el factor de cresta, mayor en el caso experimental, que el previsto se puede atribuir al material magnético, a un defecto en el apilamiento del mismo, en consecuencia las pérdidas en el balasto son ligeramente mayores que las previstas; ésta es una de las razones por las que el rendimiento energético K es el 97,83% del previsto, lo cual ha supuesto un aumento en la resistencia de pérdidas del 7.6%.

5.2. Diseño de un balasto inductivo para un tubo de 110 vatios - AR alimentado con c.a. a 50 Hz para una iluminación óptima.

Condiciones de diseño: Tomando como base la ecuación (4-52) nos proponemos determinar el valor de la inductancia L en serie con la lámpara tal que la corriente de lámpara a tensión nominal de alimentación produzca una iluminación óptima, cumpliendo además las siguientes condiciones:

$$\text{Factor de cresta } \lambda < 1.7$$

Factor de forma $\lambda_L \gg 0.9$

Rendimiento energetico del sistema $K \gg 0.85$

5.2.1. Medios para el diseño.

Teniendo en cuenta que la iluminación producida por un tubo en un punto dentro de un recinto donde la iluminación inicialmente es nula, depende de la intensidad de la corriente que circula por el tubo, del material fluorescente, y para poder disponer de datos experimentales fiables, correspondientes al tipo de lámpara que estamos estudiando. Hemos determinado experimentalmente la curva de iluminación en un punto en función de la corriente de lámpara; como hemos visto la radiación de la luz visible depende de la radiación de ultravioleta, por tanto, la curva de iluminación en función de la corriente de lámpara puede ser, en primera aproximación, un reflejo de la curva de producción de U.V. en función de la corriente de lámpara. Los datos experimentales obtenidos con un balasto patrón y una lámpara fluorescente de 110 wátios se representan en la tabla 5-3.

TABLA 5-3

| I Amp | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| LUX | 550 | 615 | 680 | 740 | 800 | 825 | 870 | 800 | 940 |

| I Amp. | 1.525 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 2.1 | 2.2 |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Lux | 1015 | 1025 | 1050 | 1070 | 1080 | 1090 | 1100 | 1145 |

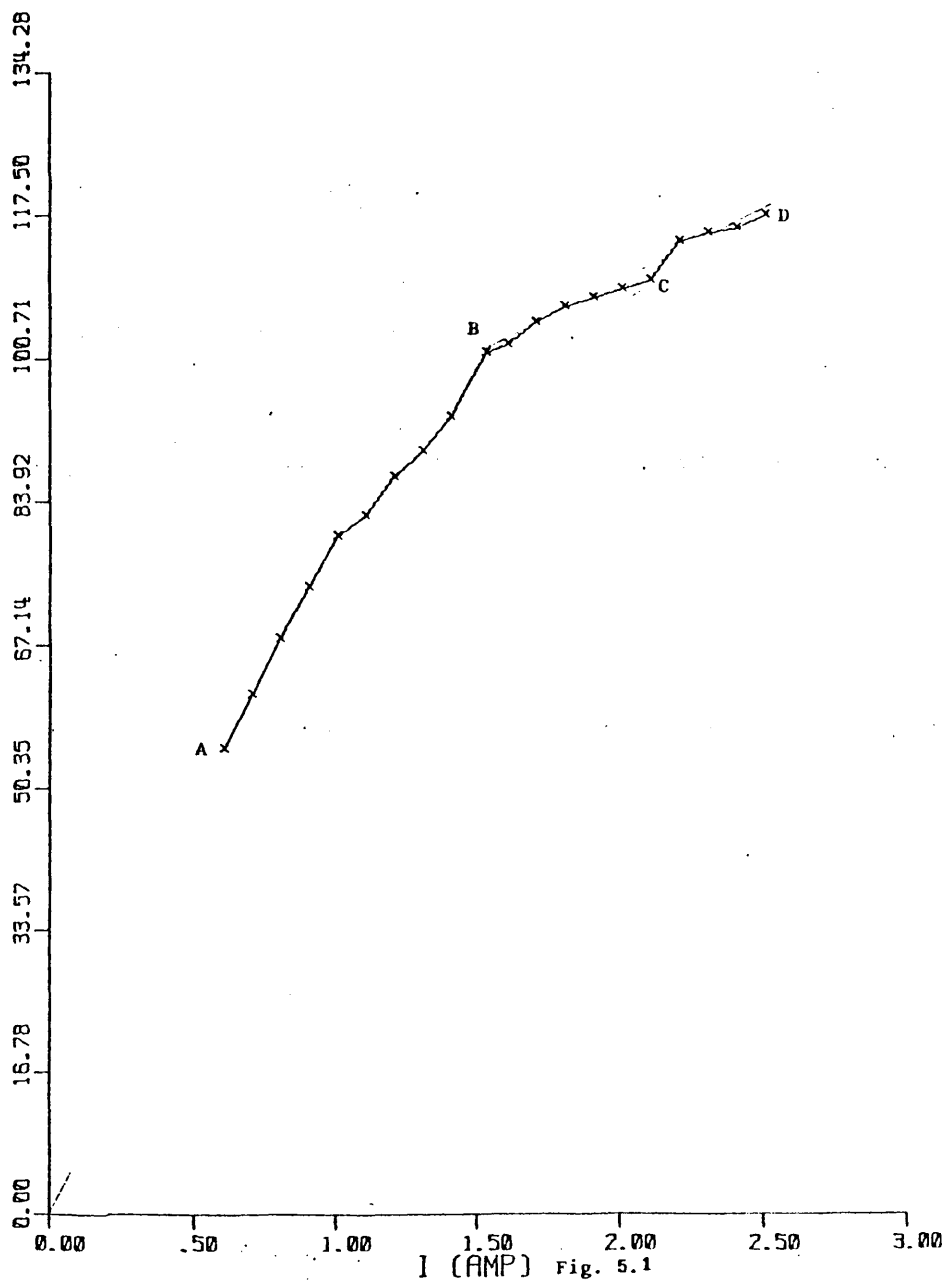
TABLA 5-3

| I | | | |
|-----|------|------|------|
| Amp | 2.3 | 2.4 | 2.5 |
| LUX | 1155 | 1160 | 1175 |

La representación gráfica de estos valores aparecen en la fig. (5-1). De la observación de esta gráfica y teniendo en cuenta el fenómeno de saturación de radiación U.V. podemos hacer las siguientes hipótesis simplificadoras respecto a la relación intensidad de corriente de lámpara iluminación producida en un punto.

- 1) Existe una función fija iluminación/intensidad que no depende de ningún otro factor, como puede ser que la corriente es alterna.
- 2) Esta función es lineal, como se observa en la fig. (5-1), en el tramo AB, hasta llegar a una saturación, como se observa en el tramo BD de la fig. (5-1), donde suponemos que la iluminación es constante aunque aumente la intensidad de la corriente de lámpara.

Mediante el CAN se ha simulado el comportamiento de la lámpara para distintos valores de L, empleando el modelo de la conductancia. En el programa se ha introducido este tipo de función tomando como valor para la corriente de saturación de la lámpara dos amperios y considerando la relación iluminación/intensidad en el tramo lineal de 1: 1 ya que el introducir la constante entre iluminación e intensidad no altera el resultado.



I (AMP) Fig. 5.1

La salida de esta función, llamada intensidad iluminante se integra en un periodo, en condiciones estacionarias - y el valor de esta integral dividido entre el periodo será un índice de la iluminación producida. Los listados de los programas y de los valores de las diferentes variables aparecen en el apéndice G, de los cuales hemos obtenido la siguiente tabla de valores.

TABLA 5-4

| L mH | Factor de cresta | I _{ef} mA | Rendimien- to % | Intensidad que pro- duce iluminación |
|---------|---------------------|--------------------|--------------------|---|
| 500.0 | 1.425 | 1617 | 85.44 | 1382 |
| 526.3 | 1.433 | 1544 | 89.55 | 1346 |
| 537.6 | 1.424 | 1511 | 89.80 | 1329 |
| 541.0 | 1.424 | 1500 | 89.84 | 1322 |
| 546.4 | 1.424 | 1481 | 86.67 | 1311 |
| 571.4 | 1.423 | 1422 | 90.40 | 1271 |

En la fig. (5-2) se han representado gráficamente estos valores, de la observación de la gráfica se deduce que el ba lasto más adecuado tiene las siguientes características:

El valor de L debe estar comprendido entre 541 mH y 547 mH, intervalo en el cual el rendimiento K alcanza su valor máximo, el factor de cresta λ se mantiene constante e igual a 1.424, la intensidad eficaz de la corriente de lámpara está en el valor nominal de 1.500 m.Amp. o muy próxima y la producción de radiación presenta una zona AB donde es creciente con un má-

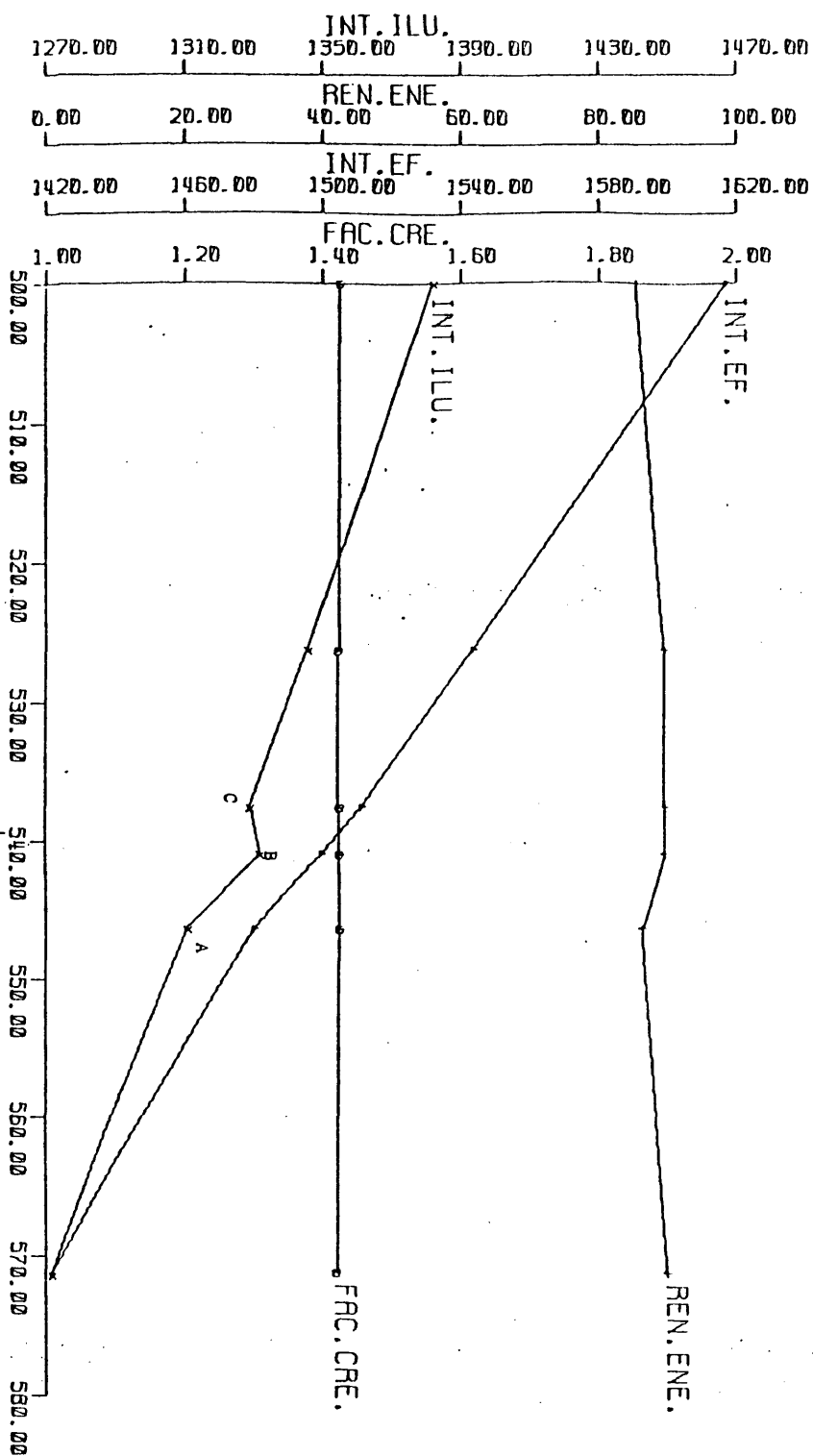


Fig. 5.2

ximo en B para disminuir desde B hasta C y empezar a crecer tendiendo a estabilizarse.

5.3. Comportamiento de una lámpara fluorescente de 110 vatios - AR. cuando en el circuito de alimentación y en serie con la inductancia se conecta un tiristor bidireccional (triac).

Hasta ahora hemos hecho el diseño para la regulación de la corriente de lámpara mediante el empleo de elementos pasivos, procede ahora estudiar el diseño de sistemas de regulación mediante el uso de elementos pasivos en combinación con ciertos componentes electrónicos que actualmente están al alcance del industrial por ser competitivos, a esto hemos de añadir, la mayor fiabilidad de los equipos, menor volumen y peso para la misma potencia, mayor rendimiento energético y luminoso del sistema así como la posibilidad del empleo de altas frecuencias que a su vez repercutiría en el empleo de materiales magnéticos con pocas pérdidas y de tamaño muy reducido.

Lo más sencillo sería emplear un componente tal que su resistencia sea cero o infinito en un instante determinado.

Haciendo uso del circuito de la fig. (5-3) donde se representa un esquema del circuito constituido por una lámpara fluorescente, una inductancia en serie de valor L con una resistencia de pérdidas R y el tiristor bidireccional (Triac) T_r , y de la ecuación (4-52), se ha simulado mediante el CAN el comportamiento del modelo de la lámpara, habiéndose encontrado una serie de problemas en la simulación unos de orden físico y otros de simulación propiamente.

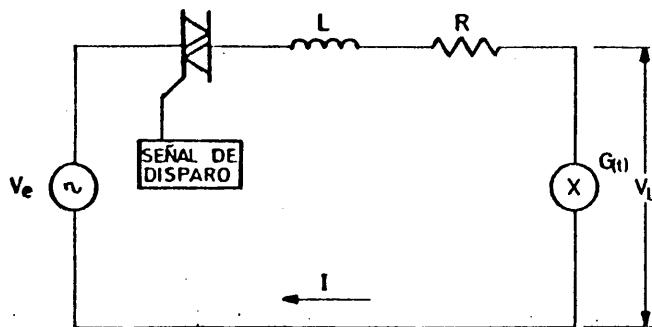


Fig.(5.3) Circuito de alimentación de una lámpara fluorescente con tiristor en serie con el balasto

Entre los primeros tenemos la simulación del triac ya que este no puede pasar a la situación de corte si la intensidad de corriente circulante es mayor que un cierto valor, que depende del tipo de triac y tampoco pasa al estado de conducción si la corriente baja de un cierto umbral. Esto nos obliga a considerar una intensidad umbral.

Entre los problemas de orden de simulación tenemos: las ecuaciones vienen expresadas en la forma $di/dt =$ una cierta ecuación, no habiendo posibilidad de hacer directamente $i = 0$ sino de sustituir la ecuación del segundo miembro de modo que la haga disminuir (o no crecer como en caso de conducción plena). Esta elección debe ser útil para la simulación pero que no se aleje demasiado del comportamiento real del triac. La determinación de los tiempos de conducción y no conducción es un punto importante a tener en cuenta para la programación. El tiempo del paso del triac al estado de no conducción tendrá lugar cuando la intensidad pase por el valor umbral para el pase al estado de conducción se producirá un nuevo salto.

Teniendo en cuenta todos los condicionantes que acabamos de exponer hemos procedido a la simulación del sistema - sustituyendo el segundo miembro de di/dt por un término de la forma $-Ki$ lo cual prácticamente equivale en términos físicos a extinguir la intensidad pues rápidamente adquiere valores despreciables, además se han fijado los siguientes parámetros: autoinducción $L = 400$ mH, tiempo de interrupción del triac 2.5 ms, valor umbral de la corriente de lámpara 20 mA.

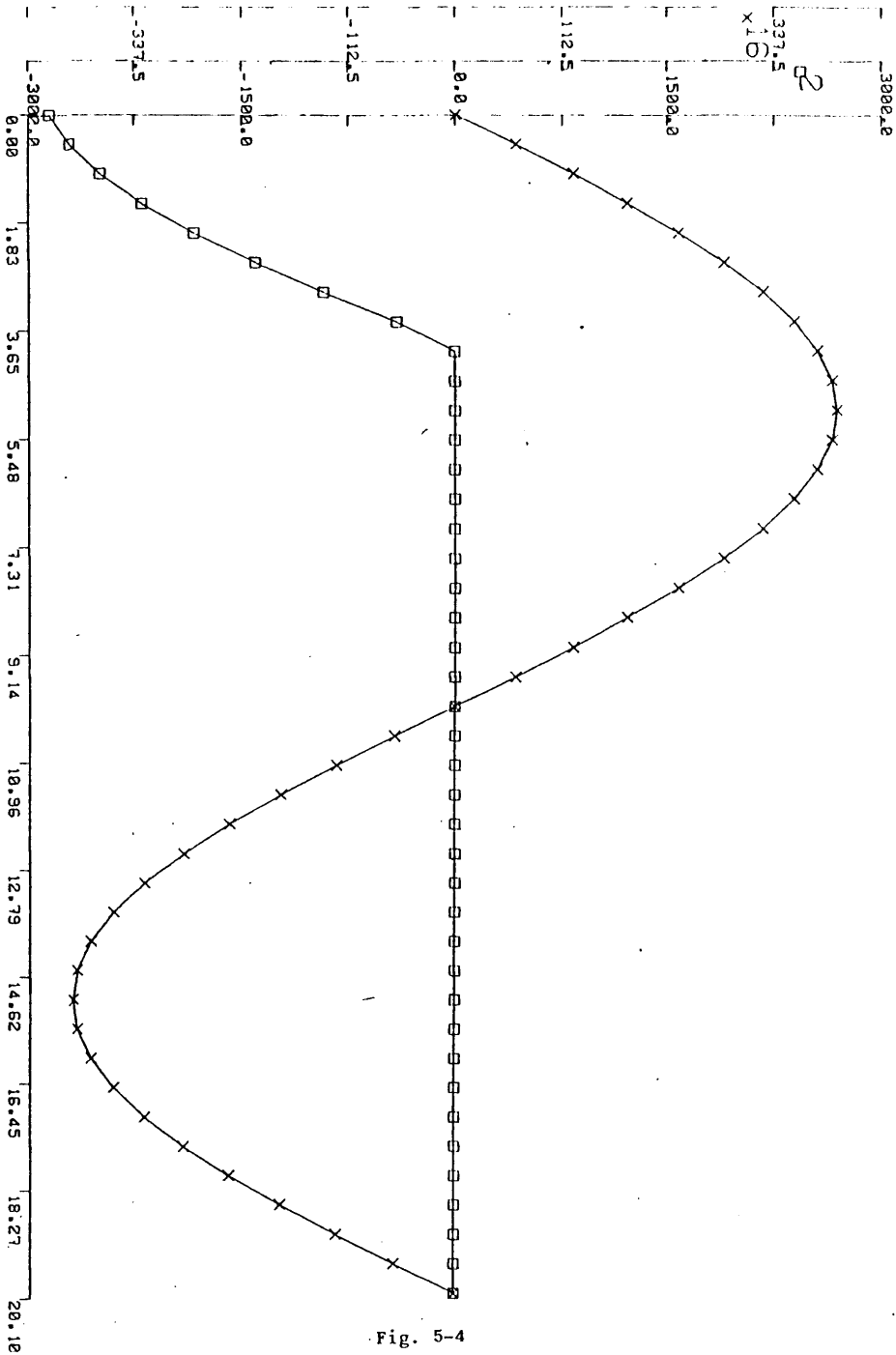


Fig. 5-4

Probado el programa hemos comprobado que la simulación es correcta y los resultados obtenidos indican que la lámpara no se recupera, ver fig. (5-4). En vista de lo cual se hicieron algunos cambios en los pasos de integración consiguiéndose el disparo de la lámpara en los tiempos previstos pero se aprecia una variación importante en la corriente de lámpara - que no es deseable.

El diagrama de bloque correspondiente al sistema, lo podemos ver en la fig. (5-5). El listado del programa y de los datos aparecen en apéndice H, las gráficas correspondientes a la corriente de lámpara y a la tensión de alimentación se representan en la fig. (5-6). Por tanto no es posible la utilización de un triac en el circuito estudiado.

5.3.1. Simulación del triac con una resistencia en paralelo.

Para conseguir que la lámpara se recupere y el sistema sea estable, en la simulación se ha sustituido el triac durante la etapa de no conducción por una resistencia suficientemente elevada como para que la intensidad se mantenga en valores reducidos pero la conducción se recupere.

Esto implica que en la realización de este tipo de circuito habrá que prever en paralelo con el triac una resistencia de valor adecuado.

El tiempo de no conducción lo fijamos en un valor determinado a partir del paso por la intensidad umbral, a partir de dicho tiempo recupera la conducción con una acción inli

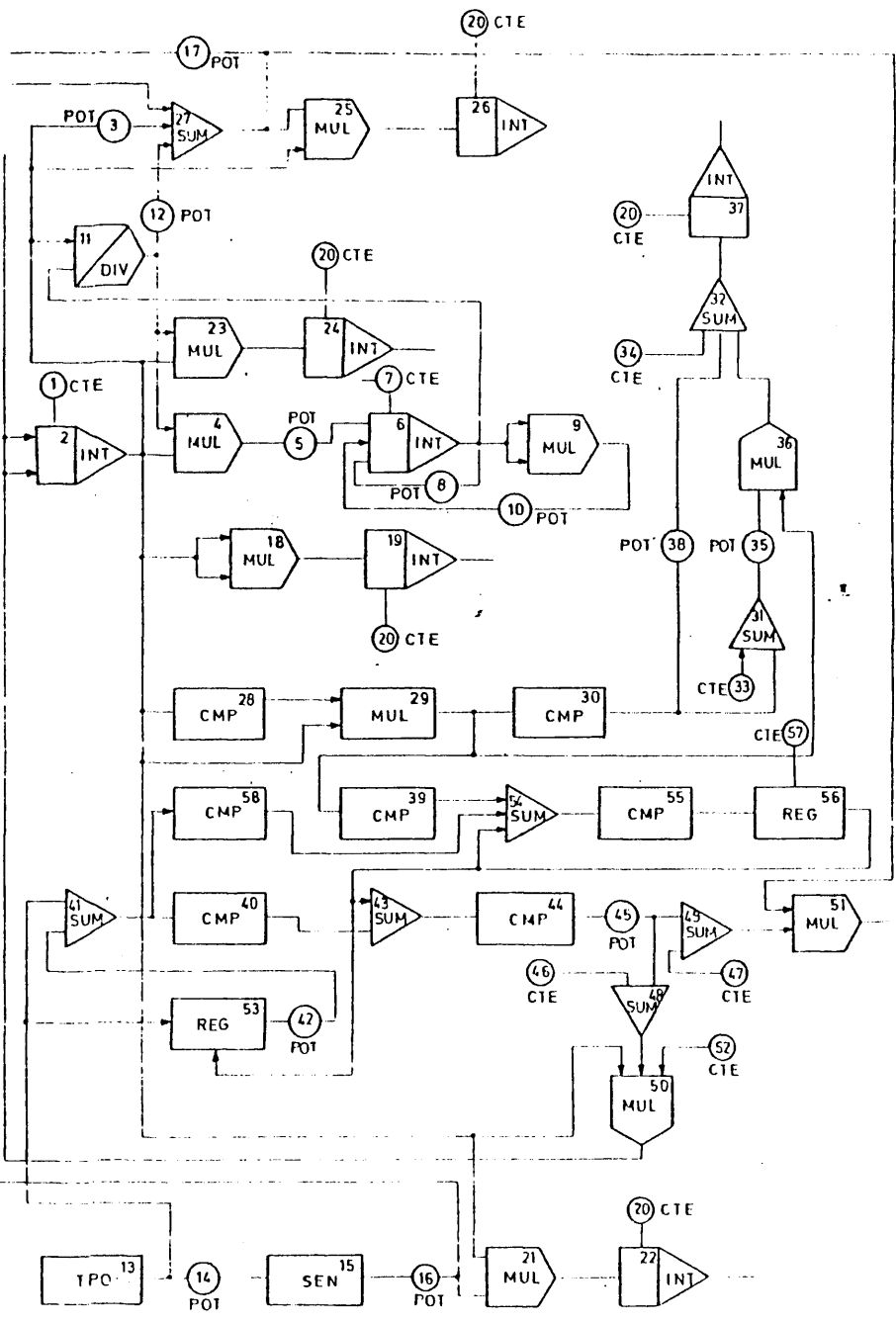


Fig. 5-5

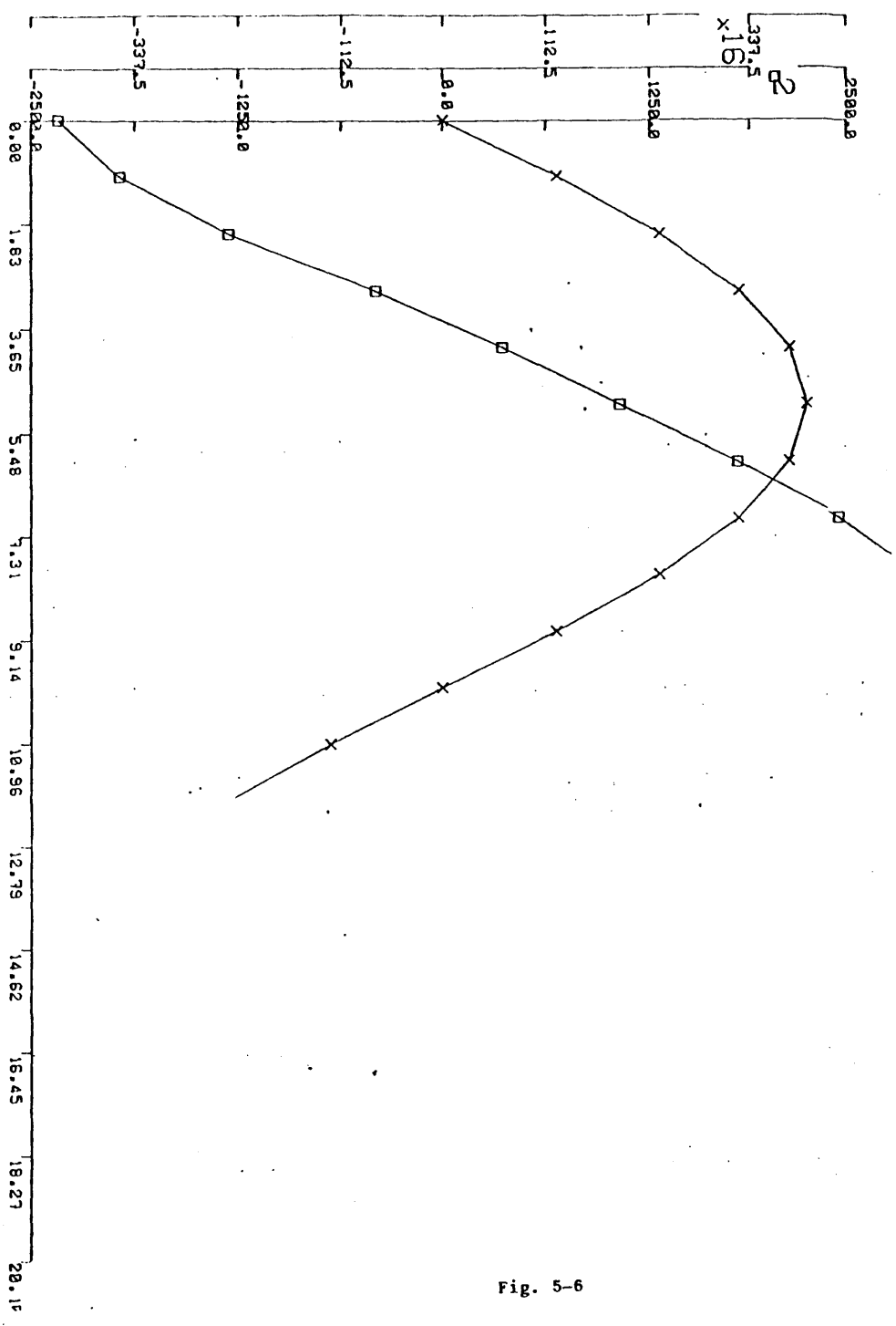


Fig. 5-6

bidora de la detección del paso por el umbral durante otro cierto tiempo, de este modo en parámetros introducidos en el programa de simulación son: R'/L siendo R' la resistencia en paralelo en el Triac, en nuestro caso hemos fijado el valor de $R'/L = 30$ umbral de corriente.

Tiempo de no conducción. Variando estos parámetros hemos obtenido la tabla de valores (5-5) manteniendo constantes los valores correspondientes a la intensidad umbral (20 mA.) y $R'/L = 30$.

TABLA 5-5

| | $1/L$ | tiempo de no conducción | I_{ef} | Factor de cresta | rendimiento energetico % | I que produce iluminación |
|---|-------|-------------------------|----------|------------------|--------------------------|---------------------------|
| A | 2.5 | 5 | 414.85 | 2.01 | 88 | 276.55 |
| B | 3.5 | 3 | 1312 | 1.66 | 89.57 | 975 |
| C | 4 | 3 | 1492 | 1.67 | 88.58 | 1040 |

En el apéndice I aparecen los listados de los programas y los listados de los datos correspondientes a los casos A) B) y C). Las gráficas de las ondas de tensión de alimentación y de corriente de lámpara corresponden a las figuras (5-7a) (5-7b) (5-8) (5-9).

De la observación de la tabla 5-5 podemos deducir que el diseño correspondiente al caso C satisface plenamente las condiciones que nos habíamos impuesto tanto en salvar la difi-

cultad de inestabilidad del sistema y las condiciones de diseño correspondientes a factor de cresta λ , rendimiento energético K , intensidad eficaz etc., con una inductancia de 250 mH. con el ahorro que esto supone en volumen ocupado por el balasto menor cantidad de cobre y en resumen menos pérdidas del balasto en si.

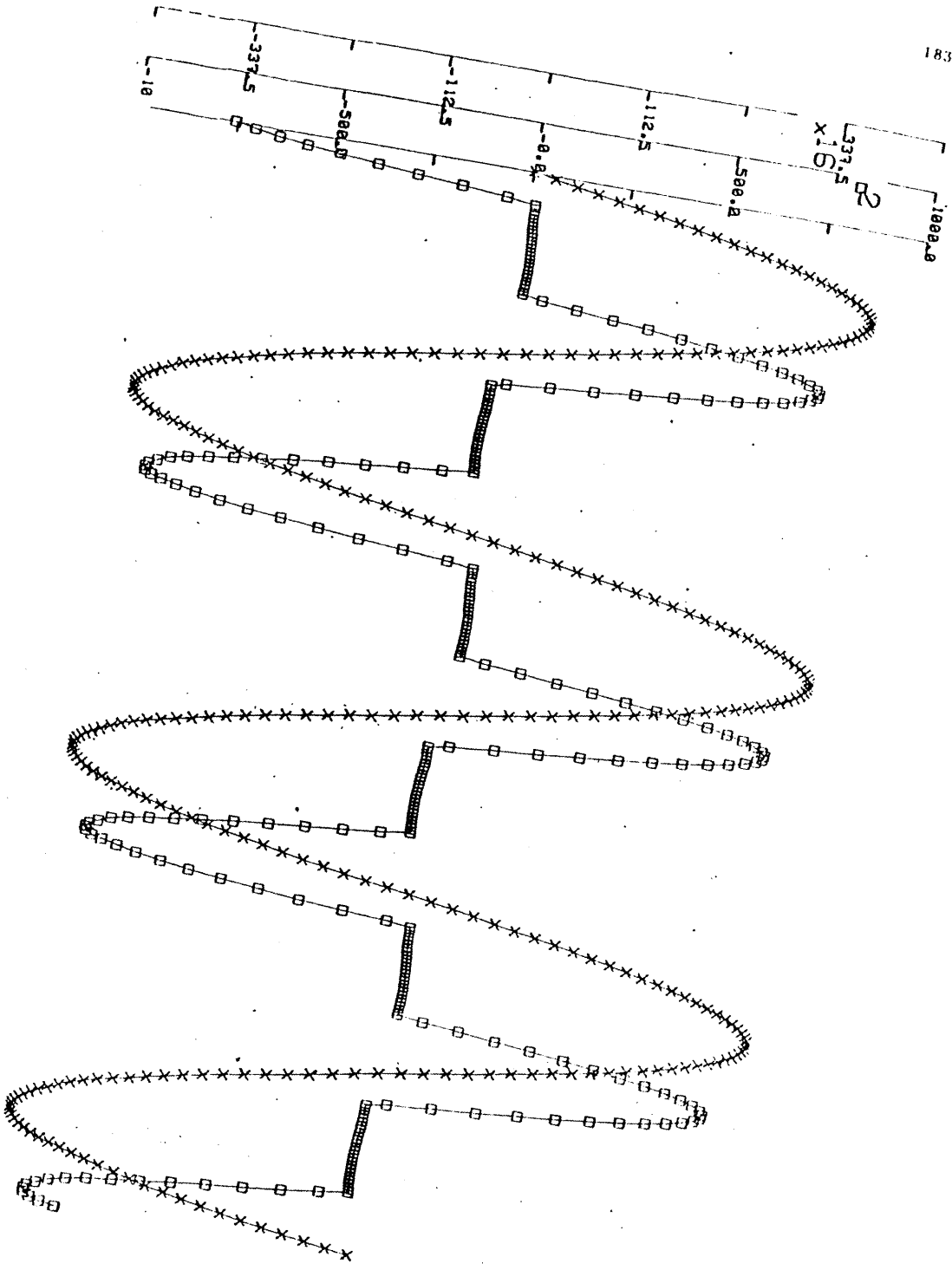


Fig. 5-7a

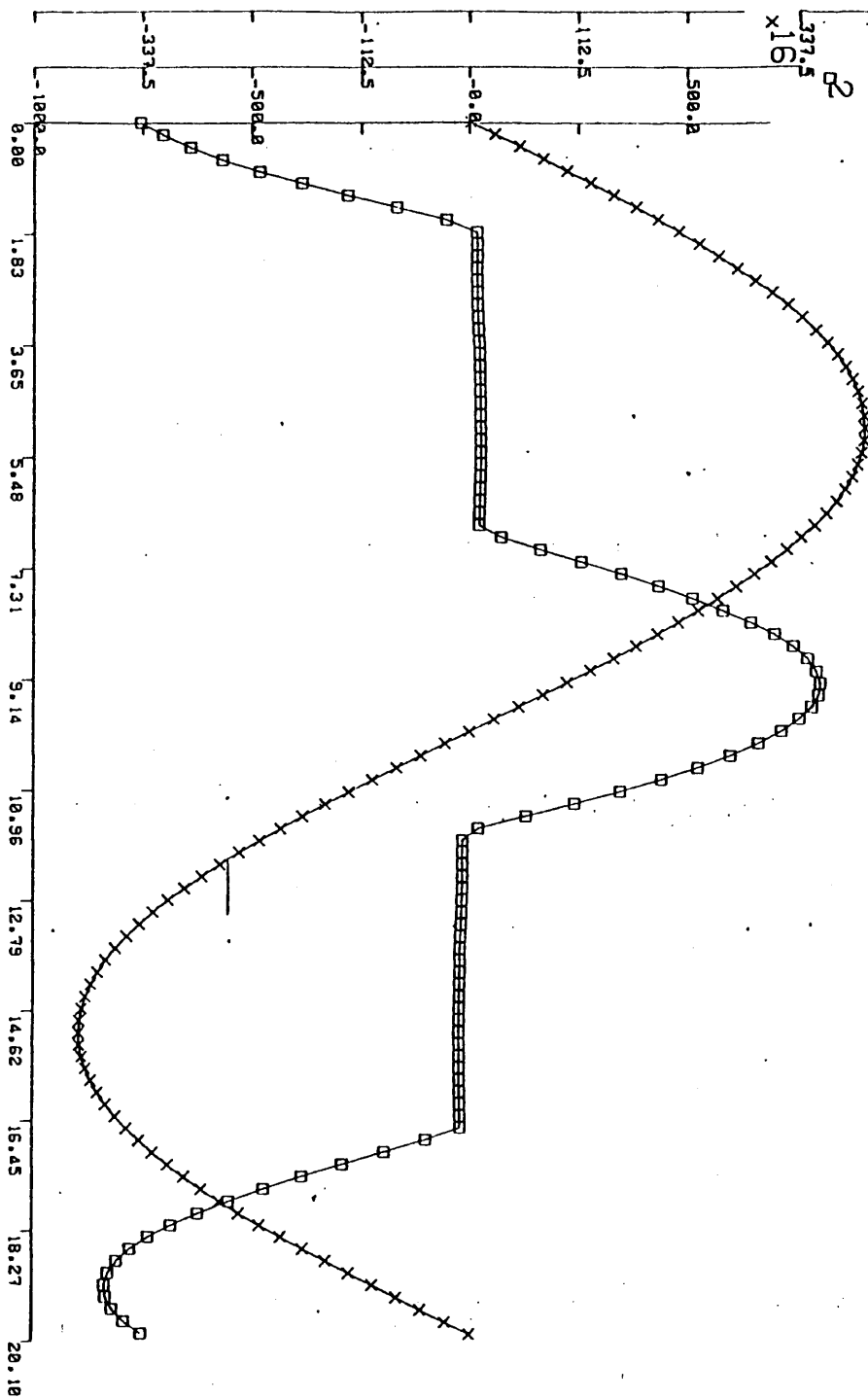


Fig. 5-7b

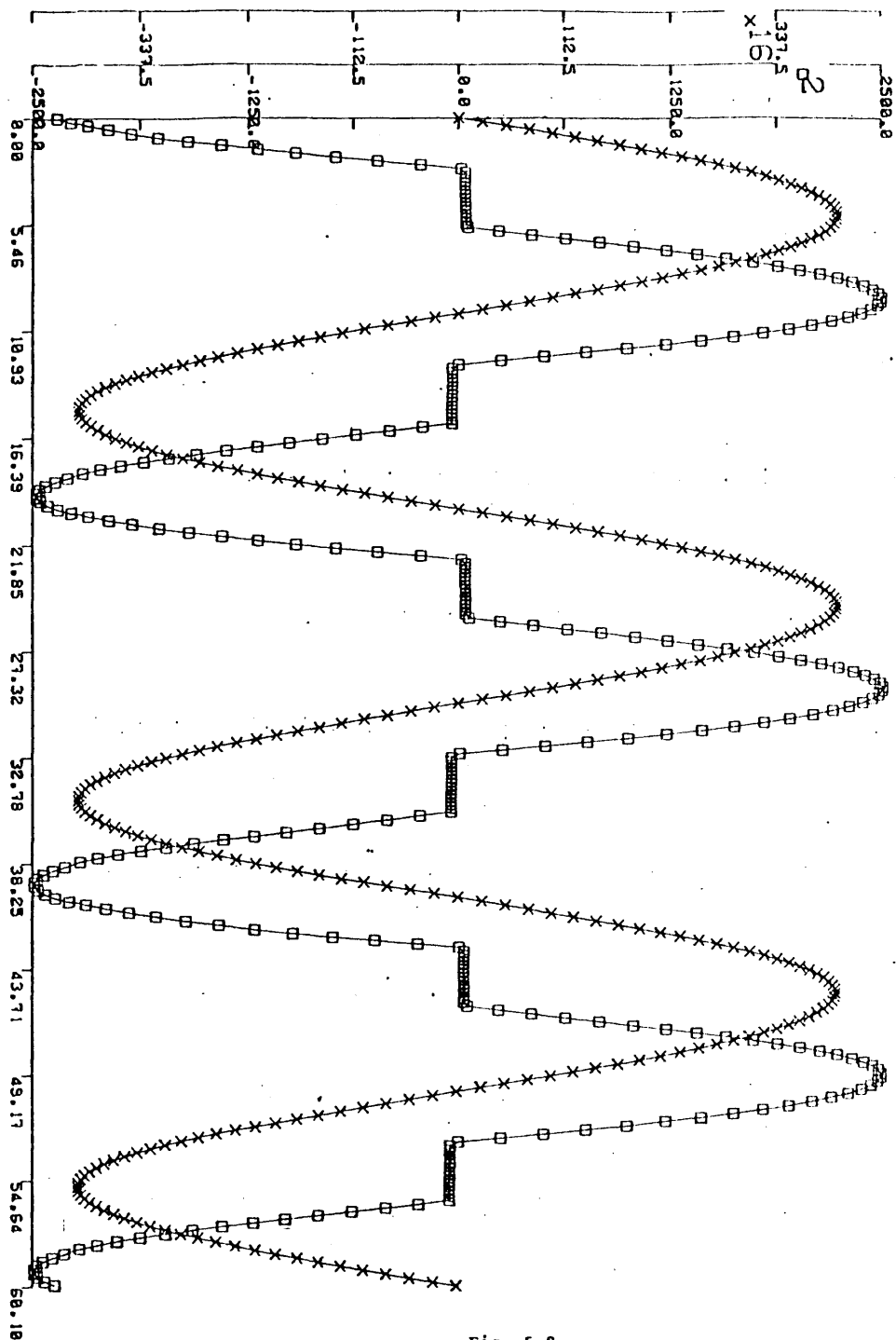


Fig. 5-2

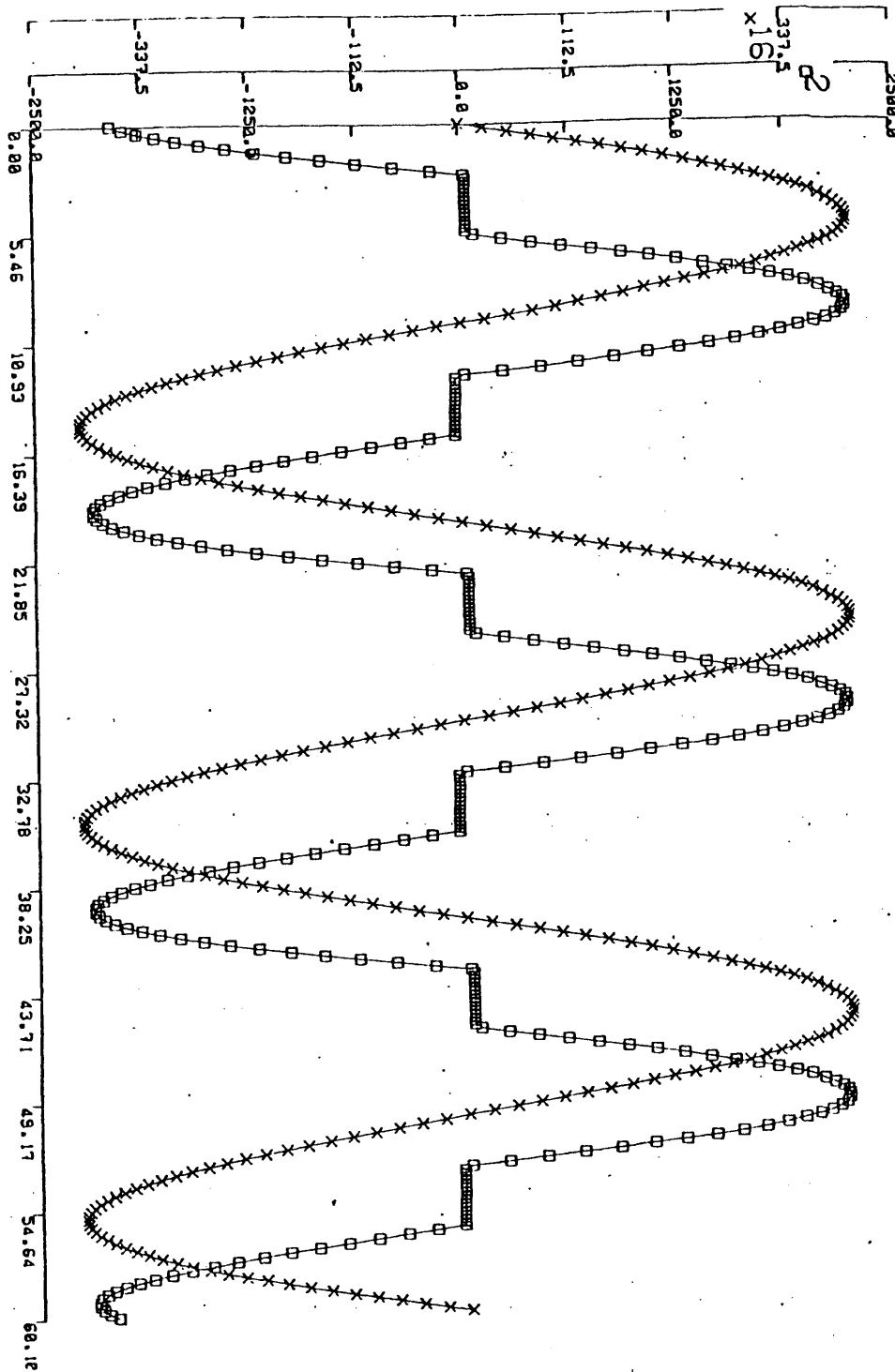


Fig. 5-9

PRINCIPALES APORTACIONES Y CONCLUSIONES

=====

- 1.- Se ha realizado un estudio bibliográfico de la lámpara de descarga y en particular de los fenómenos físicos que tienen lugar dentro del tubo donde se produce la descarga, hemos centrado nuestra atención en la zona más importante, la columna positiva, donde tiene lugar la producción de radiación ultravioleta que posteriormente dará lugar a la luz visible.

Estudiada la distribución de iones y electrones en la columna positiva se ha procedido a estudiar los diferentes parámetros sobre los cuales se puede actuar, para que el rendimiento del tubo sea máximo, definimos este rendimiento como la relación entre potencia utilizada en producción de luz visible y la potencia total consumida por el tubo.

- 2.- Se ha estudiado la importancia de los electrodos en una lámpara de descarga, las funciones que desempeñan y la influencia que presentan en el rendimiento del tubo, la distribución de electrones en los cátodos. Experimentalmente hemos comprobado como influyen en la forma de onda de tensión de lámpara las oscilaciones que se producen en el ánodo como consecuencia de un fenómeno de relajación.

- 3.- Se ha comprobado experimentalmente el comportamiento de una lámpara para frecuencias de la tensión de alimentación superiores a los 50 Hz, habiéndose notado un cambio muy sensible en las características de la descarga a partir de los 5 Kc. debido fundamental-

mente a que la densidad electrónica no cambia de un modo sensible en un semiperiodo y si en cambio se aproxima a un valor constante. La descarga se comporta en cada instante como un conductor ohmico y tanto la corriente como la diferencia de potencial llegan a presentar una forma de onda aproximadamente senoidal y muy proximas en fase.

- 4.- Se han dado unas bases para un modelo sencillo de lámpara que posteriormente se fué ampliando a lo largo del trabajo hasta llegar al modelo de la conductancia G , para ello hemos utilizado las variables macroscópicas N , V , I , G , relacionadas con los fenómenos que tienen lugar dentro de la columna positiva.
- 5.- Se ha estudiado el fenómeno de saturación en la producción de radiación ultravioleta en función de la corriente de lámpara y los diferentes parámetros que influyen en la saturación, en particular se ha obtenido una gráfica para una lámpara de 110 watios A. R. empleándose estos datos para la simulación de un sistema de regulación que proporcione una iluminación óptima.
- 6.- Se ha estudiado la distribución de la potencia total consumida por un sistema de iluminación y las variables sobre las que se puede actuar a fin de que las perdidas sean mínimas y la importancia de la temperatura de la pared del tubo habiéndose comprobado experimentalmente como influye la temperatura ambiente y de la pared en el rendimiento luminoso.
- 7.- Siendo los cátodos elementos imprescindibles en la lámpara hemos estudiado los diferentes aspectos que pueden influir en la vida

de la lámpara así como la forma de mejorar el rendimiento de los mismos consiguiendo que las pérdidas sean mínimas y obteniendo una mayor duración. Experimentalmente hemos comprobado que:

- a) Las corrientes de lámpara excesivas hacen que los cátodos se agoten rápidamente en detrimento de la vida de la lámpara y de la luminosidad.
 - b) El factor de cresta de la corriente de lámpara es decisivo hasta el punto que para factores de cresta superiores a 1.7 y sometida la lámpara a una prueba de encendido intermitente la lámpara se puede agotar en pocas horas.
 - c) Todas las lámparas que hemos estudiado en esta memoria necesitan un tiempo mínimo de precalentamiento entre 0.5 seg. y 1 seg., habiéndose comprobado que cuando estos tiempos se hacen más pequeños los cátodos se ennegrecen muy rápidamente.
- 8.- Se ha estudiado el comportamiento de balastos inductivos, capacitivos y resistivos asociados con una lámpara de descarga de las mismas características fijando la atención en la luminosidad por vatio consumido habiéndose llegado a la conclusión de que la mejor relación luminosidad/potencia consumida se obtiene para aquellos sistemas donde el factor de cresta es menor que 1.7.
- 9.- Se ha estudiado una ecuación diferencial para la lámpara de descarga en función de las variables corriente de lámpara y tensión de lámpara, habiéndose determinado experimentalmente las constantes α/F y β que dependen del tipo de lámpara, asimismo se ha montado un sistema de medida para la determinación del lugar geomé-

trico de la impedancia de una lámpara de descarga válida para -- cualquier tipo de lámpara. Hemos diseñado un sistema para mantener constante la temperatura de la pared del tubo, para de esta forma realizar todas las medidas en las condiciones más óptimas de funcionamiento para una lámpara.

- 10.- Para todas las medidas experimentales en que ha sido necesario, -- se han diseñado y construido los correspondientes "balastos de referencia o patrón" de acuerdo con la norma adecuada y realizado -- las medidas experimentales necesarias a fin de obtener las lámparas de referencia necesarias para esta memoria.
- 11.- Se ha simulado la lámpara mediante un programa (CAN) que consta -- de un traductor de lenguaje de descripción de problemas de cálculo analógico y un emulador de una calculadora haciendo uso de la ecuación diferencial a que hacemos referencia en (9), para los -- supuestos en que el elemento regulador de corriente de lámpara -- es una resistencia o una inductancia, habiéndose comprobado que los resultados obtenidos son aceptables en el caso de una resistencia en serie y muy aceptables cuando el elemento en serie con la lámpara es una inductancia.
- 12.- Se ha estudiado una nueva forma generalizada de la ecuación diferencial de una lámpara donde la tensión en los extremos de la lám para es una función $f(v)$ de la tensión de alimentación se han determinado experimentalmente las constantes a/F y $b(F)$ que aparecen en la nueva ecuación diferencial para el caso de una lámpara fluorescente de 110 watios A.R. siendo igualmente utilizable para -- cualquier otro tipo de lámpara. Con estos datos se ha simulado me

diante el CAN el comportamiento de una lámpara de 110 watios A.R. empleando como elemento en serie un balasto inductivo, llegando a la conclusión de que la precisión obtenida en el diseño es mayor que la de lo que hasta ahora se había obtenido a partir de la tensión, corriente y potencia de lámpara.

- 13.- Se ha estudiado un modelo de circuito equivalente para lámpara de descarga donde aparecen las pérdidas de energía por: difusión ambipolar, recombinación y pérdidas en la pared del tubo, obteniéndose la ecuación $dN/dt = if(v) - (K + a) N^2 - bN$; para el caso en que $f(v) \propto V$ nos ha permitido llegar a unos circuitos equivalentes donde la lámpara viene representada por una combinación en serie de elementos R.L.C. en paralelo dos de ellos según el caso.

Todo ello nos ha permitido estudiar un modelo de la lámpara en función de la conductancia G , una vez determinado experimentalmente las constantes que aparecen en la ecuación $dG/dt = A I^2/G - BG - CG^2$, se ha simulado de nuevo el comportamiento de la lámpara y para el caso de una inductancia en serie hemos comprobado que los resultados obtenidos en la simulación son comparables a los datos obtenidos en un caso práctico siendo este modelo el que mejor responde al comportamiento real de la lámpara.

- 14.- Mediante las conclusiones obtenidas según 13 hemos diseñado mediante simulación un balasto inductivo y con estos datos se ha realizado experimentalmente un prototipo con un resultado muy satisfactorio. Con el fin de conseguir que la iluminación producida por una lámpara en un punto sea óptima, hemos calculado experimentalmente la curva característica iluminación producida en un punto corrien-

te de lámpara tabla 5-3 fig. 5.1., el valor de óptimo, en nuestro caso, consideramos que es alcanzable siempre que estemos pasando de la característica lineal a la saturación para ello hemos fijado la corriente de lámpara en dos amperios como máximo.

- 15.- Con el fin de reducir el volumen del balasto y las perdidas se ha simulado el sistema formado por una lámpara, balasto inductivo y un triac, todos estos elementos alimentados en serie, llegándose a la conclusión de que es factible regular la corriente de lámpara actuando sobre el triac lo que nos permitirá emplear una inductancia en serie con la lámpara de menos tamaño del que habitualmente se utiliza en la actualidad.
- 16.- Pensamos que con los nuevos modelos aquí estudiados y mediante la simulación se puede extender este trabajo u otro tipo de lámparas de características más complejas. Se abre un gran campo para el estudio del comportamiento de las lámparas a frecuencias muy elevadas y su aplicación en el diseño de dispositivos electrónicos para encendido y regulación, estudio de balastos dinámicos puramente electrónico que nos permita controlar la potencia de la lámpara.

A P E N D I C E A

=====

Simulación del comportamiento de una lámpara fluorescente.

Partiendo de las ecuaciones (2-17) y (2-18) y mediante CAN se ha llevado a cabo la simulación del comportamiento de una lámpara fluorescente, el listado del programa viene caracterizado por los parámetros, R , α/F , β y V y en su forma más general viene expresado por

| | | |
|----|-----|---------------------|
| 1 | TFD | |
| 2 | FOT | 1,0.31414 |
| 3 | SEN | 2 |
| 4 | FOT | 11, R KOHMS. |
| 5 | CTE | 1. |
| 6 | SUM | 4,5 |
| 7 | DIV | 14,6 |
| 8 | MUL | 7,11 |
| 9 | FOT | 7, (ALFA/F) * 1.E-3 |
| 10 | MUL | 9,8 |
| 11 | INT | 12,10,13 |
| 12 | CTE | 4,42 |
| 13 | FOT | 11, BETA |
| 14 | FOT | 3, V. P. F. |
| 15 | FIN | |

Donde R . K ohms; $\text{Alfa}/F \cdot E^{-3}$; Beta y $V.p.p.$ serán sustituidos en cada caso por los valores correspondientes. De esta forma y realizadas las oportunas sustituciones hemos calculado los valores de las variables V , I , N/F en función del tiempo t .

LISTADOS:

- a) Listado correspondientes a la simulación para una lámpara fluorescente de 40 watios con balasto resistivo en serie con la lámpara. Resultados obtenidos.

| | | |
|----|-----|-------------|
| 1 | TFO | |
| 2 | POT | 1, .31416 |
| 3 | SEN | 2 |
| 4 | POT | 11, 0. 286 |
| 5 | CTE | 1. |
| 6 | SUM | 4, 5 |
| 7 | DIV | 14, 6 |
| 8 | MUL | 7, 11 |
| 9 | POT | 7, . 00067 |
| 10 | MUL | 9, 8 |
| 11 | INT | 12, 10, 13 |
| 12 | CTE | 4. 42 |
| 13 | POT | 11, -5. 950 |
| 14 | POT | 3, 311. 13 |
| 15 | FIN | |
| > | | |

- b) Listado correspondiente a la simulación para una lámpara fluorescente de 110 watios A.R. con balasto resistivo en serie con la lámpara. Resultados obtenidos.

| | | |
|----|-----|-------------|
| 1 | TFO | |
| 2 | POT | 1, 0. 31416 |
| 3 | SEN | 2 |
| 4 | POT | 11, 0. 091 |
| 5 | CTE | 1. |
| 6 | SUM | 4, 5 |
| 7 | DIV | 14, 6 |
| 8 | MUL | 7, 11 |
| 9 | POT | 7, . 000425 |
| 10 | MUL | 9, 8 |
| 11 | INT | 12, 10, 13 |
| 12 | CTE | 4. 42 |
| 13 | POT | 11, -3. 142 |
| 14 | POT | 3, 311. 13 |
| 15 | FIN | |
| > | | |

RUN CAN
 NOMBRE : ROS.ANA
 PASO DE INTEGRACION., NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : .1.2
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION. : 22.
 LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 3
 VARIABLES : 7,8,11
 LETREROS
 TENS
 INTENS
 N/F
 DIBUJO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0

| TIEMPO | TENS | INTENS | N/F |
|--------|--------|--------|------------|
| 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 4.420 |
| 0.2000 | 14.08 | 19.07 | 1.354 |
| 0.4000 | 34.62 | 15.31 | 0.4423 |
| 0.6000 | 55.55 | 9.615 | 0.1731 |
| 0.8000 | 75.42 | 6.820 | 0.9042E-01 |
| 1.000 | 94.29 | 6.501 | 0.6895E-01 |
| 1.200 | 111.9 | 9.231 | 0.8250E-01 |
| 1.400 | 126.7 | 20.25 | 0.1599 |
| 1.600 | 132.8 | 59.70 | 0.4495 |
| 1.800 | 123.8 | 149.9 | 1.211 |
| 2.000 | 111.7 | 249.0 | 2.230 |
| 2.200 | 104.9 | 326.7 | 3.114 |
| 2.400 | 101.7 | 389.1 | 3.825 |
| 2.600 | 100.1 | 443.2 | 4.429 |
| 2.800 | 99.02 | 492.0 | 4.969 |
| 3.000 | 98.26 | 536.5 | 5.460 |
| 3.200 | 97.65 | 577.1 | 5.909 |
| 3.400 | 97.14 | 613.6 | 6.317 |
| 3.600 | 96.70 | 646.2 | 6.683 |
| 3.800 | 96.30 | 674.8 | 7.007 |
| 4.000 | 95.94 | 699.2 | 7.287 |
| 4.200 | 95.61 | 719.4 | 7.525 |
| 4.400 | 95.29 | 735.4 | 7.718 |
| 4.600 | 94.99 | 747.2 | 7.866 |
| 4.800 | 94.70 | 754.6 | 7.969 |
| 5.000 | 94.41 | 757.8 | 8.026 |
| 5.200 | 94.13 | 756.6 | 8.038 |
| 5.400 | 93.85 | 751.2 | 8.004 |
| 5.600 | 93.56 | 741.5 | 7.925 |
| 5.800 | 93.27 | 727.6 | 7.801 |
| 6.000 | 92.96 | 709.6 | 7.633 |
| 6.200 | 92.64 | 687.6 | 7.422 |
| 6.400 | 92.30 | 661.6 | 7.168 |
| 6.600 | 91.93 | 631.9 | 6.874 |
| 6.800 | 91.52 | 598.5 | 6.539 |
| 7.000 | 91.07 | 561.7 | 6.167 |
| 7.200 | 90.56 | 521.6 | 5.759 |
| 7.400 | 89.98 | 478.4 | 5.317 |
| 7.600 | 89.29 | 432.5 | 4.844 |
| 7.800 | 88.46 | 384.1 | 4.343 |
| 8.000 | 87.43 | 333.7 | 3.817 |
| 8.200 | 86.11 | 281.8 | 3.273 |
| 8.400 | 84.35 | 229.1 | 2.717 |
| 8.600 | 81.92 | 176.7 | 2.157 |
| 8.800 | 78.41 | 126.3 | 1.611 |
| 9.000 | 73.12 | 80.51 | 1.101 |
| 9.200 | 65.04 | 43.11 | 0.6627 |

| | | | |
|-------|-------------|-------------|------------|
| 9.400 | 53.19 | 17.86 | 0.3356 |
| 9.600 | 37.50 | 5.227 | 0.1394 |
| 9.800 | 19.27 | 0.9329 | 0.4842E-01 |
| 10.00 | -0.1856E-02 | -0.2805E-04 | 0.1511E-01 |
| 10.20 | -19.51 | -0.9067E-01 | 0.4657E-02 |
| 10.40 | -38.98 | -0.6114E-01 | 0.1568E-02 |
| 10.60 | -58.29 | -0.3721E-01 | 0.6383E-03 |
| 10.80 | -77.37 | -0.2679E-01 | 0.3463E-03 |
| 11.00 | -96.14 | -0.2643E-01 | 0.2750E-03 |
| 11.20 | -114.5 | -0.3992E-01 | 0.3486E-03 |
| 11.40 | -132.4 | -0.1012 | 0.7639E-03 |
| 11.60 | -149.8 | -0.4638 | 0.3097E-02 |
| 11.80 | -165.6 | -4.010 | 0.2422E-01 |
| 12.00 | -168.0 | -52.03 | 0.3097 |
| 12.20 | -129.9 | -239.3 | 1.842 |
| 12.40 | -108.1 | -366.6 | 3.390 |
| 12.60 | -101.6 | -437.8 | 4.309 |
| 12.80 | -99.37 | -490.8 | 4.939 |
| 13.00 | -98.34 | -536.3 | 5.453 |
| 13.20 | -97.67 | -577.0 | 5.908 |
| 13.40 | -97.15 | -613.6 | 6.316 |
| 13.60 | -96.70 | -646.2 | 6.683 |
| 13.80 | -96.30 | -674.8 | 7.007 |
| 14.00 | -95.94 | -699.2 | 7.288 |
| 14.20 | -95.61 | -719.4 | 7.525 |
| 14.40 | -95.29 | -735.4 | 7.718 |
| 14.60 | -94.99 | -747.2 | 7.866 |
| 14.80 | -94.70 | -754.6 | 7.969 |
| 15.00 | -94.41 | -757.8 | 8.026 |
| 15.20 | -94.13 | -756.6 | 8.038 |
| 15.40 | -93.85 | -751.2 | 8.004 |
| 15.60 | -93.56 | -741.5 | 7.925 |
| 15.80 | -93.27 | -727.6 | 7.801 |
| 16.00 | -92.96 | -709.6 | 7.633 |
| 16.20 | -92.64 | -687.6 | 7.422 |
| 16.40 | -92.30 | -661.6 | 7.168 |
| 16.60 | -91.93 | -631.9 | 6.874 |
| 16.80 | -91.52 | -598.5 | 6.539 |
| 17.00 | -91.07 | -561.7 | 6.167 |
| 17.20 | -90.56 | -521.5 | 5.759 |
| 17.40 | -89.98 | -478.4 | 5.317 |
| 17.60 | -89.29 | -432.5 | 4.844 |
| 17.80 | -88.46 | -384.1 | 4.343 |
| 18.00 | -87.43 | -333.7 | 3.817 |
| 18.20 | -86.10 | -281.8 | 3.273 |
| 18.40 | -84.35 | -229.1 | 2.716 |
| 18.60 | -81.92 | -176.7 | 2.157 |
| 18.80 | -78.41 | -126.3 | 1.611 |
| 19.00 | -73.12 | -80.51 | 1.101 |
| 19.20 | -65.04 | -43.10 | 0.6627 |
| 19.40 | -53.19 | -17.86 | 0.3357 |
| 19.60 | -37.50 | -5.226 | 0.1394 |
| 19.80 | -19.26 | -0.9326 | 0.4841E-01 |
| 20.00 | 0.4873E-02 | 0.7361E-04 | 0.1511E-01 |
| 20.20 | 19.51 | 0.9067E-01 | 0.4656E-02 |
| 20.40 | 38.98 | 0.6113E-01 | 0.1568E-02 |
| 20.60 | 58.29 | 0.3721E-01 | 0.6383E-03 |
| 20.80 | 77.37 | 0.2679E-01 | 0.3463E-03 |
| 21.00 | 96.14 | 0.2644E-01 | 0.2750E-03 |
| 21.20 | 114.5 | 0.3993E-01 | 0.3486E-03 |
| 21.40 | 132.4 | 0.1012 | 0.7641E-03 |
| 21.60 | 149.8 | 0.4640 | 0.3098E-02 |
| 21.80 | 165.6 | 4.012 | 0.2423E-01 |

```
0
0 ROS2. ANA
0
1 TFO
2 POT 1,0.314116
3 SEN 2
4 POT 11,0.091
5 CTE 1.
6 SUM 4,5
7 DIV 14,6
8 MUL 7,11
9 POT 7,000425
10 MUL 9,8
11 INT 12,10,13
12 CTE 4,42
13 POT 11,-3,142
14 POT 3,311,13
15 FIN
>
```

NON CAN

NOMBRE : ROSE ANA

FACTOR DE INTEGRACION : NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1,12

TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 44.

ESTADO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 3

VARIABLES : 7,8,11

LETTEROS

TENS

INTENS

N/F

DIBUJO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0

| TIEMPO | TENS | INTENS | N/F |
|--------|--------|--------|--------|
| 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 4.420 |
| 0.2000 | 16.07 | 38.07 | 2.369 |
| 0.4000 | 34.80 | 46.13 | 1.326 |
| 0.6000 | 54.23 | 44.76 | 0.8254 |
| 0.8000 | 73.31 | 44.66 | 0.6092 |
| 1.000 | 91.46 | 51.50 | 0.5630 |
| 1.200 | 107.9 | 73.05 | 0.6771 |
| 1.400 | 120.8 | 128.4 | 1.063 |
| 1.600 | 126.5 | 256.9 | 2.030 |
| 1.800 | 122.5 | 485.6 | 3.963 |
| 2.000 | 113.4 | 763.0 | 6.725 |
| 2.200 | 105.4 | 1021. | 9.682 |
| 2.400 | 100.0 | 1241. | 12.41 |
| 2.600 | 96.59 | 1431. | 14.82 |
| 2.800 | 94.35 | 1598. | 16.93 |
| 3.000 | 92.81 | 1746. | 18.82 |
| 3.200 | 91.66 | 1879. | 20.50 |
| 3.400 | 90.76 | 1999. | 22.02 |
| 3.600 | 90.02 | 2104. | 23.38 |
| 3.800 | 89.37 | 2197. | 24.58 |
| 4.000 | 88.79 | 2276. | 25.63 |
| 4.200 | 88.27 | 2342. | 26.53 |
| 4.400 | 87.78 | 2394. | 27.27 |
| 4.600 | 87.32 | 2432. | 27.86 |
| 4.800 | 86.88 | 2458. | 28.29 |
| 5.000 | 86.45 | 2469. | 28.56 |
| 5.200 | 86.03 | 2467. | 28.68 |
| 5.400 | 85.61 | 2451. | 28.64 |
| 5.600 | 85.18 | 2422. | 28.44 |
| 5.800 | 84.75 | 2380. | 28.09 |
| 6.000 | 84.30 | 2325. | 27.58 |
| 6.200 | 83.83 | 2258. | 26.93 |
| 6.400 | 83.34 | 2178. | 26.13 |
| 6.600 | 82.81 | 2086. | 25.19 |
| 6.800 | 82.23 | 1983. | 24.12 |
| 7.000 | 81.60 | 1869. | 22.91 |
| 7.200 | 80.89 | 1745. | 21.58 |
| 7.400 | 80.08 | 1612. | 20.13 |
| 7.600 | 79.15 | 1471. | 18.58 |
| 7.800 | 78.03 | 1322. | 16.93 |
| 8.000 | 76.73 | 1166. | 15.20 |
| 8.200 | 75.11 | 1007. | 13.40 |
| 8.400 | 73.05 | 844.3 | 11.56 |
| 8.600 | 70.39 | 682.2 | 9.693 |
| 8.800 | 66.83 | 524.2 | 7.843 |
| 9.000 | 61.97 | 375.5 | 6.060 |
| 9.200 | 55.21 | 243.5 | 4.410 |
| 9.400 | 45.87 | 136.6 | 2.978 |

| | | | |
|-------|-------------|-------------|------------|
| 9.800 | 31.38 | 61.65 | 1.847 |
| 9.800 | 17.82 | 10.80 | 1.055 |
| 10.80 | -0.1772E-02 | -0.1010E-02 | 0.5701 |
| 10.80 | -15.01 | -5.819 | 0.3002 |
| 10.80 | -38.39 | -0.666 | 0.1736 |
| 10.80 | -57.72 | -6.401 | 0.1109 |
| 10.80 | -76.70 | -6.515 | 0.6484E-01 |
| 11.80 | -95.43 | -7.867 | 0.8243E-01 |
| 11.80 | -113.4 | -12.15 | 0.1071 |
| 11.80 | -130.2 | -25.21 | 0.1937 |
| 11.80 | -143.5 | -70.16 | 0.4889 |
| 11.80 | -146.3 | -223.9 | 1.530 |
| 12.80 | -132.3 | -555.4 | 4.197 |
| 12.80 | -115.1 | -914.6 | 7.946 |
| 12.80 | -104.3 | -1195. | 11.46 |
| 12.80 | -98.38 | -1411. | 14.35 |
| 12.80 | -95.10 | -1589. | 16.71 |
| 13.80 | -93.11 | -1743. | 18.72 |
| 13.80 | -91.79 | -1878. | 20.46 |
| 13.80 | -90.81 | -1998. | 22.00 |
| 13.80 | -90.04 | -2104. | 23.37 |
| 13.80 | -89.38 | -2197. | 24.58 |
| 14.80 | -88.80 | -2276. | 25.63 |
| 14.80 | -88.27 | -2342. | 26.53 |
| 14.80 | -87.78 | -2394. | 27.27 |
| 14.80 | -87.32 | -2432. | 27.86 |
| 14.80 | -86.88 | -2458. | 28.29 |
| 15.80 | -86.45 | -2469. | 28.56 |
| 15.80 | -86.03 | -2467. | 28.68 |
| 15.80 | -85.61 | -2451. | 28.63 |
| 15.80 | -85.18 | -2422. | 28.44 |
| 15.80 | -84.75 | -2380. | 28.09 |
| 16.80 | -84.30 | -2325. | 27.58 |
| 16.80 | -83.83 | -2258. | 26.93 |
| 16.80 | -83.34 | -2178. | 26.13 |
| 16.80 | -82.81 | -2086. | 25.19 |
| 16.80 | -82.23 | -1983. | 24.12 |
| 17.80 | -81.60 | -1869. | 22.91 |
| 17.80 | -80.89 | -1745. | 21.58 |
| 17.80 | -80.08 | -1612. | 20.13 |
| 17.80 | -79.15 | -1471. | 18.58 |
| 17.80 | -78.03 | -1322. | 16.93 |
| 18.80 | -76.73 | -1166. | 15.20 |
| 18.80 | -75.11 | -1007. | 13.40 |
| 18.80 | -73.05 | -844.3 | 11.56 |
| 18.80 | -70.39 | -682.2 | 9.692 |
| 18.80 | -68.83 | -524.2 | 7.843 |
| 19.80 | -61.97 | -375.5 | 6.059 |
| 19.80 | -55.21 | -243.5 | 4.410 |
| 19.80 | -45.87 | -136.6 | 2.978 |
| 19.80 | -23.38 | -61.64 | 1.847 |
| 19.80 | -17.82 | -18.80 | 1.055 |
| 20.80 | 0.4653E-02 | 0.2652E-02 | 0.5700 |
| 20.80 | 19.01 | 5.820 | 0.3061 |
| 20.80 | 38.39 | 6.667 | 0.1736 |
| 20.80 | 57.72 | 6.401 | 0.1109 |
| 20.80 | 76.79 | 6.515 | 0.6484E-01 |
| 21.80 | 95.43 | 7.867 | 0.8244E-01 |
| 21.80 | 113.4 | 12.15 | 0.1071 |
| 21.80 | 130.2 | 25.22 | 0.1937 |
| 21.80 | 143.5 | 70.17 | 0.4890 |
| 21.80 | 146.3 | 223.9 | 1.530 |
| 22.80 | 132.3 | 555.5 | 4.197 |
| 22.80 | 115.1 | 914.7 | 7.947 |
| 22.80 | 104.3 | 1195. | 11.46 |
| 22.80 | 98.38 | 1411. | 14.35 |

| | | | |
|-------|-------------|-------------|------------|
| 22.80 | 95.10 | 1589. | 16.71 |
| 23.00 | 93.11 | 1743. | 16.72 |
| 23.20 | 91.79 | 1678. | 20.46 |
| 23.40 | 90.81 | 1996. | 22.00 |
| 23.60 | 90.04 | 2104. | 23.37 |
| 23.80 | 89.36 | 2197. | 24.58 |
| 24.00 | 88.80 | 2276. | 25.63 |
| 24.20 | 88.27 | 2342. | 26.53 |
| 24.40 | 87.78 | 2394. | 27.27 |
| 24.60 | 87.32 | 2433. | 27.86 |
| 24.80 | 86.88 | 2458. | 28.29 |
| 25.00 | 86.45 | 2469. | 28.56 |
| 25.20 | 86.03 | 2467. | 28.68 |
| 25.40 | 85.61 | 2451. | 28.63 |
| 25.60 | 85.18 | 2422. | 28.44 |
| 25.80 | 84.75 | 2380. | 28.09 |
| 26.00 | 84.30 | 2325. | 27.58 |
| 26.20 | 83.83 | 2258. | 26.93 |
| 26.40 | 83.34 | 2178. | 26.13 |
| 26.60 | 82.81 | 2086. | 25.19 |
| 26.80 | 82.23 | 1983. | 24.12 |
| 27.00 | 81.60 | 1869. | 22.91 |
| 27.20 | 80.89 | 1745. | 21.58 |
| 27.40 | 80.08 | 1612. | 20.13 |
| 27.60 | 79.15 | 1471. | 18.58 |
| 27.80 | 78.05 | 1322. | 16.93 |
| 28.00 | 76.73 | 1166. | 15.20 |
| 28.20 | 75.11 | 1007. | 13.40 |
| 28.40 | 73.05 | 844.3 | 11.56 |
| 28.60 | 70.39 | 682.2 | 9.692 |
| 28.80 | 66.83 | 524.1 | 7.842 |
| 29.00 | 61.97 | 375.5 | 6.059 |
| 29.20 | 55.21 | 243.4 | 4.409 |
| 29.40 | 45.86 | 136.6 | 2.978 |
| 29.60 | 33.38 | 61.62 | 1.846 |
| 29.80 | 17.82 | 18.79 | 1.054 |
| 30.00 | -0.1041E-01 | -0.5934E-02 | 0.5699 |
| 30.20 | -19.02 | -5.821 | 0.3061 |
| 30.40 | -38.40 | -6.666 | 0.1736 |
| 30.60 | -57.73 | -6.401 | 0.1109 |
| 30.80 | -76.79 | -6.515 | 0.8484E-01 |
| 31.00 | -95.44 | -7.868 | 0.8244E-01 |
| 31.20 | -113.4 | -12.15 | 0.1071 |
| 31.40 | -130.2 | -25.22 | 0.1937 |
| 31.60 | -143.5 | -70.20 | 0.4891 |
| 31.80 | -146.3 | -224.0 | 1.531 |
| 32.00 | -132.3 | -555.6 | 4.199 |
| 32.20 | -115.1 | -914.8 | 7.948 |
| 32.40 | -104.3 | -1195. | 11.46 |
| 32.60 | -98.38 | -1411. | 14.35 |
| 32.80 | -95.10 | -1589. | 16.71 |
| 33.00 | -93.11 | -1743. | 18.72 |
| 33.20 | -91.79 | -1878. | 20.46 |
| 33.40 | -90.81 | -1996. | 22.00 |
| 33.60 | -90.04 | -2104. | 23.37 |
| 33.80 | -89.36 | -2197. | 24.58 |
| 34.00 | -88.80 | -2276. | 25.63 |
| 34.20 | -88.27 | -2342. | 26.53 |
| 34.40 | -87.78 | -2394. | 27.27 |
| 34.60 | -87.32 | -2433. | 27.86 |
| 34.80 | -86.88 | -2458. | 28.29 |
| 35.00 | -86.45 | -2469. | 28.56 |
| 35.20 | -86.03 | -2467. | 28.68 |
| 35.40 | -85.61 | -2451. | 28.63 |
| 35.60 | -85.18 | -2422. | 28.44 |
| 35.80 | -84.75 | -2380. | 28.09 |

| | | | |
|-------|------------|------------|------------|
| 36.60 | -84.30 | -2325. | 27.58 |
| 36.20 | -83.83 | -2256. | 26.93 |
| 36.40 | -83.34 | -2178. | 26.13 |
| 36.60 | -82.81 | -2086. | 25.19 |
| 36.80 | -82.23 | -1983. | 24.11 |
| 37.00 | -81.60 | -1869. | 22.91 |
| 37.20 | -80.89 | -1745. | 21.58 |
| 37.40 | -80.08 | -1612. | 20.13 |
| 37.60 | -79.15 | -1471. | 18.58 |
| 37.80 | -78.05 | -1322. | 16.93 |
| 38.00 | -76.73 | -1166. | 15.20 |
| 38.20 | -75.11 | -1007. | 13.40 |
| 38.40 | -73.05 | -844.2 | 11.56 |
| 38.60 | -70.39 | -662.1 | 9.691 |
| 38.80 | -66.83 | -524.1 | 7.842 |
| 39.00 | -61.97 | -375.4 | 6.058 |
| 39.20 | -55.21 | -243.4 | 4.409 |
| 39.40 | -45.86 | -136.5 | 2.978 |
| 39.60 | -33.37 | -61.60 | 1.846 |
| 39.80 | -17.81 | -18.78 | 1.054 |
| 40.00 | 0.1551E-01 | 0.8837E-02 | 0.5698 |
| 40.20 | 19.02 | 5.821 | 0.3060 |
| 40.40 | 38.40 | 6.666 | 0.1736 |
| 40.60 | 57.73 | 6.401 | 0.1109 |
| 40.80 | 76.80 | 6.515 | 0.8484E-01 |
| 41.00 | 95.44 | 7.869 | 0.6244E-01 |
| 41.20 | 113.4 | 12.16 | 0.1072 |
| 41.40 | 130.2 | 25.23 | 0.1938 |
| 41.60 | 143.5 | 70.22 | 0.4893 |
| 41.80 | 146.3 | 224.1 | 1.531 |
| 42.00 | 132.3 | 555.7 | 4.200 |
| 42.20 | 115.1 | 914.9 | 7.950 |
| 42.40 | 104.3 | 1195. | 11.46 |
| 42.60 | 98.38 | 1411. | 14.35 |
| 42.80 | 95.09 | 1590. | 16.72 |
| 43.00 | 93.11 | 1743. | 16.72 |
| 43.20 | 91.79 | 1878. | 20.46 |
| 43.40 | 90.81 | 1998. | 22.00 |
| 43.60 | 90.04 | 2104. | 23.37 |
| 43.80 | 89.38 | 2197. | 24.58 |

A P E N D I C E B

=====

Simulación del comportamiento de una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. cuando se emplea un balasto serie formado por una inductancia L y una resistencia R.

Listado del programa simulado mediante CAN. Resultados obteni

```

dos.      1      TFO
          2      FOT      1., 31416
          3      SEN      2
          4      POT      3, 403.
          5      SUM      4, 7, 8
          6      POT      5, 1. 7543
          7      POT      9, 7. 13E-3
          8      POT      15, -1.
          9      INT      11, 6
         10      CTE      0.
         11      CTE      -2464.
         12      INT      13, 14, 17
         13      CTE      28. 84
         14      POT      12, -3. 142
         15      DIV      9, 12
         16      MUL      9, 15
         17      FOT      16., 425E-3
         18      POT      15, -1.
         19      SUM      4, 18
         20      FIN
        >

```

Listado del programa una vez estabilizado el sistema. Resulta

dos obtenidos.

```

1      TFO
2      FOT      1., 31416
3      SEN      2
4      POT      3, 403.
5      SUM      4, 7, 8
6      POT      5, 1. 7543
7      POT      9, 7. 13E-3
8      POT      15, -1.
9      INT      11, 6
10     CTE      0.
11     CTE      -2065.
12     INT      13, 14, 17
13     CTE      24. 18
14     POT      12, -3. 142
15     DIV      9, 12
16     MUL      9, 15
17     FOT      16., 425E-3
18     POT      15, -1.
19     SUM      4, 18
20     FIN

```

ROS1.ANA
 PASO DE INTEGRACION UNIDAD DE PASOS PARA ESCRITURA : 1000
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 400.

LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 3
 VARIABLES : 9,15,12

LETREROS

MAMP

VOLTS

N/F

DIBUJO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0

| TIEMPO | MAMP | VOLTS | N/F |
|--------|--------|--------|-------|
| 0.0000 | -2464. | -85.44 | 28.84 |
| 20.00 | -2269. | -85.50 | 26.53 |
| 40.00 | -2170. | -85.47 | 25.38 |
| 60.00 | -2119. | -85.46 | 24.80 |
| 80.00 | -2094. | -85.45 | 24.50 |
| 100.0 | -2081. | -85.44 | 24.35 |
| 120.0 | -2074. | -85.44 | 24.27 |
| 140.0 | -2070. | -85.44 | 24.23 |
| 160.0 | -2068. | -85.44 | 24.21 |
| 180.0 | -2067. | -85.44 | 24.20 |
| 200.0 | -2067. | -85.44 | 24.19 |
| 220.0 | -2067. | -85.44 | 24.19 |
| 240.0 | -2067. | -85.44 | 24.19 |
| 260.0 | -2067. | -85.44 | 24.19 |
| 280.0 | -2067. | -85.44 | 24.19 |
| 300.0 | -2067. | -85.44 | 24.19 |
| 320.0 | -2067. | -85.44 | 24.19 |
| 340.0 | -2067. | -85.43 | 24.19 |
| 360.0 | -2067. | -85.43 | 24.19 |
| 380.0 | -2066 | -85.43 | 24.19 |

371 .71 71k

9

1k .28.57.3k28

015

1.12-112.29112

12

68.37-257.11-112 5

13.71-371.12-3122.37

22.85-485.21-571.12.29



CON CAP
 MODULO : PDCO GMA
 PASO DE INTEGRACION : NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1.4
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 40.
 LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 3
 VARIABLES : S, IS, I2
 LETREROS
 NAME
 VOLTS
 CAP
 DIBUJO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0

| TIEMPO | NAME | VOLTS | NAME |
|--------|--------|--------|-------|
| 0.0000 | -2065. | -85.40 | 24.18 |
| 0.4000 | -2000. | -84.82 | 23.58 |
| 0.8000 | -1900. | -84.14 | 22.58 |
| 1.200 | -1765. | -83.36 | 21.17 |
| 1.600 | -1557. | -82.41 | 19.36 |
| 2.000 | -1357. | -81.20 | 17.21 |
| 2.400 | -1169. | -79.53 | 14.70 |
| 2.800 | -914.6 | -77.00 | 11.88 |
| 3.200 | -638.6 | -72.56 | 8.800 |
| 3.600 | -346.5 | -62.47 | 5.546 |
| 4.000 | -51.95 | -21.81 | 2.382 |
| 4.400 | 183.4 | 113.8 | 1.612 |
| 4.800 | 387.3 | 105.3 | 3.678 |
| 5.200 | 601.0 | 98.87 | 6.079 |
| 5.600 | 817.2 | 95.43 | 8.563 |
| 6.000 | 1030. | 93.28 | 11.04 |
| 6.400 | 1234. | 91.77 | 13.45 |
| 6.800 | 1426. | 90.64 | 15.73 |
| 7.200 | 1600. | 89.73 | 17.83 |
| 7.600 | 1753. | 88.97 | 19.70 |
| 8.000 | 1882. | 88.36 | 21.31 |
| 8.400 | 1983. | 87.69 | 22.61 |
| 8.800 | 2054. | 87.12 | 23.58 |
| 9.200 | 2093. | 86.57 | 24.18 |
| 9.600 | 2098. | 86.01 | 24.39 |
| 10.00 | 2058. | 85.44 | 24.21 |
| 10.40 | 2003. | 84.83 | 23.62 |
| 10.80 | 1903. | 84.15 | 22.62 |
| 11.20 | 1768. | 83.36 | 21.21 |
| 11.60 | 1600. | 82.42 | 19.42 |
| 12.00 | 1401. | 81.21 | 17.23 |
| 12.40 | 1172. | 79.53 | 14.74 |
| 12.80 | 916.1 | 77.03 | 11.92 |
| 13.20 | 642.1 | 72.63 | 8.841 |
| 13.60 | 349.9 | 62.65 | 5.585 |
| 14.00 | 55.89 | 22.82 | 2.414 |
| 14.40 | -181.3 | -123.6 | 1.596 |
| 14.80 | -385.2 | -105.4 | 3.654 |
| 15.20 | -598.8 | -98.91 | 6.054 |
| 15.60 | -814.9 | -95.45 | 8.537 |
| 16.00 | -1028. | -93.29 | 11.02 |
| 16.40 | -1238. | -91.79 | 13.42 |
| 16.80 | -1413. | -90.65 | 15.70 |
| 17.20 | -1558. | -89.74 | 17.80 |
| 17.60 | -1751. | -88.97 | 19.68 |
| 18.00 | -1880. | -88.36 | 21.28 |
| 18.40 | -1981. | -87.69 | 22.59 |

| | | | |
|-------|--------|--------|-------|
| 18.00 | -2030 | -87.12 | 23.55 |
| 19.00 | -2031 | -86.57 | 24.15 |
| 19.00 | -2096 | -86.01 | 24.37 |
| 20.00 | -2066 | -85.44 | 24.18 |
| 20.40 | -2001 | -84.82 | 23.59 |
| 20.80 | -1901 | -84.14 | 22.59 |
| 21.20 | -1766 | -83.36 | 21.18 |
| 21.60 | -1598 | -82.41 | 19.39 |
| 22.00 | -1398 | -81.20 | 17.22 |
| 22.40 | -1170 | -79.53 | 14.71 |
| 22.80 | -915.6 | -77.01 | 11.89 |
| 23.20 | -639.5 | -72.58 | 8.812 |
| 23.60 | -347.5 | -62.52 | 5.557 |
| 24.00 | -52.83 | -22.10 | 2.391 |
| 24.40 | 182.8 | 113.7 | 1.608 |
| 24.80 | 386.7 | 105.3 | 3.671 |
| 25.20 | 600.4 | 98.88 | 6.072 |
| 25.60 | 816.5 | 95.43 | 8.556 |
| 26.00 | 1029 | 93.28 | 11.03 |
| 26.40 | 1234 | 91.78 | 13.44 |
| 26.80 | 1425 | 90.64 | 15.72 |
| 27.20 | 1599 | 89.74 | 17.82 |
| 27.60 | 1752 | 88.97 | 19.70 |
| 28.00 | 1881 | 88.30 | 21.30 |
| 28.40 | 1982 | 87.69 | 22.61 |
| 28.80 | 2054 | 87.12 | 23.57 |
| 29.20 | 2092 | 86.57 | 24.17 |
| 29.60 | 2098 | 86.01 | 24.39 |
| 30.00 | 2068 | 85.44 | 24.20 |
| 30.40 | 2003 | 84.83 | 23.61 |
| 30.80 | 1902 | 84.15 | 22.61 |
| 31.20 | 1768 | 83.36 | 21.20 |
| 31.60 | 1600 | 82.42 | 19.41 |
| 32.00 | 1400 | 81.20 | 17.24 |
| 32.40 | 1172 | 79.54 | 14.73 |
| 32.80 | 917.4 | 77.02 | 11.91 |
| 33.20 | 641.3 | 72.61 | 8.832 |
| 33.60 | 349.2 | 62.61 | 5.577 |
| 34.00 | 54.42 | 22.61 | 2.407 |
| 34.40 | -181.8 | -113.6 | 1.600 |
| 34.80 | -385.6 | -105.4 | 3.659 |
| 35.20 | -599.3 | -98.90 | 6.059 |
| 35.60 | -815.4 | -95.45 | 8.543 |
| 36.00 | -1028 | -93.29 | 11.02 |
| 36.40 | -1232 | -91.78 | 13.43 |
| 36.80 | -1424 | -90.65 | 15.71 |
| 37.20 | -1598 | -89.74 | 17.81 |
| 37.60 | -1751 | -88.97 | 19.68 |
| 38.00 | -1880 | -88.30 | 21.29 |
| 38.40 | -1981 | -87.69 | 22.59 |
| 38.80 | -2052 | -87.12 | 23.56 |
| 39.20 | -2091 | -86.57 | 24.16 |
| 39.60 | -2096 | -86.01 | 24.37 |
| 40.00 | -2066 | -85.44 | 24.19 |

11:03:06 LOGIN USER SANZ
 *** DR1: -- DISMOUNT COMPLETE

[7,70] TT1:

201

A P E N D I C E C
=====

Calculo del area de un semiperiodo de las potencias, dos, cu
tro y seis de la tensión y corriente de lámpara.

Se han calculado los valores de las correspondien-
tes potencias y realizado la integración por el metodo de los
trapeacios. El programa cuyo listado se incluye realiza tambien
las graficas de estas funciones.

```

C
C AREAS: CALCULO DEL AREA CONTENIDA EN UN SEMIPERODO
C DE LAS POTENCIAS 2.4 Y 6 DE LAS TENSIONES Y
C CORRIENTES.
C DIBUJO DE TENSION, CORRIENTE Y CORR/TENS
C
REAL T(30),V(30),C(30)
DO 1 NF=1,30
READ (1,*) T(NF),V(NF),C(NF)
IF (T(NF).LT.0.) GO TO 2
1 CONTINUE
2 NP = NF-1
CALL MARCO
DO 3 I=1,NP
YY = 15.-FLOAT(I)/2.
CALL NOMBA(2.,YY,0,T(I),1.,3.,3,1.,0.)
CALL NOMBA(4.,YY,0,V(I),2.,3.,3,1.,0.)
CALL NOMBA(6.,YY,0,C(I),3.,3.,3,1.,0.)
CDV = 0.
IF (C(I).GT.1.E-10) CDV = C(I)/V(I)
3 CALL NOMBA(8.,YY,0,CDV,-4.,3.,3,1.,0.)
CALL TRAA(2.,17.,0)
CALL CUA(10.,10.)
CALL ECHEL(1.,.05,2.,17.)
CALL TRAS(0.,0.,0)
DO 4 I=1,NP
4 CALL TRAS(T(I),V(I),1)
CALL ECHEL(1.,5.,2.,17.)
DO 5 I=1,NP
5 CALL TRAS(T(I),C(I),1)
CALL ECHEL(1.,150.,2.,17.)
CALL TRAS(T(2),C(2)/V(2),0)
DO 6 I=3,NP-1
6 CALL TRAS(T(I),C(I)/V(I),1)
DO 12 N=2,6,2
SV = 0.
SC = 0.
TA = T(1)
VA = V(1)**N
CA = C(1)**N
DO 11 I=2,NP
11 TN = T(I)**N
VN = V(I)**N
CN = C(I)**N
H = TN-TA
SV = SV+ABS(H*(VN-VA))
SC = SC+ABS(H*(CN-CA))
TA = TN
VA = VN
CA = CN
YY = FLOAT(N)/2.
CALL NOMBA(12.5,27.-YY,0,SV/2.,-3.,5.,5,1.,0.)
12 CALL NOMBA(12.5,22.-YY,0,SC/2.,-3.,5.,5,1.,0.)
CALL PNUMA(-2.3,29.5,9999.0.,0.)
STOP
END

```

```
SUBROUTINE MARCO
INTEGER IEUF(256)
CALL IBENA(IEUF,256,2)
CALL CUA(21.,29.7)
CALL PNUMA(2,3.,5,NB,0.,0.)
CALL CUA(18.,28.5)
RETURN
END
```

```
-----
SUBROUTINE CUA(TX,TY)
CALL TRAA(TX,0.,3)
CALL TRAA(0.,TY,3)
CALL TRAA(-TX,0.,3)
CALL TRAA(0.,-TY,3)
RETURN
END
```

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0. | 0. | 0. |
| .1 | 25 | .025 |
| .2 | 37.5 | .1 |
| .3 | 50 | .15 |
| .4 | 75 | .2 |
| .5 | 170 | .25 |
| .6 | 150 | .275 |
| 1. | 142.5 | .475 |
| 1.5 | 130 | .7 |
| 2. | 120 | .825 |
| 2.5 | 115 | .825 |
| 3. | 107.5 | .9 |
| 3.5 | 102.5 | .988 |
| 4. | 100 | 1.075 |
| 4.5 | 97.5 | 1.15 |
| 5. | 95 | 1.225 |
| 6. | 93.75 | 1.275 |
| 6.5 | 95 | 1.250 |
| 7. | 95 | 1.175 |
| 8. | 95 | .9 |
| 9. | 90 | .525 |
| 9.5 | 75 | .3 |
| 9.7 | 50 | .225 |
| 9.9 | 25 | .75 |
| 10. | 0. | 0. |
| -999. | | |

Listado correspondiente a la fig. 4-20

| | | |
|-----|-------|-------|
| 0. | 0. | 0. |
| .5 | 50. | .3 |
| 1. | 108.7 | .575 |
| 1.5 | 152.5 | .725 |
| 1.7 | 167.4 | .75 |
| 2. | 177.5 | .745 |
| 2.5 | 122.5 | .7 |
| 3. | 97.5 | .625 |
| 3.5 | 91.25 | .55 |
| 3.9 | 87.5 | .485 |
| 4.1 | 86.5 | .485 |
| 4.5 | 85. | .525 |
| 5. | 85. | 1.525 |
| 5.3 | 85. | 1.750 |
| 5.8 | 83.78 | 1.875 |
| 6. | 82.5 | 1.9 |
| 6.5 | 81.4 | 1.85 |
| 7. | 80. | 1.775 |
| 7.5 | 80. | 1.65 |
| 8. | 80. | 1.475 |
| 8.5 | 75. | 1.15 |
| 9. | 62.5 | .75 |
| 9.5 | 37.5 | .425 |
| 9.8 | 17.5 | .05 |
| 10. | 0. | 0. |

-999

Listado correspondiente a la fig. 4-21

A P E N D I C E D

Simulación mediante CAN del comportamiento de una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. con la función $f(v)$.

a) Listado del programa correspondiente a un balasto resistivo.

```
0
1   TFO
2   POT      1. 31416
3   SEN      2
4   POT      3. 403.
5   INT      8, 4, 6, 7
6   POT      13, -1.
7   POT      9, -0. 0075
8   CTE      -1045.
9   POT      5, 1. 7543
10  INT      12, 11, 18
11  POT      10, -3. 142
12  CTE      16. 41
13  DIV      9, 10
14  POT      13, 24. E-5
15  SUM      14, 17
16  MUL      13, 13, 13
17  POT      16, 309. E-12
18  MUL      9, 15
19  FIN
>
```

b) Resultados obtenidos.

NOMBRE : FRL ANA
 PASO DE INTEGRACION , NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1,2
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 44.
 LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 3
 VARIABLES : 13,9,10
 LETREROS
 VOLTS
 MAMPRS
 N/F
 DIBUJO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0

| TIEMPO | VOLTS | MAMPRS | N/F |
|--------|--------|--------|--------|
| 0.0000 | -111.7 | -1833. | 16.41 |
| 0.2000 | -111.3 | -1786. | 16.05 |
| 0.4000 | -110.8 | -1730. | 15.62 |
| 0.6000 | -110.2 | -1666. | 15.11 |
| 0.8000 | -109.7 | -1593. | 14.53 |
| 1.000 | -109.0 | -1513. | 13.88 |
| 1.200 | -108.2 | -1424. | 13.15 |
| 1.400 | -107.4 | -1327. | 12.36 |
| 1.600 | -106.4 | -1223. | 11.50 |
| 1.800 | -105.1 | -1112. | 10.58 |
| 2.000 | -103.6 | -994.0 | 9.590 |
| 2.200 | -101.7 | -869.7 | 8.548 |
| 2.400 | -99.22 | -739.7 | 7.455 |
| 2.600 | -95.72 | -604.5 | 6.315 |
| 2.800 | -90.48 | -465.0 | 5.140 |
| 3.000 | -81.83 | -322.6 | 3.943 |
| 3.200 | -65.19 | -179.5 | 2.754 |
| 3.400 | -24.87 | -41.16 | 1.655 |
| 3.600 | 80.86 | 76.59 | 0.9472 |
| 3.800 | 145.8 | 161.7 | 1.109 |
| 4.000 | 143.5 | 242.6 | 1.691 |
| 4.200 | 137.7 | 328.0 | 2.383 |
| 4.400 | 133.3 | 417.2 | 3.129 |
| 4.600 | 130.2 | 509.2 | 3.911 |
| 4.800 | 127.9 | 603.2 | 4.717 |
| 5.000 | 126.0 | 698.2 | 5.540 |
| 5.200 | 124.5 | 793.6 | 6.372 |
| 5.400 | 123.3 | 888.8 | 7.207 |
| 5.600 | 122.3 | 983.0 | 8.039 |
| 5.800 | 121.4 | 1076. | 8.863 |
| 6.000 | 120.6 | 1166. | 9.672 |
| 6.200 | 119.9 | 1254. | 10.46 |
| 6.400 | 119.3 | 1339. | 11.23 |
| 6.600 | 118.7 | 1420. | 11.96 |
| 6.800 | 118.2 | 1497. | 12.67 |
| 7.000 | 117.7 | 1569. | 13.33 |
| 7.200 | 117.2 | 1636. | 13.96 |
| 7.400 | 116.8 | 1698. | 14.53 |
| 7.600 | 116.4 | 1753. | 15.06 |
| 7.800 | 116.0 | 1802. | 15.53 |
| 8.000 | 115.6 | 1844. | 15.95 |
| 8.200 | 115.2 | 1879. | 16.30 |
| 8.400 | 114.9 | 1906. | 16.60 |
| 8.600 | 114.5 | 1926. | 16.82 |
| 8.800 | 114.1 | 1938. | 16.98 |
| 9.000 | 113.8 | 1942. | 17.07 |
| 9.200 | 113.4 | 1938. | 17.09 |
| 9.400 | 113.0 | 1925. | 17.03 |

| | | | |
|-------|--------|--------|--------|
| 9.600 | 112.6 | 1903. | 16.90 |
| 9.800 | 112.2 | 1873. | 16.70 |
| 10.00 | 111.8 | 1835. | 16.42 |
| 10.20 | 111.3 | 1788. | 16.06 |
| 10.40 | 110.8 | 1732. | 15.63 |
| 10.60 | 110.3 | 1668. | 15.13 |
| 10.80 | 109.7 | 1595. | 14.54 |
| 11.00 | 109.0 | 1514. | 13.89 |
| 11.20 | 108.2 | 1425. | 13.17 |
| 11.40 | 107.4 | 1329. | 12.37 |
| 11.60 | 106.4 | 1225. | 11.51 |
| 11.80 | 105.2 | 1113. | 10.59 |
| 12.00 | 103.7 | 995.5 | 9.604 |
| 12.20 | 101.8 | 871.2 | 8.562 |
| 12.40 | 99.25 | 741.2 | 7.468 |
| 12.60 | 95.76 | 606.0 | 6.328 |
| 12.80 | 90.54 | 466.5 | 5.152 |
| 13.00 | 81.93 | 324.0 | 3.955 |
| 13.20 | 65.41 | 180.9 | 2.765 |
| 13.40 | 25.47 | 42.38 | 1.664 |
| 13.60 | -79.67 | -75.70 | 0.9502 |
| 13.80 | -145.7 | -161.0 | 1.105 |
| 14.00 | -143.5 | -241.9 | 1.685 |
| 14.20 | -137.7 | -327.3 | 2.377 |
| 14.40 | -133.4 | -416.5 | 3.123 |
| 14.60 | -130.2 | -508.5 | 3.904 |
| 14.80 | -127.9 | -602.4 | 4.711 |
| 15.00 | -126.0 | -697.5 | 5.534 |
| 15.20 | -124.6 | -792.9 | 6.366 |
| 15.40 | -123.3 | -888.0 | 7.201 |
| 15.60 | -122.3 | -982.3 | 8.033 |
| 15.80 | -121.4 | -1075. | 8.856 |
| 16.00 | -120.6 | -1166. | 9.666 |
| 16.20 | -119.9 | -1254. | 10.46 |
| 16.40 | -119.3 | -1339. | 11.22 |
| 16.60 | -118.7 | -1420. | 11.96 |
| 16.80 | -118.2 | -1497. | 12.66 |
| 17.00 | -117.7 | -1569. | 13.33 |
| 17.20 | -117.2 | -1636. | 13.95 |
| 17.40 | -116.8 | -1697. | 14.53 |
| 17.60 | -116.4 | -1752. | 15.05 |
| 17.80 | -116.0 | -1801. | 15.53 |
| 18.00 | -115.6 | -1843. | 15.94 |
| 18.20 | -115.2 | -1878. | 16.30 |
| 18.40 | -114.9 | -1906. | 16.59 |
| 18.60 | -114.5 | -1926. | 16.82 |
| 18.80 | -114.1 | -1938. | 16.98 |
| 19.00 | -113.8 | -1941. | 17.07 |
| 19.20 | -113.4 | -1937. | 17.08 |
| 19.40 | -113.0 | -1924. | 17.03 |
| 19.60 | -112.6 | -1903. | 16.90 |
| 19.80 | -112.2 | -1873. | 16.69 |
| 20.00 | -111.8 | -1834. | 16.41 |
| 20.20 | -111.3 | -1787. | 16.06 |
| 20.40 | -110.8 | -1731. | 15.62 |
| 20.60 | -110.2 | -1667. | 15.12 |
| 20.80 | -109.7 | -1594. | 14.54 |
| 21.00 | -109.0 | -1513. | 13.89 |
| 21.20 | -108.2 | -1425. | 13.16 |
| 21.40 | -107.4 | -1328. | 12.37 |
| 21.60 | -106.4 | -1224. | 11.51 |
| 21.80 | -105.1 | -1113. | 10.58 |
| 22.00 | -103.7 | -994.8 | 9.598 |
| 22.20 | -101.8 | -870.5 | 8.555 |
| 22.40 | -99.24 | -740.5 | 7.462 |
| 22.60 | -95.74 | -605.3 | 6.322 |

| | | | |
|-------|--------|--------|--------|
| 22.80 | -50.51 | -465.8 | 5.147 |
| 23.00 | -61.88 | -323.4 | 3.949 |
| 23.20 | -65.30 | -180.2 | 2.760 |
| 23.40 | -25.19 | -41.81 | 1.660 |
| 23.60 | 80.23 | 76.12 | 0.9488 |
| 23.80 | 145.8 | 161.3 | 1.107 |
| 24.00 | 143.5 | 242.2 | 1.688 |
| 24.20 | 137.7 | 327.6 | 2.380 |
| 24.40 | 133.4 | 416.9 | 3.126 |
| 24.60 | 130.2 | 508.9 | 3.907 |
| 24.80 | 127.9 | 602.8 | 4.714 |
| 25.00 | 126.0 | 697.8 | 5.537 |
| 25.20 | 124.5 | 793.2 | 6.369 |
| 25.40 | 123.3 | 888.4 | 7.204 |
| 25.60 | 122.3 | 982.7 | 8.036 |
| 25.80 | 121.4 | 1075. | 8.859 |
| 26.00 | 120.6 | 1166. | 9.669 |
| 26.20 | 119.9 | 1254. | 10.46 |
| 26.40 | 119.3 | 1339. | 11.22 |
| 26.60 | 118.7 | 1420. | 11.96 |
| 26.80 | 118.2 | 1497. | 12.66 |
| 27.00 | 117.7 | 1569. | 13.33 |
| 27.20 | 117.2 | 1636. | 13.95 |
| 27.40 | 116.8 | 1697. | 14.53 |
| 27.60 | 116.4 | 1753. | 15.06 |
| 27.80 | 116.0 | 1801. | 15.53 |
| 28.00 | 115.6 | 1844. | 15.94 |
| 28.20 | 115.2 | 1878. | 16.30 |
| 28.40 | 114.9 | 1906. | 16.59 |
| 28.60 | 114.5 | 1926. | 16.82 |
| 28.80 | 114.1 | 1938. | 16.98 |
| 29.00 | 113.8 | 1942. | 17.07 |
| 29.20 | 113.4 | 1937. | 17.09 |
| 29.40 | 113.0 | 1924. | 17.03 |
| 29.60 | 112.6 | 1903. | 16.90 |
| 29.80 | 112.2 | 1873. | 16.69 |
| 30.00 | 111.8 | 1834. | 16.41 |
| 30.20 | 111.3 | 1787. | 16.06 |
| 30.40 | 110.8 | 1731. | 15.63 |
| 30.60 | 110.2 | 1667. | 15.12 |
| 30.80 | 109.7 | 1594. | 14.54 |
| 31.00 | 109.0 | 1514. | 13.89 |
| 31.20 | 108.2 | 1425. | 13.16 |
| 31.40 | 107.4 | 1328. | 12.37 |
| 31.60 | 106.4 | 1224. | 11.51 |
| 31.80 | 105.1 | 1113. | 10.59 |
| 32.00 | 103.7 | 995.0 | 9.600 |
| 32.20 | 101.8 | 870.8 | 8.558 |
| 32.40 | 99.24 | 740.7 | 7.464 |
| 32.60 | 95.74 | 605.5 | 6.324 |
| 32.80 | 90.52 | 466.1 | 5.149 |
| 33.00 | 81.90 | 323.6 | 3.951 |
| 33.20 | 65.34 | 180.5 | 2.762 |
| 33.40 | 25.28 | 42.00 | 1.661 |
| 33.60 | -80.04 | -75.98 | 0.9493 |
| 33.80 | -145.7 | -161.2 | 1.106 |
| 34.00 | -143.5 | -242.1 | 1.687 |
| 34.20 | -137.7 | -327.5 | 2.379 |
| 34.40 | -133.4 | -416.7 | 3.125 |
| 34.60 | -130.2 | -508.8 | 3.906 |
| 34.80 | -127.9 | -602.7 | 4.713 |
| 35.00 | -126.0 | -697.7 | 5.536 |
| 35.20 | -124.6 | -793.1 | 6.368 |
| 35.40 | -123.3 | -888.3 | 7.203 |
| 35.60 | -122.3 | -982.5 | 8.035 |
| 35.80 | -121.4 | -1075. | 8.858 |

| | | | |
|-------|--------|--------|--------|
| 36.00 | -120.6 | -1166. | 9.668 |
| 36.20 | -119.9 | -1254. | 10.46 |
| 36.40 | -119.3 | -1339. | 11.22 |
| 36.60 | -118.7 | -1420. | 11.96 |
| 36.80 | -118.2 | -1497. | 12.66 |
| 37.00 | -117.7 | -1569. | 13.33 |
| 37.20 | -117.2 | -1636. | 13.95 |
| 37.40 | -116.8 | -1697. | 14.53 |
| 37.60 | -116.4 | -1752. | 15.06 |
| 37.80 | -116.0 | -1801. | 15.53 |
| 38.00 | -115.6 | -1843. | 15.94 |
| 38.20 | -115.2 | -1878. | 16.30 |
| 38.40 | -114.9 | -1906. | 16.59 |
| 38.60 | -114.5 | -1926. | 16.82 |
| 38.80 | -114.1 | -1938. | 16.98 |
| 39.00 | -113.8 | -1942. | 17.07 |
| 39.20 | -113.4 | -1937. | 17.08 |
| 39.40 | -113.0 | -1924. | 17.03 |
| 39.60 | -112.6 | -1903. | 16.90 |
| 39.80 | -112.2 | -1873. | 16.69 |
| 40.00 | -111.8 | -1834. | 16.41 |
| 40.20 | -111.3 | -1787. | 16.06 |
| 40.40 | -110.8 | -1731. | 15.63 |
| 40.60 | -110.2 | -1667. | 15.12 |
| 40.80 | -109.7 | -1594. | 14.54 |
| 41.00 | -109.0 | -1514. | 13.89 |
| 41.20 | -108.2 | -1425. | 13.16 |
| 41.40 | -107.4 | -1328. | 12.37 |
| 41.60 | -106.4 | -1224. | 11.51 |
| 41.80 | -105.1 | -1113. | 10.58 |
| 42.00 | -103.7 | -994.9 | 9.598 |
| 42.20 | -101.9 | -870.6 | 8.556 |
| 42.40 | -99.24 | -740.5 | 7.462 |
| 42.60 | -95.74 | -605.4 | 6.323 |
| 42.80 | -90.51 | -465.9 | 5.147 |
| 43.00 | -81.89 | -323.4 | 3.950 |
| 43.20 | -65.31 | -180.3 | 2.761 |
| 43.40 | -25.21 | -41.86 | 1.660 |
| 43.60 | 80.18 | 76.08 | 0.9489 |
| 43.80 | 145.7 | 161.3 | 1.107 |

- c) Listado del programa correspondiente a la simulación de una lámpara fluorescente de 110 wátios A.R. a partir de la función $f(v)$ y un balasto serie constituido por una inductancia L y una resistencia R .

| | | |
|----|---------|---------------|
| 0 | | |
| 0 | FR. ANR | |
| 0 | | |
| 1 | TPO | |
| 2 | POT | 1, . 31416 |
| 3 | SEN | 2 |
| 4 | FOT | 11, . 091 |
| 5 | CTE | 1. |
| 6 | SUM | 4, 5 |
| 7 | DIV | 14, 6 |
| 8 | MUL | 7, 11 |
| 9 | FOT | 18, 1. |
| 10 | MUL | 9, 8 |
| 11 | INT | 12, 10, 13 |
| 12 | CTE | 4, 42 |
| 13 | FOT | 11, -3, 142 |
| 14 | POT | 3, 311, 13 |
| 15 | FOT | 7, . 24E-3 |
| 16 | MUL | 7, 7, 7 |
| 17 | POT | 16, . 0309E-8 |
| 18 | SUM | 15, 17 |
| 19 | FIN | |
| > | | |

b) Resultados obtenidos

RUN CAN
 NOMBRE : FR. ANA
 PASO DE INTEGRACION. , NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : , 1,2
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION. : 44.

LISTADO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 3

VARIABLES : 7,8,11

LETREKOS

VOLTS

AMP/1000

N/F

DIBUJO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0

| TIEMPO | VOLTS | AMP/10 | N/F |
|--------|--------|--------|--------|
| 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 4.420 |
| 0.2000 | 16.00 | 38.01 | 2.364 |
| 0.4000 | 34.68 | 45.20 | 1.296 |
| 0.6000 | 54.55 | 41.19 | 0.7551 |
| 0.8000 | 74.10 | 36.00 | 0.4859 |
| 1.000 | 93.11 | 33.31 | 0.3577 |
| 1.200 | 111.4 | 34.63 | 0.3109 |
| 1.400 | 128.6 | 42.15 | 0.3276 |
| 1.600 | 144.3 | 61.41 | 0.4256 |
| 1.800 | 157.0 | 106.7 | 0.6796 |
| 2.000 | 163.9 | 208.7 | 1.274 |
| 2.200 | 161.6 | 403.1 | 2.493 |
| 2.400 | 151.9 | 671.1 | 4.417 |
| 2.600 | 141.2 | 941.0 | 6.666 |
| 2.800 | 133.1 | 1172. | 8.810 |
| 3.000 | 127.7 | 1363. | 10.67 |
| 3.200 | 124.2 | 1522. | 12.25 |
| 3.400 | 121.9 | 1657. | 13.60 |
| 3.600 | 120.2 | 1773. | 14.75 |
| 3.800 | 118.9 | 1872. | 15.74 |
| 4.000 | 117.9 | 1956. | 16.59 |
| 4.200 | 117.0 | 2025. | 17.30 |
| 4.400 | 116.3 | 2081. | 17.90 |
| 4.600 | 115.6 | 2122. | 18.36 |
| 4.800 | 114.9 | 2150. | 18.71 |
| 5.000 | 114.3 | 2163. | 18.94 |
| 5.200 | 113.6 | 2164. | 19.04 |
| 5.400 | 113.0 | 2150. | 19.02 |
| 5.600 | 112.4 | 2123. | 18.89 |
| 5.800 | 111.8 | 2093. | 18.64 |
| 6.000 | 111.1 | 2031. | 18.28 |
| 6.200 | 110.4 | 1965. | 17.80 |
| 6.400 | 109.7 | 1888. | 17.21 |
| 6.600 | 108.9 | 1799. | 16.52 |
| 6.800 | 108.0 | 1699. | 15.73 |
| 7.000 | 107.1 | 1589. | 14.84 |
| 7.200 | 106.0 | 1470. | 13.86 |
| 7.400 | 104.7 | 1341. | 12.80 |
| 7.600 | 103.3 | 1205. | 11.67 |

| | | | |
|-------|-------------|-------------|------------|
| 7.800 | 101.5 | 1064. | 10.48 |
| 8.000 | 99.39 | 917.4 | 9.230 |
| 8.200 | 96.72 | 769.1 | 7.952 |
| 8.400 | 93.31 | 621.7 | 6.663 |
| 8.600 | 89.87 | 479.1 | 5.391 |
| 8.800 | 83.00 | 346.6 | 4.176 |
| 9.000 | 75.19 | 230.2 | 3.062 |
| 9.200 | 64.95 | 136.6 | 2.103 |
| 9.400 | 51.96 | 69.69 | 1.341 |
| 9.600 | 36.36 | 28.91 | 0.7950 |
| 9.800 | 18.78 | 8.325 | 0.4434 |
| 10.00 | -0.1825E-02 | -0.4351E-03 | 0.2384 |
| 10.20 | -19.31 | -2.465 | 0.1277 |
| 10.40 | -38.75 | -2.735 | 0.7058E-01 |
| 10.60 | -58.08 | -2.425 | 0.4176E-01 |
| 10.80 | -77.18 | -2.115 | 0.2740E-01 |
| 11.00 | -95.97 | -1.981 | 0.2065E-01 |
| 11.20 | -114.3 | -2.111 | 0.1846E-01 |
| 11.40 | -132.2 | -2.671 | 0.2020E-01 |
| 11.60 | -149.5 | -4.159 | 0.2782E-01 |
| 11.80 | -166.0 | -8.190 | 0.4935E-01 |
| 12.00 | -181.0 | -20.69 | 0.1143 |
| 12.20 | -192.4 | -65.56 | 0.3408 |
| 12.40 | -192.6 | -224.0 | 1.163 |
| 12.60 | -174.0 | -579.8 | 3.331 |
| 12.80 | -151.2 | -973.3 | 6.439 |
| 13.00 | -136.3 | -1268. | 9.298 |
| 13.20 | -128.2 | -1478. | 11.53 |
| 13.40 | -123.7 | -1637. | 13.24 |
| 13.60 | -121.0 | -1764. | 14.57 |
| 13.80 | -119.3 | -1868. | 15.66 |
| 14.00 | -118.1 | -1954. | 16.55 |
| 14.20 | -117.1 | -2025. | 17.29 |
| 14.40 | -116.3 | -2080. | 17.89 |
| 14.60 | -115.6 | -2122. | 18.36 |
| 14.80 | -114.9 | -2150. | 18.71 |
| 15.00 | -114.3 | -2163. | 18.93 |
| 15.20 | -113.6 | -2164. | 19.04 |
| 15.40 | -113.0 | -2150. | 19.02 |
| 15.60 | -112.4 | -2123. | 18.89 |
| 15.80 | -111.8 | -2083. | 18.64 |
| 16.00 | -111.1 | -2031. | 18.28 |
| 16.20 | -110.4 | -1965. | 17.80 |
| 16.40 | -109.7 | -1898. | 17.21 |
| 16.60 | -108.9 | -1799. | 16.52 |
| 16.80 | -108.0 | -1699. | 15.73 |
| 17.00 | -107.1 | -1589. | 14.84 |
| 17.20 | -106.0 | -1470. | 13.86 |
| 17.40 | -104.7 | -1341. | 12.80 |
| 17.60 | -103.3 | -1205. | 11.67 |
| 17.80 | -101.5 | -1064. | 10.48 |
| 18.00 | -99.39 | -917.4 | 9.230 |
| 18.20 | -96.72 | -769.1 | 7.952 |
| 18.40 | -93.31 | -621.7 | 6.663 |
| 18.60 | -88.87 | -479.1 | 5.391 |
| 18.80 | -83.00 | -346.6 | 4.176 |
| 19.00 | -75.19 | -230.2 | 3.062 |
| 19.20 | -64.94 | -136.6 | 2.103 |
| 19.40 | -51.95 | -69.66 | 1.341 |
| 19.60 | -36.36 | -28.90 | 0.7949 |
| 19.80 | -18.77 | -8.323 | 0.4433 |
| 20.00 | 0.4790E-02 | 0.1142E-02 | 0.2384 |
| 20.20 | 19.32 | 2.467 | 0.1277 |
| 20.40 | 38.75 | 2.735 | 0.7058E-01 |
| 20.60 | 58.08 | 2.425 | 0.4176E-01 |
| 20.80 | 77.19 | 2.115 | 0.2740E-01 |

| | | | |
|-------|-------------|-------------|------------|
| 21.00 | 95.97 | 1.981 | 0.2065E-01 |
| 21.20 | 114.3 | 2.111 | 0.1846E-01 |
| 21.40 | 132.2 | 2.672 | 0.2020E-01 |
| 21.60 | 149.5 | 4.160 | 0.2782E-01 |
| 21.80 | 166.0 | 8.192 | 0.4936E-01 |
| 22.00 | 161.0 | 20.70 | 0.1144 |
| 22.20 | 192.4 | 65.57 | 0.3409 |
| 22.40 | 192.6 | 224.0 | 1.163 |
| 22.60 | 174.0 | 579.9 | 3.332 |
| 22.80 | 151.2 | 973.4 | 6.439 |
| 23.00 | 136.3 | 1268. | 9.298 |
| 23.20 | 126.2 | 1478. | 11.53 |
| 23.40 | 123.7 | 1637. | 13.24 |
| 23.60 | 121.0 | 1764. | 14.57 |
| 23.80 | 119.3 | 1868. | 15.66 |
| 24.00 | 118.1 | 1954. | 16.55 |
| 24.20 | 117.1 | 2025. | 17.29 |
| 24.40 | 116.3 | 2080. | 17.89 |
| 24.60 | 115.6 | 2122. | 18.36 |
| 24.80 | 114.9 | 2150. | 18.71 |
| 25.00 | 114.3 | 2163. | 18.93 |
| 25.20 | 113.6 | 2164. | 19.04 |
| 25.40 | 113.0 | 2150. | 19.02 |
| 25.60 | 112.4 | 2123. | 18.89 |
| 25.80 | 111.8 | 2083. | 18.64 |
| 26.00 | 111.1 | 2031. | 18.28 |
| 26.20 | 110.4 | 1965. | 17.80 |
| 26.40 | 109.7 | 1888. | 17.21 |
| 26.60 | 108.9 | 1799. | 16.52 |
| 26.80 | 108.0 | 1699. | 15.73 |
| 27.00 | 107.1 | 1589. | 14.84 |
| 27.20 | 106.0 | 1470. | 13.86 |
| 27.40 | 104.7 | 1341. | 12.80 |
| 27.60 | 103.3 | 1205. | 11.67 |
| 27.80 | 101.5 | 1064. | 10.47 |
| 28.00 | 99.39 | 917.3 | 9.229 |
| 28.20 | 96.72 | 769.0 | 7.951 |
| 28.40 | 93.31 | 621.6 | 6.662 |
| 28.60 | 88.87 | 479.1 | 5.391 |
| 28.80 | 82.99 | 346.5 | 4.175 |
| 29.00 | 75.19 | 230.2 | 3.062 |
| 29.20 | 64.94 | 136.5 | 2.102 |
| 29.40 | 51.95 | 69.66 | 1.341 |
| 29.60 | 36.36 | 28.89 | 0.7948 |
| 29.80 | 18.77 | 8.319 | 0.4433 |
| 30.00 | -0.1072E-01 | -0.2555E-02 | 0.2384 |
| 30.20 | -19.32 | -2.467 | 0.1277 |
| 30.40 | -38.76 | -2.735 | 0.7057E-01 |
| 30.60 | -58.09 | -2.425 | 0.4175E-01 |
| 30.80 | -77.19 | -2.115 | 0.2740E-01 |
| 31.00 | -95.97 | -1.981 | 0.2064E-01 |
| 31.20 | -114.4 | -2.111 | 0.1846E-01 |
| 31.40 | -132.2 | -2.672 | 0.2020E-01 |
| 31.60 | -149.5 | -4.161 | 0.2783E-01 |
| 31.80 | -166.0 | -8.194 | 0.4937E-01 |
| 32.00 | -181.0 | -20.71 | 0.1144 |
| 32.20 | -192.4 | -65.60 | 0.3410 |
| 32.40 | -192.6 | -224.1 | 1.164 |
| 32.60 | -174.0 | -579.0 | 3.333 |
| 32.80 | -151.2 | -973.5 | 6.440 |
| 33.00 | -136.3 | -1268. | 9.299 |
| 33.20 | -126.2 | -1478. | 11.53 |
| 33.40 | -123.7 | -1637. | 13.24 |
| 33.60 | -121.0 | -1764. | 14.57 |
| 33.80 | -119.3 | -1868. | 15.66 |
| 34.00 | -118.1 | -1954. | 16.55 |

| | | | |
|-------|------------|------------|------------|
| 34.20 | -117.1 | -2025. | 17.29 |
| 34.40 | -116.3 | -2080. | 17.89 |
| 34.60 | -115.6 | -2122. | 18.36 |
| 34.80 | -114.9 | -2150. | 18.71 |
| 35.00 | -114.3 | -2163. | 18.93 |
| 35.20 | -113.6 | -2164. | 19.04 |
| 35.40 | -113.0 | -2150. | 19.02 |
| 35.60 | -112.4 | -2123. | 18.89 |
| 35.80 | -111.8 | -2083. | 18.64 |
| 36.00 | -111.1 | -2031. | 18.28 |
| 36.20 | -110.4 | -1965. | 17.80 |
| 36.40 | -109.7 | -1888. | 17.21 |
| 36.60 | -108.9 | -1799. | 16.52 |
| 36.80 | -108.0 | -1699. | 15.73 |
| 37.00 | -107.1 | -1589. | 14.84 |
| 37.20 | -106.0 | -1469. | 13.86 |
| 37.40 | -104.7 | -1341. | 12.80 |
| 37.60 | -103.3 | -1205. | 11.67 |
| 37.80 | -101.5 | -1064. | 10.47 |
| 38.00 | -99.39 | -917.3 | 9.229 |
| 38.20 | -96.72 | -769.0 | 7.951 |
| 38.40 | -93.31 | -621.6 | 6.662 |
| 38.60 | -88.87 | -479.0 | 5.391 |
| 38.80 | -82.99 | -346.5 | 4.175 |
| 39.00 | -75.18 | -230.2 | 3.061 |
| 39.20 | -64.94 | -136.5 | 2.102 |
| 39.40 | -51.95 | -69.65 | 1.341 |
| 39.60 | -36.35 | -28.89 | 0.7947 |
| 39.80 | -18.76 | -8.315 | 0.4432 |
| 40.00 | 0.1597E-01 | 0.3805E-02 | 0.2383 |
| 40.20 | 19.33 | 2.467 | 0.1276 |
| 40.40 | 38.76 | 2.735 | 0.7056E-01 |
| 40.60 | 58.10 | 2.425 | 0.4174E-01 |
| 40.80 | 77.20 | 2.115 | 0.2739E-01 |
| 41.00 | 95.98 | 1.981 | 0.2064E-01 |
| 41.20 | 114.4 | 2.111 | 0.1846E-01 |
| 41.40 | 132.2 | 2.672 | 0.2021E-01 |
| 41.60 | 149.5 | 4.161 | 0.2783E-01 |
| 41.80 | 166.0 | 8.196 | 0.4938E-01 |
| 42.00 | 181.0 | 20.71 | 0.1144 |
| 42.20 | 192.4 | 65.62 | 0.3411 |
| 42.40 | 192.6 | 224.2 | 1.164 |
| 42.60 | 174.0 | 580.1 | 3.334 |
| 42.80 | 151.1 | 973.6 | 6.441 |
| 43.00 | 136.3 | 1268. | 9.300 |
| 43.20 | 128.2 | 1478. | 11.53 |
| 43.40 | 123.7 | 1637. | 13.24 |
| 43.60 | 121.0 | 1764. | 14.57 |
| 43.80 | 119.3 | 1868. | 15.66 |

A P E N D I C E E
=====

Simulación del comportamiento de una lámpara fluorescente de 110 vatios en función de la conductancia G.

a) Listado del programa de simulación correspondiente a una - lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. cuando el balasto en serie con la misma está constituido por una inductancia L y una resistencia R.

```

1      INT      17.3,16,12
2      POT      1,1.75
3      POT      2,-7.5E-3
4      MUL      2,11
5      POT      4,354.23E-6
6      INT      7,5,10,8
7      CTE      23.89
8      POT      6,-3.227
9      MUL      6,6
10     POT      9,321.693E-4
11     DIV      2,6
12     POT      11,-1.
13     TPO
14     POT      13,.31416
15     SEN      14
16     POT      15,403.
17     CTE      -1122.
18     FIN
>

```

b) Resultados obtenidos.

RUN CAN
 NOMBRE : GLR.ANA
 PASO DE INTEGRACION , NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : .1.1
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION. : 44.
 LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 3
 VARIABLES : 2,11,6
 LETREROS

I

V

G

DIBUJO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0

| TIEMPO | I | V | G |
|--------|--------|--------|-------|
| 0.0000 | -1964. | -82.19 | 23.89 |
| 1.000 | -1692. | -81.30 | 20.81 |
| 2.000 | -1217. | -80.51 | 15.12 |
| 3.000 | -574.9 | -74.45 | 7.722 |
| 4.000 | 112.8 | 97.75 | 1.154 |
| 5.000 | 599.5 | 106.6 | 5.626 |
| 6.000 | 1105. | 97.56 | 11.33 |
| 7.000 | 1550. | 91.90 | 16.87 |
| 8.000 | 1871. | 87.50 | 21.39 |
| 9.000 | 2019. | 84.21 | 23.98 |
| 10.00 | 1963. | 82.18 | 23.89 |
| 11.00 | 1691. | 81.30 | 20.80 |
| 12.00 | 1216. | 80.51 | 15.11 |
| 13.00 | 574.4 | 74.44 | 7.716 |
| 14.00 | -113.1 | -98.03 | 1.154 |
| 15.00 | -599.8 | -106.5 | 5.630 |
| 16.00 | -1105. | -97.56 | 11.33 |
| 17.00 | -1551. | -91.89 | 16.87 |
| 18.00 | -1872. | -87.50 | 21.39 |
| 19.00 | -2020. | -84.21 | 23.98 |
| 20.00 | -1963. | -82.18 | 23.89 |
| 21.00 | -1692. | -81.30 | 20.81 |
| 22.00 | -1217. | -80.51 | 15.11 |
| 23.00 | -574.7 | -74.45 | 7.719 |
| 24.00 | 113.0 | 97.88 | 1.154 |
| 25.00 | 599.6 | 106.5 | 5.628 |
| 26.00 | 1105. | 97.56 | 11.33 |
| 27.00 | 1551. | 91.90 | 16.87 |
| 28.00 | 1872. | 87.50 | 21.39 |
| 29.00 | 2020. | 84.21 | 23.98 |
| 30.00 | 1963. | 82.18 | 23.89 |
| 31.00 | 1692. | 81.30 | 20.81 |
| 32.00 | 1217. | 80.51 | 15.11 |
| 33.00 | 574.5 | 74.44 | 7.717 |
| 34.00 | -113.1 | -97.98 | 1.154 |
| 35.00 | -599.7 | -106.5 | 5.629 |
| 36.00 | -1105. | -97.56 | 11.33 |
| 37.00 | -1551. | -91.90 | 16.87 |
| 38.00 | -1872. | -87.50 | 21.39 |
| 39.00 | -2020. | -84.21 | 23.98 |
| 40.00 | -1963. | -82.18 | 23.89 |
| 41.00 | -1692. | -81.30 | 20.81 |
| 42.00 | -1217. | -80.51 | 15.11 |
| 43.00 | -574.6 | -74.44 | 7.718 |
| 44.00 | 113.0 | 97.93 | 1.154 |

A P E N D I C E F

Simulación para el diseño de un balasto inductivo, para una -
lámpara fluorescente de 110 wátios A.R. alimentado con corrien-
te alterna de 50 Hz.

El programa de simulación mediante CAN nos ha permi-
tido calcular integrales como $\int i^2 dt$, $\int v_L i dt$ $\int v_i dt$,
de este modo hemos conseguido diseñar un balasto de acuerdo -
con unas condiciones previamente establecidas, hasta llegar a
las condiciones optimas de diseño, hemos realizado cinco ejem-
plos cuyos programas y listado de datos van numerados de uno a
cinco.

```

0  PRIMERO
9  GLR. ANA      (R056) (50.1)
0
1  CTE          -2142.
2  INT          1.17
3  POT          2.-5.78E-3
4  MUL          2.11
5  POT          4.354.23E-6
6  INT          7.5.10.8
7  CTE          26.52
8  POT          6.-3.227
9  MUL          6.6
10 POT          2.321.693E-4
11 DIV          2.6
12 POT          11.-1.
13 TPO
14 POT          13..31416
15 SEN          14
16 POT          15.403.
17 POT          27.1.86
18 MUL          2.2
19 INT          20.18
20 CTE          0.
21 MUL          16.2
22 INT          20.21
23 MUL          11.2
24 INT          20.23
25 MUL          27.2
26 INT          20.25
27 SUM          16.12.3
28 FIN
>

```

Resultados obtenidos

UN CAS
 OPERA CLR ANA
 MODO DE INTEGRACION . NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1,10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION . 20.1
 ESTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 5
 VARIABLES : 2,19,22,24,26
 RETORNOS

9
 2
 4
 6

IEC00
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0
 TIEMPO

| | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|--------|------------|-------------|------------|-------------|
| 0.0000 | -2142. | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1.000 | -1860. | 0.4086E+07 | -0.1176E+06 | 0.1623E+06 | -0.3005E+06 |
| 2.000 | -1360. | 0.6754E+07 | -0.4048E+06 | 0.2923E+06 | -0.7161E+06 |
| 3.000 | -679.7 | 0.7859E+07 | -0.6904E+06 | 0.3734E+06 | -0.9109E+07 |
| 4.000 | 74.42 | 0.7996E+07 | -0.7921E+06 | 0.3936E+06 | -0.1232E+07 |
| 5.000 | 597.7 | 0.8130E+07 | -0.6588E+06 | 0.4315E+06 | -0.1137E+07 |
| 6.000 | 1137. | 0.8909E+07 | -0.3147E+06 | 0.5198E+06 | -0.8860E+06 |
| 7.000 | 1614. | 0.1084E+08 | 0.1798E+06 | 0.6504E+06 | -0.5333E+06 |
| 8.000 | 1960. | 0.1409E+08 | 0.6922E+06 | 0.8110E+06 | -0.2003E+06 |
| 9.000 | 2124. | 0.1834E+08 | 0.1072E+07 | 0.9863E+06 | -0.2072E+07 |
| 10.00 | 2071. | 0.2281E+08 | 0.1212E+07 | 0.1161E+07 | -0.5000E+06 |
| 11.00 | 1788. | 0.2662E+08 | 0.1098E+07 | 0.1318E+07 | -0.3737E+07 |
| 12.00 | 1289. | 0.2906E+08 | 0.9239E+06 | 0.1443E+07 | -0.7870E+06 |
| 13.00 | 609.3 | 0.3002E+08 | 0.5583E+06 | 0.1518E+07 | -0.1134E+07 |
| 14.00 | -120.5 | 0.3012E+08 | 0.4796E+06 | 0.1535E+07 | -0.1329E+07 |
| 15.00 | -638.8 | 0.3028E+08 | 0.6288E+06 | 0.1577E+07 | -0.1124E+07 |
| 16.00 | -1179. | 0.3114E+08 | 0.9894E+06 | 0.1669E+07 | -0.8599E+06 |
| 17.00 | -1656. | 0.3319E+08 | 0.1499E+07 | 0.1803E+07 | -0.4962E+06 |
| 18.00 | -2003. | 0.3659E+08 | 0.2024E+07 | 0.1967E+07 | -0.1551E+06 |
| 19.00 | -2167. | 0.4101E+08 | 0.2411E+07 | 0.2145E+07 | 0.2842E+05 |
| 20.00 | -2113. | 0.4567E+08 | 0.2554E+07 | 0.2322E+07 | -0.3273E+05 |

SEGUNDO

| | | |
|----|----------|---------------|
| 0 | GLF. ANA | (ROSA) [50,1] |
| 0 | | |
| 1 | CTE | -2142. |
| 2 | INT | 1.17 |
| 3 | FOT | 2.-5.78E-3 |
| 4 | MUL | 2.11 |
| 5 | FOT | 4.354.23E-6 |
| 6 | INT | 7.5.10.8 |
| 7 | CTE | 26.52 |
| 8 | FOT | 6.-3.227 |
| 9 | MUL | 6.6 |
| 10 | FOT | 9.321.633E-4 |
| 11 | DIV | 2.6 |
| 12 | FOT | 11.-1 |
| 13 | TPO | |
| 14 | FOT | 13..31416 |
| 15 | SEN | 14 |
| 16 | FOT | 15.403. |
| 17 | FOT | 27.1.9 |
| 18 | MUL | 2.2 |
| 19 | INT | 20.18 |
| 20 | CTE | 0. |
| 21 | MUL | 16.2 |
| 22 | INT | 20.21 |
| 23 | MUL | 11.2 |
| 24 | INT | 20.23 |
| 25 | MUL | 27.2 |
| 26 | INT | 20.25 |
| 27 | SUM | 16.12.3 |
| 28 | FIN | |
| 0 | | |

Resultados obtenidos

RUN CAN
 NOMBRE : GLR.ANA
 PASO DE INTEGRACION, NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1,10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 20.1
 LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 5
 VARIABLES : 2,19,22,24,26
 LETREROS

2
 19
 22
 24
 26
 DIBUJO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|--------|------------|-------------|------------|-------------|
| 0.0000 | -2142. | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1.000 | -1854. | 0.4076E+07 | -0.1174E+06 | 0.1620E+06 | -0.3023E+06 |
| 2.000 | -1344. | 0.6710E+07 | -0.4025E+06 | 0.2911E+06 | -0.7324E+06 |
| 3.000 | -649.4 | 0.7769E+07 | -0.6815E+06 | 0.3700E+06 | -0.1096E+07 |
| 4.000 | 106.2 | 0.7886E+07 | -0.7706E+06 | 0.3883E+06 | -0.1204E+07 |
| 5.000 | 636.7 | 0.8044E+07 | -0.6243E+06 | 0.4299E+06 | -0.1161E+07 |
| 6.000 | 1188. | 0.8906E+07 | -0.2623E+06 | 0.5223E+06 | -0.8361E+06 |
| 7.000 | 1675. | 0.1100E+08 | 0.2524E+06 | 0.6576E+06 | -0.4688E+06 |
| 8.000 | 2029. | 0.1449E+08 | 0.7835E+06 | 0.8233E+06 | -0.1235E+06 |
| 9.000 | 2197. | 0.1903E+08 | 0.1176E+07 | 0.1004E+07 | 0.6254E+06 |
| 10.00 | 2143. | 0.2382E+08 | 0.1221E+07 | 0.1182E+07 | 698.2 |
| 11.00 | 1855. | 0.2790E+08 | 0.1203E+07 | 0.1345E+07 | -0.3023E+06 |
| 12.00 | 1344. | 0.3054E+08 | 0.9182E+06 | 0.1474E+07 | -0.7319E+06 |
| 13.00 | 650.0 | 0.3160E+08 | 0.6391E+06 | 0.1553E+07 | -0.1096E+07 |
| 14.00 | -105.8 | 0.3172E+08 | 0.5498E+06 | 0.1571E+07 | -0.1204E+07 |
| 15.00 | -636.4 | 0.3187E+08 | 0.6959E+06 | 0.1613E+07 | -0.1101E+07 |
| 16.00 | -1188. | 0.3274E+08 | 0.1058E+07 | 0.1709E+07 | -0.8563E+06 |
| 17.00 | -1675. | 0.3483E+08 | 0.1572E+07 | 0.1840E+07 | -0.4691E+06 |
| 18.00 | -2029. | 0.3832E+08 | 0.2103E+07 | 0.2006E+07 | -0.1235E+06 |
| 19.00 | -2196. | 0.4286E+08 | 0.2496E+07 | 0.2186E+07 | 0.6217E+06 |
| 20.00 | -2142. | 0.4765E+08 | 0.2641E+07 | 0.2365E+07 | 277.2 |

```

0 TERCERO
0 GLE. ANR (ROSA) (50,1)
0
1 CTE -1977.
2 INT 1,17
3 FOT 2,-5.78E-3
4 MUL 2,11
5 FOT 4,354.23E-6
6 INT 7,5.10,8
7 CTE 24.06
8 FOT 6,-3.227
9 MUL 6,6
10 FOT 9,321.693E-4
11 DIV 2,6
12 FOT 11,-1.
13 TFG
14 FOT 13,.31416
15 SEN 14
16 FOT 15,403.
17 FOT 27,1.7526
18 MUL 2,2
19 INT 20,18
20 CTE 0.
21 MUL 16,2
22 INT 20,21
23 MUL 11,2
24 INT 20,23
25 MUL 27,2
26 INT 20,25
27 SUM 16,12,3
28 FIN
>

```

Resultados obtenidos

K. ANO

PASO DE INTEGRACION. NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : .1,10

TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION. : 20.1

ESTADO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 5

VARIABLES : 2,19,22,24,26

ETREKOS

5
2
4
6

IEUJO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|--------|------------|-------------|------------|-------------|
| 0.000 | -1977. | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1.000 | -1711. | 0.3471E+07 | -0.1083E+06 | 0.1520E+06 | -0.2803E+06 |
| 2.000 | -1239. | 0.5712E+07 | -0.3713E+06 | 0.2727E+06 | -0.6770E+06 |
| 3.000 | -598.4 | 0.6613E+07 | -0.6285E+06 | 0.3461E+06 | -0.1013E+07 |
| 4.000 | 98.49 | 0.6712E+07 | -0.7105E+06 | 0.3630E+06 | -0.1112E+07 |
| 5.000 | 587.8 | 0.6847E+07 | -0.5753E+06 | 0.4016E+06 | -0.1016E+07 |
| 6.000 | 1096. | 0.7581E+07 | -0.2412E+06 | 0.4871E+06 | -0.7721E+06 |
| 7.000 | 1546. | 0.9365E+07 | 0.2339E+06 | 0.6128E+06 | -0.4330E+06 |
| 8.000 | 1873. | 0.1234E+08 | 0.7240E+06 | 0.7671E+06 | -0.1144E+06 |
| 9.000 | 2027. | 0.1621E+08 | 0.1086E+07 | 0.9357E+06 | 0.5696E+05 |
| 10.00 | 1576. | 0.2028E+08 | 0.1220E+07 | 0.1103E+07 | -791.2 |
| 11.00 | 1710. | 0.2375E+08 | 0.1112E+07 | 0.1255E+07 | -0.2810E+06 |
| 12.00 | 1238. | 0.2599E+08 | 0.8487E+06 | 0.1376E+07 | -0.6775E+06 |
| 13.00 | 597.7 | 0.2689E+08 | 0.5917E+06 | 0.1449E+07 | -0.1013E+07 |
| 14.00 | -58.54 | 0.2699E+08 | 0.5100E+06 | 0.1466E+07 | -0.1112E+07 |
| 15.00 | -588.2 | 0.2712E+08 | 0.6453E+06 | 0.1505E+07 | -0.1016E+07 |
| 16.00 | -1097. | 0.2766E+08 | 0.9796E+06 | 0.1590E+07 | -0.7716E+06 |
| 17.00 | -1547. | 0.2964E+08 | 0.1455E+07 | 0.1716E+07 | -0.4326E+06 |
| 18.00 | -1873. | 0.3262E+08 | 0.1945E+07 | 0.1870E+07 | -0.1129E+06 |
| 19.00 | -2027. | 0.3649E+08 | 0.2307E+07 | 0.2039E+07 | 0.5743E+05 |
| 20.00 | -1977. | 0.4057E+08 | 0.2441E+07 | 0.2207E+07 | -335.1 |

| 0 | CUARTO | | |
|----|---------|---------------|--------|
| 0 | GLR ANA | (ROSA) | [50,1] |
| 0 | | | |
| 1 | CTE | -2049. | |
| 2 | INT | 1,17 | |
| 3 | FOT | 2,-8. E-3 | |
| 4 | MUL | 2,11 | |
| 5 | FOT | 4,354. 23E-6 | |
| 6 | INT | 7,5,10,8 | |
| 7 | CTE | 25,15 | |
| 8 | FOT | 6,-3. 227 | |
| 9 | MUL | 6,6 | |
| 10 | FOT | 9,321. 693E-4 | |
| 11 | DIV | 2,6 | |
| 12 | FOT | 11,-1. | |
| 13 | TFO | | |
| 14 | FOT | 13, .31416 | |
| 15 | SEN | 14 | |
| 16 | FOT | 15,403. | |
| 17 | FOT | 27,1,73 | |
| 18 | MUL | 2,2 | |
| 19 | INT | 20,18 | |
| 20 | CTE | 0. | |
| 21 | MUL | 16,2 | |
| 22 | INT | 20,21 | |
| 23 | MUL | 11,2 | |
| 24 | INT | 20,23 | |
| 25 | MUL | 27,2 | |
| 26 | INT | 20,25 | |
| 27 | SUM | 16,12,3 | |
| 28 | FIN | | |
| 0 | | | |

Resultados obtenidos

RUN CAN
 NOMBRE : GLA.ANA
 PASO DE INTEGRACION, NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1,10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 20.1
 LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 5
 VARIABLES : 2,19,22,24,26
 LETREROS

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|--------|------------|-------------|------------|-------------|
| 0.0000 | -2049. | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1.000 | -1763. | 0.3711E+07 | -0.1119E+06 | 0.1559E+06 | -0.2974E+06 |
| 2.000 | -1266. | 0.6076E+07 | -0.3819E+06 | 0.2790E+06 | -0.7095E+06 |
| 3.000 | -553.6 | 0.7000E+07 | -0.6420E+06 | 0.3528E+06 | -0.1051E+07 |
| 4.000 | 122.6 | 0.7094E+07 | -0.7172E+06 | 0.3690E+06 | -0.1143E+07 |
| 5.000 | 631.0 | 0.7254E+07 | -0.5692E+06 | 0.4111E+06 | -0.1038E+07 |
| 6.000 | 1159. | 0.8082E+07 | -0.2140E+06 | 0.5016E+06 | -0.7803E+06 |
| 7.000 | 1623. | 0.1006E+08 | 0.2861E+06 | 0.6332E+06 | -0.4276E+06 |
| 8.000 | 1957. | 0.1332E+08 | 0.7994E+06 | 0.7938E+06 | -0.1010E+06 |
| 9.000 | 2110. | 0.1752E+08 | 0.1177E+07 | 0.9682E+06 | 0.6879E-05 |
| 10.00 | 2049. | 0.2192E+08 | 0.1316E+07 | 0.1141E+07 | -364.9 |
| 11.00 | 1763. | 0.2563E+08 | 0.1204E+07 | 0.1297E+07 | -0.2978E+06 |
| 12.00 | 1265. | 0.2900E+08 | 0.9342E+06 | 0.1420E+07 | -0.7097E+06 |
| 13.00 | 593.3 | 0.2892E+08 | 0.6742E+06 | 0.1494E+07 | -0.1051E+07 |
| 14.00 | -122.8 | 0.2901E+08 | 0.5991E+06 | 0.1510E+07 | -0.1143E+07 |
| 15.00 | -631.2 | 0.2917E+08 | 0.7472E+06 | 0.1552E+07 | -0.1038E+07 |
| 16.00 | -1159. | 0.3000E+08 | 0.1102E+07 | 0.1643E+07 | -0.7803E+06 |
| 17.00 | -1623. | 0.3198E+08 | 0.1603E+07 | 0.1774E+07 | -0.4274E+06 |
| 18.00 | -1957. | 0.3524E+08 | 0.2116E+07 | 0.1935E+07 | -0.1008E+06 |
| 19.00 | -2110. | 0.3944E+08 | 0.2494E+07 | 0.2109E+07 | 0.6899E+05 |
| 20.00 | -2049. | 0.4384E+08 | 0.2633E+07 | 0.2282E+07 | -169.2 |

QUINTO
 0 G.R. ANA (ROSA) (50,1)
 1 CTE -2083.
 2 INT 1.17
 3 FOT 2.-5.78E-3
 4 MUL 2.11
 5 FOT 4.354.23E-6
 6 INT 7.5.10.3
 7 CTE 35.62
 8 FOT 6.-3.227
 9 MUL 6.6
 10 FOT 9.321.693E-4
 11 DIV 2.6
 12 FOT 11.-1.
 13 TFO
 14 FOT 13..31416
 15 SEN 14
 16 FOT 15.403.
 17 FOT 27,1.847
 18 MUL 2,2
 19 INT 20,18
 20 CTE 6.
 21 MUL 16,2
 22 INT 20,21
 23 MUL 11,2
 24 INT 20,23
 25 MUL 27,2
 26 INT 20,25
 27 SUB 16,12,3
 28 FIN
 >

Resultados obtenidos

RES. CAL.
 MÓDULO DE INTEGRACION, NÚMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 10
 TIEMPO MÁXIMO DE SIMULACION : 20.1
 ESTADO
 NÚMERO TOTAL DE VARIABLES : 5
 VARIABLES : 2, 19, 22, 24, 26
 EXTRINSECOS

5
 2
 4
 6
 ESTADO
 NÚMERO TOTAL DE VARIABLES : 6
 TIEMPO

| | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|--------|------------|-------------|------------|-------------|
| 0.0000 | -2053. | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1.000 | -1303. | 0.3854E+07 | -0.1141E+06 | 0.1585E+06 | -0.2949E+06 |
| 2.000 | -1306. | 0.6344E+07 | -0.3914E+06 | 0.2846E+06 | -0.7126E+06 |
| 3.000 | -631.3 | 0.7345E+07 | -0.6626E+06 | 0.3616E+06 | -0.1067E+07 |
| 4.000 | 103.3 | 0.7456E+07 | -0.7492E+06 | 0.3754E+06 | -0.1172E+07 |
| 5.000 | 619.0 | 0.7605E+07 | -0.6070E+06 | 0.4199E+06 | -0.1071E+07 |
| 6.000 | 1155. | 0.8420E+07 | -0.2550E+06 | 0.5098E+06 | -0.8135E+06 |
| 7.000 | 1629. | 0.1040E+08 | 0.2454E+06 | 0.6417E+06 | -0.4564E+06 |
| 8.000 | 1573. | 0.1370E+08 | 0.7617E+06 | 0.8033E+06 | -0.1207E+06 |
| 9.000 | 2136. | 0.1799E+08 | 0.1143E+07 | 0.9794E+06 | 0.5998E+05 |
| 10.00 | 2053. | 0.2252E+08 | 0.1204E+07 | 0.1154E+07 | -420.4 |
| 11.00 | 1892. | 0.2637E+08 | 0.1170E+07 | 0.1313E+07 | -0.2953E+06 |
| 12.00 | 1306. | 0.2886E+08 | 0.8528E+06 | 0.1439E+07 | -0.7126E+06 |
| 13.00 | 631.0 | 0.2986E+08 | 0.6217E+06 | 0.1516E+07 | -0.1067E+07 |
| 14.00 | -103.5 | 0.2997E+08 | 0.5352E+06 | 0.1534E+07 | -0.1172E+07 |
| 15.00 | -619.2 | 0.3012E+08 | 0.6775E+06 | 0.1574E+07 | -0.1071E+07 |
| 16.00 | -1155. | 0.3094E+08 | 0.1030E+07 | 0.1664E+07 | -0.8134E+06 |
| 17.00 | -1629. | 0.3291E+08 | 0.1530E+07 | 0.1796E+07 | -0.4562E+06 |
| 18.00 | -1973. | 0.3622E+08 | 0.2046E+07 | 0.1958E+07 | -0.1205E+06 |
| 19.00 | -2136. | 0.4051E+08 | 0.2428E+07 | 0.2134E+07 | 0.6023E+05 |
| 20.00 | -2053. | 0.4504E+08 | 0.2569E+07 | 0.2309E+07 | -152.9 |

A P E N D I C E G

Simulación para el diseño de un balasto inductivo imponiendo la condición de iluminación optima.

Al programa de simulación para un balasto inductivo hemos introducido una variable más, la ilumina, hasta llegar al diseño optimo se han realizado una serie de ejemplos numerados del uno al seis, cuyos listados son:

PIE 11-3LE.6A

PRIMERO

| | GLR. ANA | (ROSA) (50.10) |
|----|----------|----------------|
| 0 | | |
| 1 | CTE | -2207. |
| 2 | INT | 1.17 |
| 3 | FOT | 2.-8.E-1 |
| 4 | MUL | 2.11 |
| 5 | FOT | 4.354.21E-6 |
| 6 | INT | 7.0.10.0 |
| 7 | CTE | 28.02 |
| 8 | FOT | 6.-3.227 |
| 9 | MUL | 6.6 |
| 10 | FOT | 9.321.653E-4 |
| 11 | DIY | 2.6 |
| 12 | FOT | 11.-1. |
| 13 | TFQ | |
| 14 | FOT | 13.31416 |
| 15 | SEN | 14 |
| 16 | FOT | 15.403. |
| 17 | FOT | 27.2. |
| 18 | MUL | 3.2 |
| 19 | INT | 23.16 |
| 20 | CTE | 3. |
| 21 | MUL | 16.2 |
| 22 | INT | 20.21 |
| 23 | MUL | 11.2 |
| 24 | INT | 20.23 |
| 25 | MUL | 27.2 |
| 26 | INT | 20.25 |
| 27 | SUM | 16.12.3 |
| 28 | CMF | 2.6. |
| 29 | MUL | 2.28 |
| 30 | CMF | 25.2000 |
| 31 | SUM | 33.30 |
| 32 | SUM | 38.34.16 |
| 33 | CTE | -1 |
| 34 | CTE | 1000 |
| 35 | FOT | 31.-1.5 |
| 36 | MUL | 25.35 |
| 37 | INT | 20.02 |
| 38 | FOT | 36.1000 |
| 39 | FIN | |

PAISO DE INTEGRACION, NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA . . . 1.10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION. . . 20.1
 LETRAS
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6
 VARIABLES : 2,19,22,24,26,37
 LETREROS

2
 19
 22
 24
 26
 37

TIEMPO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 0.0000 | 37 -2237. 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1.000 | 1593. -1925. | 0.4424E+07 | -0.1222E+06 | 0.1665E+06 | -0.3244E+06 |
| 2.000 | 3665. -1381. | 0.7242E+07 | -0.4169E+06 | 0.2992E+06 | -0.7740E+06 |
| 3.000 | 4692. -647.3 | 0.8342E+07 | -0.7007E+06 | 0.3789E+06 | -0.1146E+07 |
| 4.000 | 4962. 134.5 | 0.8454E+07 | -0.7825E+06 | 0.2963E+06 | -0.1246E+07 |
| 5.000 | 5369. 690.1 | 0.8645E+07 | -0.6204E+06 | 0.4424E+06 | -0.1132E+07 |
| 6.000 | 6350. 1266. | 0.9635E+07 | -0.2321E+06 | 0.5409E+06 | -0.8501E+06 |
| 7.000 | 7878. 1773. | 0.1199E+08 | 0.3143E+06 | 0.6837E+06 | -0.4653E+06 |
| 8.000 | 9817. 2137. | 0.1588E+08 | 0.8749E+06 | 0.8570E+06 | -0.1092E+06 |
| 9.000 | 2304. 0.1182E+05 | 0.2090E+08 | 0.1288E+07 | 0.1045E+07 | 0.7583E+05 |
| 10.00 | 2237. 0.1383E+05 | 0.2614E+08 | 0.1439E+07 | 0.1230E+07 | 371.8 |
| 11.00 | 1925. 0.1581E+05 | 0.3057E+08 | 0.1317E+07 | 0.1397E+07 | -0.3241E+06 |
| 12.00 | 1593. 0.1740E+05 | 0.3339E+08 | 0.1022E+07 | 0.1529E+07 | -0.7736E+06 |
| 13.00 | 947.8 0.1851E+05 | 0.3449E+08 | 0.7082E+06 | 0.1609E+07 | -0.1146E+07 |
| 14.00 | -134.7 0.1879E+05 | 0.3460E+08 | 0.6564E+06 | 0.1629E+07 | -0.1247E+07 |
| 15.00 | -690.0 0.1919E+05 | 0.3479E+08 | 0.8184E+06 | 0.1672E+07 | -0.1132E+07 |
| 16.00 | -1266. 0.2017E+05 | 0.3579E+08 | 0.1207E+07 | 0.1771E+07 | -0.8503E+06 |
| 17.00 | -1773. 0.2170E+05 | 0.3814E+08 | 0.1753E+07 | 0.1913E+07 | -0.4633E+06 |
| 18.00 | -2137. 0.2363E+05 | 0.4203E+08 | 0.2314E+07 | 0.2087E+07 | -0.1054E+06 |
| 19.00 | -2304. 0.2523E+05 | 0.4704E+08 | 0.2726E+07 | 0.2274E+07 | 0.7561E+07 |
| 20.00 | -2237. 0.2763E+05 | 0.5229E+08 | 0.2978E+07 | 0.2439E+07 | 152.2 |

SEGUNDO

| | CLR. RNR | (RORR) [50.1] |
|----|----------|---------------|
| 1 | CTE | -2142 |
| 2 | INT | 1.17 |
| 3 | FOT | 2.-5.78E-3 |
| 4 | MUL | 2.11 |
| 5 | FOT | 4.354 23E-6 |
| 6 | INT | 7.5.10.8 |
| 7 | CTE | 26.52 |
| 8 | FOT | 6.-3.227 |
| 9 | MUL | 6.6 |
| 10 | FOT | 9.321.653E-4 |
| 11 | DIV | 2.6 |
| 12 | FOT | 11.-1. |
| 13 | TPC | |
| 14 | FOT | 13..34416 |
| 15 | SEN | 14 |
| 16 | FOT | 15.403. |
| 17 | FOT | 27.1.9 |
| 18 | MUL | 2.2 |
| 19 | INT | 20.18 |
| 20 | CTE | 0. |
| 21 | MUL | 15.2 |
| 22 | INT | 20.21 |
| 23 | MUL | 11.1 |
| 24 | INT | 20.23 |
| 25 | MUL | 27.2 |
| 26 | INT | 20.25 |
| 27 | SUM | 16.12.3 |
| 28 | CMF | 2.0. |
| 29 | MUL | 2.28 |
| 30 | CMF | 29.2000. |
| 31 | SUM | 33.30 |
| 32 | SUM | 38.34.36 |
| 33 | CTE | -1. |
| 34 | CTE | 1000. |
| 35 | FOT | 31.-1.5 |
| 36 | MUL | 29.35 |
| 37 | INT | 20.32 |
| 38 | FOT | 30.2000. |
| 39 | FIN | |

PAZO DE INTEGRACION, NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1.10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 20.1

LISTADO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6

VARIABLES : 2, 19, 22, 24, 26, 37

LETREEROS

2

19

22

24

26

37

010000

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|------------------------|------------|-------------|------------|------------|
| 0.0000 | 37 -2142. 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1.000 | -1854. 1971. | 0.4076E+07 | -0.1174E+06 | 0.1620E+06 | -0.3025E+0 |
| 2.000 | -1344. 3587. | 0.6710E+07 | -0.4025E+06 | 0.2911E+06 | -0.7324E+0 |
| 3.000 | -849.4 4937 | 0.7769E+07 | -0.6815E+06 | 0.3700E+06 | -0.1096E+0 |
| 4.000 | 109.2 4870. | 0.7886E+07 | -0.7706E+06 | 0.3883E+06 | -0.1204E+0 |
| 5.000 | 636.7 5340 | 0.8044E+07 | -0.6243E+06 | 0.4299E+06 | -0.1101E+0 |
| 6.000 | 1189. 6137. | 0.8306E+07 | -0.2632E+06 | 0.5223E+06 | -0.8361E+0 |
| 7.000 | 1875. 7357. | 0.1100E+08 | 0.2524E+06 | 0.6376E+06 | -0.4688E+0 |
| 8.000 | 2029. 9461. | 0.1449E+08 | 0.7835E+06 | 0.8203E+06 | -0.1235E+0 |
| 9.000 | 2157. 0.1146E+08 | 0.1963E+08 | 0.1176E+07 | 0.1004E+07 | 0.6254E+0 |
| 10.00 | 2141. 0.1346E+08 | 0.2382E+08 | 0.1321E+07 | 0.1182E+07 | 698.2 |
| 11.00 | 1855. 0.1543E+08 | 0.2790E+08 | 0.1203E+07 | 0.1345E+07 | -0.3023E+0 |
| 12.00 | 1344. 0.1700E+08 | 0.3054E+08 | 0.9182E+06 | 0.1474E+07 | -0.7319E+0 |
| 13.00 | 630.0 0.1806E+08 | 0.3186E+08 | 0.6331E+06 | 0.1553E+07 | -0.1096E+0 |
| 14.00 | -109.8 0.1834E+08 | 0.3172E+08 | 0.5498E+06 | 0.1571E+07 | -0.1204E+0 |
| 15.00 | -636.4 0.1871E+08 | 0.3187E+08 | 0.6399E+06 | 0.1613E+07 | -0.1101E+0 |
| 16.00 | -1189. 0.1952E+08 | 0.3274E+08 | 0.1003E+07 | 0.1700E+07 | -0.8363E+0 |
| 17.00 | -1675. 0.2106E+08 | 0.3433E+08 | 0.1572E+07 | 0.1840E+07 | -0.4691E+0 |
| 18.00 | -2029. 0.2290E+08 | 0.3832E+08 | 0.2103E+07 | 0.2006E+07 | -0.1235E+0 |
| 19.00 | -2157. 0.2482E+08 | 0.4286E+08 | 0.2496E+07 | 0.2186E+07 | 0.0212E+0 |
| 20.00 | -2142. 0.2682E+08 | 0.4765E+08 | 0.2641E+07 | 0.2365E+07 | 277.2 |

| TERCERO | | |
|---------|-----------|---------------|
| | CLAS. GMR | (ROSA) [50.1] |
| 1 | CTE | -2097. |
| 2 | INT | 1.17 |
| 3 | FOT | 2. -5.78E-3 |
| 4 | NUL | 2.11 |
| 5 | FOT | 4.354.23E-6 |
| 6 | INT | 7.5.10.8 |
| 7 | CTE | 25.84 |
| 8 | FOT | 6. -3.227 |
| 9 | MUL | 6.6 |
| 10 | FOT | 9.221.693E-4 |
| 11 | DIV | 2.6 |
| 12 | FOT | 11. -1. |
| 13 | TFO | |
| 14 | FOT | 13. 31416 |
| 15 | SEN | 14 |
| 16 | FOT | 15.403. |
| 17 | FOT | 17.1.86 |
| 18 | MUL | 2.2 |
| 19 | INT | 20.18 |
| 20 | CTE | 0. |
| 21 | NUL | 19.2 |
| 22 | INT | 20.21 |
| 23 | NUL | 11.2 |
| 24 | INT | 20.23 |
| 25 | NUL | 27.2 |
| 26 | INT | 20.25 |
| 27 | SUM | 16.12.3 |
| 28 | CMF | 2.6. |
| 29 | MUL | 2.28 |
| 30 | CMF | 29.2000. |
| 31 | SUM | 33.30 |
| 32 | SUM | 38.34.36 |
| 33 | CTE | -1. |
| 34 | CTE | 1000. |
| 35 | FOT | 34. -1.5 |
| 36 | NUL | 29.38 |
| 37 | INT | 20.32 |
| 38 | FOT | 38.1000. |
| 39 | FIN | |

PASO DE INTEGRACION, NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1.10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 20.1
 LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6
 VARIABLES : 2, 19, 22, 24, 26, 37
 LETREROS

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|----------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 0.0000 | -2097. 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1.000 | -1815. 1352. | 0.3906E+07 | -0.1149E+06 | 0.1593E+06 | -0.2968E+06 |
| 2.000 | -1315. 3533. | 0.6429E+07 | -0.3940E+06 | 0.2861E+06 | -0.7173E+06 |
| 3.000 | -635.3 4521. | 0.7443E+07 | -0.6670E+06 | 0.3636E+06 | -0.1074E+07 |
| 4.000 | 104.3 4754. | 0.7556E+07 | -0.7541E+06 | 0.3814E+06 | -0.1179E+07 |
| 5.000 | 323.6 5154. | 0.7708E+07 | -0.6107E+06 | 0.4223E+06 | -0.1078E+07 |
| 6.000 | 1183. 6049. | 0.8534E+07 | -0.2562E+06 | 0.5128E+06 | -0.8183E+06 |
| 7.000 | 1640. 7455. | 0.1054E+08 | 0.2478E+06 | 0.6456E+06 | -0.4567E+06 |
| 8.000 | 1987. 9286. | 0.1389E+08 | 0.7678E+06 | 0.8082E+06 | -0.1206E+06 |
| 9.000 | 2151. 0.1128E+05 | 0.1824E+08 | 0.1152E+07 | 0.9853E+06 | 0.6146E+05 |
| 10.00 | 2698. 0.1039E+05 | 0.2084E+08 | 0.1294E+07 | 0.1161E+07 | 696.1 |
| 11.00 | 1815. 0.1824E+05 | 0.2674E+08 | 0.1173E+07 | 0.1321E+07 | -0.2962E+06 |
| 12.00 | 1326. 0.1682E+05 | 0.2927E+08 | 0.8998E+06 | 0.1446E+07 | -0.7163E+06 |
| 13.00 | 635.3 0.1781E+05 | 0.3020E+08 | 0.6267E+06 | 0.1530E+07 | -0.1073E+07 |
| 14.00 | 104.3 0.1506E+05 | 0.3040E+08 | 0.5364E+06 | 0.1643E+07 | -0.1173E+07 |
| 15.00 | -635.3 0.1844E+05 | 0.3055E+08 | 0.6826E+06 | 0.1584E+07 | -0.1073E+07 |
| 16.00 | -1315. 0.2034E+05 | 0.3137E+08 | 0.1037E+07 | 0.1674E+07 | -0.8183E+06 |
| 17.00 | -1815. 0.2070E+05 | 0.3338E+08 | 0.1541E+07 | 0.1807E+07 | -0.4590E+06 |
| 18.00 | -1315. 0.2277E+05 | 0.3673E+08 | 0.2061E+07 | 0.1970E+07 | -0.1110E+06 |
| 19.00 | -1315. 0.2487E+05 | 0.4108E+08 | 0.2445E+07 | 0.2147E+07 | 0.0104E+06 |
| 20.00 | -2097. 0.2657E+05 | 0.4567E+08 | 0.2587E+07 | 0.2303E+07 | 273.4 |

CUARTO

| | CUARTO | CUARTO |
|----|--------|--------------|
| 01 | CTE | -2082. |
| 02 | INT | 12.17 |
| 03 | FOI | 31-5 78E-3 |
| 04 | INT | 27.11 |
| 05 | FOI | 4.354 25E-0 |
| 06 | INT | 7.5 10.8 |
| 07 | ITE | 23.62 |
| 08 | FOI | 61-0 227 |
| 09 | INT | 6.6 |
| 10 | FOI | 5.321 653E-4 |
| 11 | INT | 2.0 |
| 12 | FOI | 11 -1 |
| 13 | ITE | |
| 14 | FOI | 10.31446 |
| 15 | INT | 14 |
| 16 | FOI | 10.461 |
| 17 | INT | 27.1 247 |
| 18 | FOI | 2.2 |
| 19 | INT | 26 18 |
| 20 | ITE | 6 |
| 21 | INT | 10.2 |
| 22 | ITE | 20 21 |
| 23 | FOI | 11.0 |
| 24 | FOI | 20 21 |
| 25 | FOI | 20 21 |
| 26 | INT | 20 25 |
| 27 | SUP | 10.12.3 |
| 28 | OMP | 2.0. |
| 29 | HUL | 2.21 |
| 30 | OMP | 28.2660. |
| 31 | SUP | 13.36 |
| 32 | SUP | 18.14.36 |
| 33 | CTE | -1. |
| 34 | CTE | 1.000. |
| 35 | FOI | 21.7 - 5 |
| 36 | FOI | 20 25 |
| 37 | INT | 10 12 |
| 38 | FOI | 10 1000 |
| 39 | FOI | |

PAISO DE INTEGRACION, NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1.10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 20.1

LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6
 VARIABLES : 2, 19, 22, 24, 26, 37
 LETREROE

2
 19
 22
 24
 26
 37

LISTADO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 | 37 |
|--------|----------------------|------------|-------------|------------|-------------|--------|
| 0.0000 | -2082. 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1.000 | -1862. 1944. | 0.3851E+07 | -0.1141E+06 | 0.1534E+06 | -0.2547E+06 | |
| 2.000 | -1305. 3514. | 0.6337E+07 | -0.3311E+06 | 0.2845E+06 | -0.7122E+06 | |
| 3.000 | -811.4 4954. | 0.7126E+07 | -0.5621E+06 | 0.3614E+06 | -0.1066E+07 | |
| 4.000 | 101.1 4764. | 0.7447E+07 | -0.7414E+06 | 0.3791E+06 | -0.1171E+07 | |
| 5.000 | 613.9 5122. | 0.7596E+07 | -0.6859E+06 | 0.4197E+06 | -0.1070E+07 | |
| 6.000 | 1135. 6011. | 0.8412E+07 | -0.2538E+06 | 0.5097E+06 | -0.8120E+06 | |
| 7.000 | 1629. 7412. | 0.1030E+08 | 0.2465E+06 | 0.6416E+06 | -0.4546E+06 | |
| 8.000 | 1974. 8227. | 0.1360E+08 | 0.7633E+06 | 0.8632E+06 | -0.1190E+07 | |
| 9.000 | 2111. 9.1121E+05 | 0.1799E+08 | 0.1145E+07 | 0.9794E+06 | 0.6178E+06 | |
| 10.00 | 2013. 0.1321E+06 | 0.2252E+08 | 0.1283E+07 | 0.1154E+07 | 1267. | |
| 11.00 | 1800. 0.1517E+06 | 0.2617E+08 | 0.1173E+07 | 0.1313E+07 | -0.2936E+07 | |
| 12.00 | 1500. 0.1674E+06 | 0.2814E+08 | 0.9945E+06 | 0.1429E+07 | -0.7114E+06 | |
| 13.00 | 1211.3 0.1773E+06 | 0.2967E+08 | 0.6232E+06 | 0.1516E+07 | -0.1065E+07 | |
| 14.00 | -100.1 0.1753E+06 | 0.2998E+08 | 0.5365E+06 | 0.1534E+07 | -0.1171E+07 | |
| 15.00 | -636.9 0.1805E+06 | 0.3013E+08 | 0.6767E+06 | 0.1574E+07 | -0.1070E+07 | |
| 16.00 | -1153. 0.1894E+06 | 0.3094E+08 | 0.1201E+07 | 0.1664E+07 | -0.8125E+06 | |
| 17.00 | -1813. 0.1904E+07 | 0.3133E+08 | 0.1501E+07 | 0.1799E+07 | -0.4554E+06 | |
| 18.00 | -2171. 0.2145E+06 | 0.3133E+08 | 0.2147E+07 | 0.1958E+07 | -0.1190E+07 | |
| 19.00 | -2113. 0.2445E+06 | 0.4053E+08 | 0.2438E+07 | 0.2104E+07 | 0.6096E+06 | |
| 20.00 | -2013. 0.2645E+06 | 0.4504E+08 | 0.2573E+07 | 0.2309E+07 | 540.1 | |

```

6 QUINTO
6 GLR. ANA (ROSA) [50.1]
6
1 CTE -2049.
2 INT 1.17
3 POT 2. -8 E-3
4 MUL 2.11
5 POT 4.354. 23E-6
6 INT 7.5. 10. 8
7 CTE 25.15
8 POT 6. -3. 227
9 MUL 6. 6
10 POT 9.321. 693E-4
11 DIV 2. 6
12 POT 11. -1.
13 TPO
14 POT 13. .31416
15 SEN 14
16 POT 15.403.
17 POT 27.1. 83
18 MUL 2. 2
19 INT 20.18
20 CTE 0.
21 MUL 16. 2
22 INT 20. 21
23 MUL 11. 2
24 INT 20. 23
25 MUL 27. 2
26 INT 20. 25
27 SUM 16. 12. 3
28 CMP 2. 0.
29 MUL 2. 28
30 CMP 29. 2000.
31 SUM 33. 30
32 SUM 30. 34. 36
33 CTE -1
34 CTE 1000.
35 POT 31. -1. 5
36 MUL 29. 35
37 INT 20. 32
38 POT 30. 1000.
39 FIN

```

PASO DE INTEGRACION, NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1.10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 20.1
 LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6
 VARIABLES : 2, 19, 24, 26, 4, 22, 24, 26, 37
 LETREROS

2
 19
 22
 24
 26
 37

DIBUJO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|------------------------|------------|--------|------------|------------|
| 0.0000 | 37 -2049. 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1.000 | -1763. 1919. | 0.3711E+07 | 0.0000 | 0.1559E+06 | -0.2974E+ |
| 2.000 | -1266. 3449. | 0.6076E+07 | 0.0000 | 0.2790E+06 | -0.7095E+ |
| 3.000 | -593.6 4391. | 0.7000E+07 | 0.0000 | 0.3528E+06 | -0.1051E+ |
| 4.000 | 122.6 4635. | 0.7094E+07 | 0.0000 | 0.3690E+06 | -0.1143E+ |
| 5.000 | 601.0 5011. | 0.7254E+07 | 0.0000 | 0.4111E+06 | -0.1038E+ |
| 6.000 | 1159. 5508. | 0.8082E+07 | 0.0000 | 0.5016E+06 | -0.7803E+ |
| 7.000 | 1623. 7307. | 0.1006E+08 | 0.0000 | 0.6332E+06 | -0.4276E+0 |
| 8.000 | 1957. 9110. | 0.1332E+08 | 0.0000 | 0.7938E+06 | -0.1010E+ |
| 9.000 | 2110. 0.1111E+05 | 0.1752E+08 | 0.0000 | 0.9682E+06 | 0.6879E+ |
| 10.00 | 2049. 0.1311E+05 | 0.2152E+08 | 0.0000 | 0.1141E+07 | -364.9 |
| 11.00 | 1781. 0.1502E+05 | 0.2563E+08 | 0.0000 | 0.1297E+07 | -0.2978E+ |
| 12.00 | 1285. 0.1655E+05 | 0.2800E+08 | 0.0000 | 0.1420E+07 | -0.7097E+ |
| 13.00 | 501.3 0.1750E+05 | 0.2852E+08 | 0.0000 | 0.1494E+07 | -0.1051E+ |
| 14.00 | -122.8 0.1774E+05 | 0.2901E+08 | 0.0000 | 0.1510E+07 | -0.1143E+ |
| 15.00 | -631.2 0.1812E+05 | 0.2917E+08 | 0.0000 | 0.1552E+07 | -0.1038E+ |
| 16.00 | -1159. 0.1901E+05 | 0.3006E+08 | 0.0000 | 0.1643E+07 | -0.7801E+ |
| 17.00 | -1623. 0.2041E+05 | 0.3196E+08 | 0.0000 | 0.1774E+07 | -0.4274E+ |
| 18.00 | -1957. 0.2222E+05 | 0.3524E+08 | 0.0000 | 0.1935E+07 | -0.1008E+ |
| 19.00 | -2110. 0.2421E+05 | 0.3944E+08 | 0.0000 | 0.2109E+07 | 0.6899E+ |
| 20.00 | -2049. 0.2621E+05 | 0.4384E+08 | 0.0000 | 0.2282E+07 | -169.2 |

SEXTO

| | GLR. ANA | (ROSA) [50,1] |
|----|----------|---------------|
| 0 | | |
| 0 | | |
| 0 | | |
| 1 | CTE | -1974. |
| 2 | INT | 1.17 |
| 3 | POT | 2.-5.78E-3 |
| 4 | MUL | 2.11 |
| 5 | POT | 4.354.23E-6 |
| 6 | INT | 7.5.10.8 |
| 7 | CTE | 24.02 |
| 8 | POT | 6.-3.227 |
| 9 | MUL | 6.6 |
| 10 | POT | 9.321.693E-4 |
| 11 | DIV | 2.6 |
| 12 | POT | 11.-1. |
| 13 | TFO | |
| 14 | POT | 13.31416 |
| 15 | SEN | 14 |
| 16 | POT | 15.403. |
| 17 | POT | 27.1.75 |
| 18 | MUL | 2.2 |
| 19 | INT | 20.18 |
| 20 | CTE | 0 |
| 21 | MUL | 16.2 |
| 22 | INT | 20.21 |
| 23 | MUL | 11.2 |
| 24 | INT | 20.23 |
| 25 | MUL | 27.2 |
| 26 | INT | 20.25 |
| 27 | SUM | 16.12.3 |
| 28 | CMF | 2.0. |
| 29 | MUL | 2.28 |
| 30 | CMF | 29.2000. |
| 31 | SUM | 33.30 |
| 32 | SUM | 38.34.36 |
| 33 | CTE | -1 |
| 34 | CTE | 1000. |
| 35 | POT | 31.-.5 |
| 36 | MUL | 25.35 |
| 37 | INT | 20.32 |
| 38 | POT | 30.1000. |
| 39 | FIN | |

PASO DE INTEGRACION : NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1,10

TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 20.1

LISTADO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6

VARIABLES : 2,19,22,24,26,37

LETREROS

2

19

22

24

26

37

TIEMPO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|----------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 0.0000 | -1974. | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1.000 | -1708. 1859. | 0.3461E+07 | -0.1082E+06 | 0.1518E+06 | -0.2795E+06 |
| 2.000 | -1237. 3347. | 0.5695E+07 | -0.3708E+06 | 0.2723E+06 | -0.6760E+06 |
| 3.000 | -587.4 4275. | 0.6592E+07 | -0.6276E+06 | 0.3457E+06 | -0.1012E+07 |
| 4.000 | 98.41 4533. | 0.6692E+07 | -0.7093E+06 | 0.3625E+06 | -0.1111E+07 |
| 5.000 | 537.0 4871. | 0.6826E+07 | -0.5744E+06 | 0.4010E+06 | -0.1015E+07 |
| 6.000 | 1095. 5714. | 0.7558E+07 | -0.2407E+06 | 0.4854E+06 | -0.7708E+06 |
| 7.000 | 1544. 7041. | 0.9337E+07 | 0.2337E+06 | 0.6119E+06 | -0.4322E+06 |
| 8.000 | 1870. 8761. | 0.1230E+08 | 0.7231E+06 | 0.7661E+06 | -0.1140E+07 |
| 9.000 | 2024. 0.1072E+05 | 0.1616E+08 | 0.1085E+07 | 0.9345E+06 | 0.5702E+06 |
| 10.00 | 1973. 0.1272E+05 | 0.2022E+08 | 0.1218E+07 | 0.1102E+07 | -660.0 |
| 11.00 | 1707. 0.1453E+05 | 0.2368E+08 | 0.1110E+07 | 0.1254E+07 | -0.2805E+06 |
| 12.00 | 1237. 0.1605E+05 | 0.2591E+08 | 0.8476E+06 | 0.1374E+07 | -0.6764E+06 |
| 13.00 | 587.4 0.1695E+05 | 0.2681E+08 | 0.5910E+06 | 0.1448E+07 | -0.1012E+07 |
| 14.00 | -98.78 0.1735E+05 | 0.2591E+08 | 0.5054E+06 | 0.1404E+07 | -0.1111E+07 |
| 15.00 | -537.4 0.1759E+05 | 0.2704E+08 | 0.6445E+06 | 0.1500E+07 | -0.1015E+07 |
| 16.00 | -1095. 0.1843E+05 | 0.2778E+08 | 0.9783E+06 | 0.1588E+07 | -0.7708E+06 |
| 17.00 | -1544. 0.1876E+05 | 0.2958E+08 | 0.1453E+07 | 0.1714E+07 | -0.4319E+06 |
| 18.00 | -1870. 0.2148E+05 | 0.3252E+08 | 0.1942E+07 | 0.1868E+07 | -0.1137E+07 |
| 19.00 | -2024. 0.2344E+05 | 0.3638E+08 | 0.2304E+07 | 0.2036E+07 | 0.5741E+06 |
| 20.00 | -1974. 0.2343E+05 | 0.4045E+08 | 0.2438E+07 | 0.2204E+07 | -276.0 |

A P E N D I C E H

Simulación del comportamiento de una lámpara fluorescente de 110 vatios A.R. con balasto inductivo y triac en serie.

Se ha simulado mediante CAN el comportamiento de la lámpara con inductancia y triac serie, los listados de programas y resultados se exponen a continuación.

0
0 GLR. ANA (ROSA) [50.1]
0
1 CTE -2195.
2 INT 1,50,51
3 POT 2,-4.E-3
4 MUL 2,11
5 POT 4,354,23E-6
6 INT 7,5,10,8
7 CTE 28,08
8 POT 6,-3,227
9 MUL 6,6
10 POT 9,321,693E-4
11 DIV 2,6
12 POT 11,-1
13 TFO
14 POT 13,31416
15 SEN 14
16 POT 15,403
17 POT 27,2,5
18 MUL 2,2
19 INT 20,18
20 CTE 0
21 MUL 16,2
22 INT 20,21
23 MUL 11,2
24 INT 20,23
25 MUL 27,2
26 INT 20,25
27 SUM 16,12,3
28 CMP 2,0
29 MUL 2,28
30 CMP 29,2000.
31 SUM 33,30
32 SUM 38,34,36
33 CTE -1
34 CTE 1000.
35 POT 31,-,5
36 MUL 29,35
37 INT 20,32
38 POT 30,1000.
39 CMP 29,20.
40 CMP 41,1.
41 SUM 13,42
42 POT 53,-1.
43 SUM 39,40
44 CMP 43,-1.
45 POT 44,5
46 CTE -,5
47 CTE .5
48 SUM 45,46
49 SUM 45,47
50 MUL 2,48,52
51 MUL 49,17
52 CTE 5
53 REG 13,39,0.
54 FIN
>

FASO DE INTEGRACION, NUMERO DE FASOS PARA ESCRITURA : .05,5
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 20

LISTADO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 3

VARIABLES : 2,6,11

LETREEROS

2

6

11

DIBUJO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 0

| TIEMPO | 2 | 6 | 11 |
|---------|--------|-------|--------|
| 0.0000 | -2195. | 29.59 | -74.18 |
| 0.2500 | -2133. | 27.66 | -77.12 |
| 0.5000 | -2051. | 26.20 | -78.28 |
| 0.7500 | -1949. | 24.77 | -78.66 |
| 1.0000 | -1827. | 23.21 | -78.72 |
| 1.2500 | -1667. | 21.46 | -78.65 |
| 1.5000 | -1530. | 19.50 | -78.44 |
| 1.7500 | -1355. | 17.37 | -78.03 |
| 2.0000 | -1164. | 15.07 | -77.26 |
| 2.2500 | -958.7 | 12.65 | -75.81 |
| 2.5000 | -739.7 | 10.12 | -73.07 |
| 2.7500 | -509.8 | 7.549 | -67.53 |
| 3.0000 | -272.9 | 4.991 | -54.67 |
| 3.2500 | -39.31 | 2.656 | -14.80 |
| 3.5000 | 156.7 | 1.551 | 101.0 |
| 3.7500 | 309.5 | 2.516 | 123.0 |
| 4.0000 | 469.9 | 4.064 | 115.6 |
| 4.2500 | 640.2 | 5.813 | 110.1 |
| 4.5000 | 817.6 | 7.702 | 106.1 |
| 4.7500 | 999.9 | 9.704 | 103.0 |
| 5.0000 | 1185. | 11.80 | 100.4 |
| 5.2500 | 1372. | 13.98 | 98.12 |
| 5.5000 | 1557. | 16.22 | 96.01 |
| 5.7500 | 1741. | 18.52 | 94.03 |
| 6.0000 | 1921. | 20.85 | 92.13 |
| 6.2500 | 2096. | 23.21 | 90.29 |
| 6.5000 | 2263. | 25.58 | 88.50 |
| 6.7500 | 2423. | 27.93 | 86.74 |
| 7.0000 | 2573. | 30.27 | 85.00 |
| 7.2500 | 2712. | 32.56 | 83.29 |
| 7.5000 | 2839. | 34.79 | 81.61 |
| 7.7500 | 2953. | 36.93 | 79.97 |
| 8.0000 | 3053. | 38.96 | 78.37 |
| 8.2500 | 3137. | 40.84 | 76.81 |
| 8.5000 | 3206. | 42.56 | 75.33 |
| 8.7500 | 3257. | 44.06 | 73.92 |
| 9.0000 | 3291. | 45.32 | 72.62 |
| 9.2500 | 3307. | 46.30 | 71.44 |
| 9.5000 | 3305. | 46.94 | 70.41 |
| 9.7500 | 3284. | 47.20 | 69.56 |
| 10.0000 | 3243. | 47.06 | 68.92 |
| 10.2500 | 3183. | 46.47 | 68.50 |
| 10.5000 | 3104. | 45.43 | 68.33 |
| 10.7500 | 3005. | 43.93 | 68.41 |
| 11.0000 | 2888. | 42.01 | 68.74 |
| 11.2500 | 2751. | 39.71 | 69.29 |
| 11.5000 | 2597. | 37.09 | 70.01 |
| 11.7500 | 2424. | 34.21 | 70.85 |

| | | | |
|-------|--------|-------|---------|
| 12.00 | 2235. | 31.15 | 71.73 |
| 12.25 | 2029. | 27.97 | 72.56 |
| 12.50 | 1809. | 24.70 | 73.22 |
| 12.75 | 1574. | 21.39 | 73.59 |
| 13.00 | 1327. | 18.07 | 73.46 |
| 13.25 | 1070. | 14.76 | 72.47 |
| 13.50 | 803.8 | 11.50 | 69.91 |
| 13.75 | 531.8 | 8.308 | 64.01 |
| 14.00 | 258.8 | 5.271 | 49.09 |
| 14.25 | -2.054 | 2.671 | -0.7690 |
| 14.50 | -211.0 | 1.859 | -113.5 |
| 14.75 | -383.9 | 3.166 | -121.3 |
| 15.00 | -561.0 | 4.937 | -113.6 |
| 15.25 | -741.8 | 6.852 | -108.3 |
| 15.50 | -923.5 | 8.848 | -104.4 |
| 15.75 | -1104. | 10.90 | -101.3 |
| 16.00 | -1281. | 12.98 | -98.73 |
| 16.25 | -1453. | 15.06 | -96.47 |
| 16.50 | -1619. | 17.14 | -94.43 |
| 16.75 | -1776. | 19.20 | -92.53 |
| 17.00 | -1924. | 21.20 | -90.76 |
| 17.25 | -2062. | 23.14 | -89.08 |
| 17.50 | -2187. | 24.99 | -87.48 |
| 17.75 | -2298. | 26.74 | -85.97 |
| 18.00 | -2396. | 28.34 | -84.54 |
| 18.25 | -2478. | 29.79 | -83.19 |
| 18.50 | -2544. | 31.05 | -81.93 |
| 18.75 | -2593. | 32.11 | -80.77 |
| 19.00 | -2625. | 32.92 | -79.73 |
| 19.25 | -2638. | 33.47 | -78.80 |
| 19.50 | -2632. | 33.74 | -78.01 |
| 19.75 | -2606. | 33.71 | -77.36 |
| 20.00 | -2564. | 33.36 | -76.86 |

PASO DE INTEGRACION, NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : 1.10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 20.2\2\1

LISTADO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 4

VARIABLES : 2, 6, 11, 17

LETREROS

2

6

11

17

DIBUJO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 2

VARIABLE, MINIMO, MAXIMO.

2, -3500, 2\2\3500.

16, 450, \. 054\ -450, 450.

| TIEMPO | 2 | 6 | 11 | 17 |
|--------|---------|--------|---------|--------|
| 0.0000 | -2195. | 28.08 | -78.17 | 217.4 |
| 1.000 | -1828.4 | 23.18 | -78.88 | 526.8 |
| 2.000 | -1169. | 15.11 | -77.32 | 797.2 |
| 3.000 | -279.5 | 5.057 | -55.27 | 956.0 |
| 4.000 | -0.4814 | 0.2488 | -1.935 | 963.0 |
| 5.000 | 485.1 | 4.150 | 116.9 | 710.5 |
| 6.000 | 1202. | 12.06 | 99.73 | 696.9 |
| 7.000 | 1846. | 20.18 | 91.49 | 567.9 |
| 8.000 | 2320. | 27.22 | 85.23 | 355.9 |
| 9.000 | 2551 | 31.71 | 80.44 | 84.71 |
| 10.00 | 2493 | 32.14 | 77.57 | -218.9 |
| 11.00 | 2128 | 27.69 | 76.85 | -524.7 |
| 12.00 | 1469. | 19.13 | 76.79 | -798.9 |
| 13.00 | 569.0 | 8.375 | 67.94 | -990.6 |
| 14.00 | -0.3360 | 0.6386 | -0.5262 | -956.9 |
| 15.00 | -281.6 | 2.149 | -131.0 | -677.1 |
| 16.00 | -985.2 | 9.581 | -102.8 | -691.3 |
| 17.00 | -1625. | 17.38 | -93.51 | -565.0 |
| 18.00 | -2096. | 24.06 | -87.12 | -353.4 |
| 19.00 | -2325. | 28.21 | -82.40 | -82.08 |
| 20.00 | -2264. | 28.47 | -79.53 | 221.5 |

Listado de datos correspondiente a la fig. 5-6.

A P E N D I C E I

Simulación del comportamiento de una lámpara fluorescente de 110 vatios con inductancia y triac introduciendo una resistencia en paralelo con este último.

Para llegar a un diseño óptimo, una vez eliminado el problema de la inestabilidad se han realizado tres ejemplos, dos listados de los programas y resultados correspondientes a los mismos son:

- a) Caracterizado por $1/L = 2.5$; Tiempo de no conducción 5 ms.
- b) Caracterizado por $1/L = 3.5$; Tiempo de no conducción 3 ms.
- c) Caracterizado por $1/L = 4$; Tiempo de no conducción 3 ms.

a)

| | GLR. ANA | (ROSA) [50,1] |
|----|----------|---------------|
| 0 | | |
| 0 | | |
| 1 | CTE | -756.5 |
| 2 | INT | 1,50.17 |
| 3 | POT | 2,-4 E-3 |
| 4 | MUL | 2.11 |
| 5 | POT | 4,354.23E-6 |
| 6 | INT | 7,5.10.8 |
| 7 | CTE | 8.631 |
| 8 | FOT | 6,-3.227 |
| 9 | MUL | 6.6 |
| 10 | POT | 9,321.693E-4 |
| 11 | DIV | 2.6 |
| 12 | POT | 11,-1. |
| 13 | TFO | |
| 14 | FGT | 13,.31416 |
| 15 | SEN | 14 |
| 16 | POT | 15,403. |
| 17 | POT | 27,2 5 |
| 18 | MUL | 2.2 |
| 19 | INT | 20.18 |
| 20 | CTE | 0. |
| 21 | MUL | 16.2 |
| 22 | INT | 20.21 |
| 23 | MUL | 11.2 |
| 24 | INT | 20.23 |
| 25 | MUL | 27,2 |
| 26 | INT | 20.25 |
| 27 | SUM | 16,12,3 |
| 28 | CMP | 2,0. |
| 29 | MUL | 2,28 |
| 30 | CMP | 29,2000. |
| 31 | SUM | 33,30 |
| 32 | SUM | 38,34,36 |
| 33 | CTE | -1 |
| 34 | CTE | 1000. |
| 35 | FGT | 31,-.5 |
| 36 | MUL | 29,35 |
| 37 | INT | 20,32 |
| 38 | POT | 30,1000. |
| 39 | CMP | 25,20. |
| 40 | CMP | 41,5. |
| 41 | SUM | 13,42 |
| 42 | FGT | 53,-1. |
| 43 | SUM | 40,56 |
| 44 | CMP | 43,-1. |
| 45 | POT | 44,5. |
| 46 | CTE | -5 |
| 47 | CTE | .5 |
| 48 | SUM | 45,46 |
| 49 | SUM | 45,47 |
| 50 | MUL | 2,48,52 |
| 51 | MUL | 49,17 |
| 52 | CTE | 30. |
| 53 | REG | 13,56,0 |
| 54 | SUM | 35,56,58 |
| 55 | CMP | 54,0. |
| 56 | REG | 55,57,1 |

ST CTE 4
SS CMP 41.7
155 FIN
0

2

PASO DE INTEGRACION, NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA 02.10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION 60.1

LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6
 VARIABLES : 2, 19, 22, 24, 26, 37
 LETREROS

2
 19
 22
 24
 26
 37
 DIBUJO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 2
 VARIABLE, MINIMO, MAXIMO.
 2, -1000, 1000.
 16, -450, 450.

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | 37 | | | | |
| 0.0000 | -756.5 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.2000 | -705.5 148.4 | 0.1072E+06 | -1739. | 0.1274E+05 | -0.1451E+05 |
| 0.4000 | -642.7 281.4 | 0.1984E+06 | -6747. | 0.2430E+05 | -0.3184E+05 |
| 0.6000 | -558.3 402.7 | 0.2721E+06 | -0.1429E+05 | 0.3443E+05 | -0.4171E+05 |
| 0.8000 | -462.8 508.0 | 0.3276E+06 | -0.2144E+05 | 0.4308E+05 | -0.6714E+05 |
| 1.0000 | -380.2 595.1 | 0.3657E+06 | -0.3314E+05 | 0.4993E+05 | -0.8454E+05 |
| 1.2000 | -281.4 682.1 | 0.3883E+06 | -0.4220E+05 | 0.5467E+05 | -0.9807E+05 |
| 1.4000 | -169.7 707.2 | 0.3987E+06 | -0.4935E+05 | 0.5782E+05 | -0.1080E+06 |
| 1.6000 | -54.17 729.4 | 0.4014E+06 | -0.5336E+05 | 0.5898E+05 | -0.1133E+06 |
| 1.8000 | 15.80 733.3 | 0.4015E+06 | -0.5364E+05 | 0.5898E+05 | -0.1142E+06 |
| 2.0000 | 16.98 736.6 | 0.4016E+06 | -0.5289E+05 | 0.5905E+05 | -0.1135E+06 |
| 2.2000 | 16.96 740.0 | 0.4016E+06 | -0.5205E+05 | 0.5920E+05 | -0.1129E+06 |
| 2.4000 | 16.75 743.4 | 0.4017E+06 | -0.5115E+05 | 0.5941E+05 | -0.1122E+06 |
| 2.6000 | 16.93 746.8 | 0.4018E+06 | -0.5019E+05 | 0.5969E+05 | -0.1115E+06 |
| 2.8000 | 17.69 750.2 | 0.4018E+06 | -0.4915E+05 | 0.6001E+05 | -0.1108E+06 |
| 3.0000 | 18.73 753.9 | 0.4019E+06 | -0.4799E+05 | 0.6037E+05 | -0.1100E+06 |
| 3.2000 | 19.85 757.7 | 0.4020E+06 | -0.4671E+05 | 0.6075E+05 | -0.1092E+06 |
| 3.4000 | 20.95 761.8 | 0.4020E+06 | -0.4529E+05 | 0.6115E+05 | -0.1084E+06 |
| 3.6000 | 21.95 765.1 | 0.4021E+06 | -0.4375E+05 | 0.6158E+05 | -0.1076E+06 |
| 3.8000 | 22.85 768.6 | 0.4022E+06 | -0.4210E+05 | 0.6202E+05 | -0.1067E+06 |
| 4.0000 | 23.64 772.2 | 0.4023E+06 | -0.4033E+05 | 0.6248E+05 | -0.1058E+06 |

| | | | | | |
|-------|----------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 4 200 | 24.29 760.0 | 0.4025E+06 | -0.3848E+05 | 0.6295E+05 | +0.1030E+06 |
| 4 400 | 24.01 784.9 | 0.4026E+06 | -0.3655E+05 | 0.6342E+05 | -0.1016E+06 |
| 4 600 | 25.20 789.9 | 0.4027E+06 | -0.3456E+05 | 0.6391E+05 | -0.1001E+06 |
| 4 800 | 25.46 795.0 | 0.4028E+06 | -0.3252E+05 | 0.6440E+05 | -0.9853E+05 |
| 5 000 | 25.58 800.1 | 0.4030E+06 | -0.3047E+05 | 0.6489E+05 | -0.9697E+05 |
| 5 200 | 25.57 805.2 | 0.4031E+06 | -0.2841E+05 | 0.6538E+05 | -0.9539E+05 |
| 5 400 | 25.43 810.3 | 0.4032E+06 | -0.2636E+05 | 0.6586E+05 | -0.9383E+05 |
| 5 600 | 25.16 815.4 | 0.4034E+06 | -0.2434E+05 | 0.6634E+05 | -0.9230E+05 |
| 5 800 | 24.78 820.4 | 0.4035E+06 | -0.2238E+05 | 0.6681E+05 | -0.9081E+05 |
| 6 000 | 24.23 825.3 | 0.4036E+06 | -0.2048E+05 | 0.6727E+05 | -0.8937E+05 |
| 6 200 | 23.58 830.1 | 0.4037E+06 | -0.1867E+05 | 0.6772E+05 | -0.8800E+05 |
| 6 400 | 22.80 834.7 | 0.4038E+06 | -0.1695E+05 | 0.6815E+05 | -0.8672E+05 |
| 6 600 | 21.90 839.2 | 0.4039E+06 | -0.1534E+05 | 0.6857E+05 | -0.8553E+05 |
| 6 800 | 22.98 846.5 | 0.4042E+06 | -0.1281E+05 | 0.6962E+05 | -0.8405E+05 |
| 7 000 | 163.5 870.0 | 0.4071E+06 | -4988. | 0.7315E+05 | -0.7977E+05 |
| 7 200 | 257.4 912.1 | 0.4162E+06 | 8408. | 0.7861E+05 | -0.7187E+05 |
| 7 400 | 348.6 972.8 | 0.4347E+06 | 0.2675E+05 | 0.8582E+05 | -0.6081E+05 |
| 7 600 | 434.4 1051. | 0.4656E+06 | 0.4910E+05 | 0.9460E+05 | -0.4737E+05 |
| 7 800 | 517.2 1146. | 0.5107E+06 | 0.7440E+05 | 0.1048E+06 | -0.3245E+05 |
| 8 000 | 583.7 1256. | 0.5711E+06 | 0.1016E+06 | 0.1162E+06 | -0.1697E+05 |
| 8 200 | 645.2 1379. | 0.6469E+06 | 0.1295E+06 | 0.1287E+06 | -1853. |
| 8 400 | 697.0 1513. | 0.7372E+06 | 0.1571E+06 | 0.1421E+06 | 0.1206E+05 |
| 8 600 | 738.6 1657. | 0.8405E+06 | 0.1834E+06 | 0.1561E+06 | 0.2399E+05 |
| 8 800 | 765.4 1806. | 0.9545E+06 | 0.2077E+06 | 0.1706E+06 | 0.3329E+05 |
| 9 000 | 789.2 1964. | 0.1076E+07 | 0.2291E+06 | 0.1853E+06 | 0.3945E+05 |
| 9 200 | 797.6 2123. | 0.1202E+07 | 0.2470E+06 | 0.2001E+06 | 0.4210E+05 |
| 9 400 | 794.3 2282. | 0.1329E+07 | 0.2611E+06 | 0.2148E+06 | 0.4105E+05 |
| 9 600 | 779.1 2440. | 0.1454E+07 | 0.2712E+06 | 0.2290E+06 | 0.3636E+05 |
| 9 800 | 752.1 2595. | 0.1571E+07 | 0.2771E+06 | 0.2428E+06 | 0.2802E+05 |
| 10 00 | 713.1 2740. | 0.1679E+07 | 0.2790E+06 | 0.2557E+06 | 0.1659E+05 |
| 10 20 | 662.2 2878. | 0.1774E+07 | 0.2774E+06 | 0.2677E+06 | 2587. |
| 10 40 | 599.5 3004. | 0.1854E+07 | 0.2727E+06 | 0.2785E+06 | -0.1020E+05 |
| 10 60 | 525.4 3117. | 0.1917E+07 | 0.2657E+06 | 0.2830E+06 | -0.2591E+05 |

| | | | | | |
|------|-----------------|------------|------------|------------|-------------|
| 7.40 | -383.6 3666. | 0.2064E+07 | 0.3204E+06 | 0.3080E+06 | -0.2600E+05 |
| 7.60 | -470.3 3754. | 0.2100E+07 | 0.3447E+06 | 0.3482E+06 | -0.1189E+05 |
| 7.80 | -545.4 3856. | 0.2153E+07 | 0.3720E+06 | 0.3591E+06 | 4265. |
| 8.00 | -620.3 3973. | 0.2221E+07 | 0.4009E+06 | 0.3712E+06 | 0.2085E+05 |
| 8.20 | -682.1 4103. | 0.2306E+07 | 0.4305E+06 | 0.3843E+06 | 0.3693E+05 |
| 8.40 | -734.1 4245. | 0.2407E+07 | 0.4596E+06 | 0.3983E+06 | 0.5166E+05 |
| 8.60 | -775.8 4396. | 0.2521E+07 | 0.4874E+06 | 0.4130E+06 | 0.6425E+05 |
| 8.80 | -806.7 4555. | 0.2647E+07 | 0.5128E+06 | 0.4282E+06 | 0.7405E+05 |
| 9.00 | -826.6 4718. | 0.2780E+07 | 0.5352E+06 | 0.4435E+06 | 0.8053E+05 |
| 9.20 | -835.0 4884. | 0.2919E+07 | 0.5540E+06 | 0.4590E+06 | 0.8333E+05 |
| 9.40 | -831.7 5051. | 0.3058E+07 | 0.5688E+06 | 0.4743E+06 | 0.8224E+05 |
| 9.60 | -816.6 5216. | 0.3194E+07 | 0.5793E+06 | 0.4892E+06 | 0.7726E+05 |
| 9.80 | -789.6 5377. | 0.3323E+07 | 0.5855E+06 | 0.5036E+06 | 0.6857E+05 |
| 0.00 | -750.5 5531. | 0.3442E+07 | 0.5876E+06 | 0.5172E+06 | 0.5655E+05 |
| 0.20 | -693.6 5677. | 0.3548E+07 | 0.5858E+06 | 0.5299E+06 | 0.4177E+05 |
| 0.40 | -636.8 5810. | 0.3638E+07 | 0.5809E+06 | 0.5413E+06 | 0.2498E+05 |
| 0.60 | -562.4 5930. | 0.3710E+07 | 0.5734E+06 | 0.5514E+06 | 7153. |
| 0.80 | -476.9 6035. | 0.3764E+07 | 0.5643E+06 | 0.5599E+06 | -0.1062E+05 |
| 1.00 | -381.0 6121. | 0.3801E+07 | 0.5548E+06 | 0.5666E+06 | -0.2708E+05 |
| 1.20 | -275.7 6186. | 0.3823E+07 | 0.5459E+06 | 0.5715E+06 | -0.4091E+05 |
| 1.40 | -163.3 6230. | 0.3833E+07 | 0.5389E+06 | 0.5743E+06 | -0.5078E+05 |
| 1.60 | -49.35 6252. | 0.3835E+07 | 0.5351E+06 | 0.5754E+06 | -0.5563E+05 |
| 1.80 | 15.36 6255. | 0.3835E+07 | 0.5349E+06 | 0.5754E+06 | -0.5583E+05 |
| 2.00 | 16.92 6258. | 0.3835E+07 | 0.5357E+06 | 0.5755E+06 | -0.5516E+05 |
| 2.20 | 16.88 6262. | 0.3836E+07 | 0.5365E+06 | 0.5756E+06 | -0.5447E+05 |
| 2.40 | 16.68 6265. | 0.3836E+07 | 0.5374E+06 | 0.5759E+06 | -0.5379E+05 |
| 2.60 | 16.91 6269. | 0.3836E+07 | 0.5384E+06 | 0.5761E+06 | -0.5312E+05 |
| 2.80 | 17.07 6272. | 0.3836E+07 | 0.5394E+06 | 0.5765E+06 | -0.5240E+05 |
| 3.00 | 18.72 6276. | 0.3836E+07 | 0.5406E+06 | 0.5768E+06 | -0.5159E+05 |
| 3.20 | 19.85 6279. | 0.3836E+07 | 0.5419E+06 | 0.5772E+06 | -0.5069E+05 |
| 3.40 | 20.85 6284. | 0.3836E+07 | 0.5433E+06 | 0.5776E+06 | -0.4968E+05 |
| 3.60 | 21.90 6288. | 0.3836E+07 | 0.5448E+06 | 0.5780E+06 | -0.4857E+05 |
| 3.80 | 22.86 6292. | 0.3836E+07 | 0.5465E+06 | 0.5785E+06 | -0.4735E+05 |

| | | | | | |
|-------|----------------|------------|------------|------------|-------------|
| 24 00 | 23 64 6297. | 0.3836E+07 | 0.5482E+06 | 0.5789E+06 | -0.4605E+05 |
| 24 20 | 24 29 6302 | 0.3836E+07 | 0.5501E+06 | 0.5794E+06 | -0.4466E+05 |
| 24 40 | 24 81 6307. | 0.3836E+07 | 0.5520E+06 | 0.5799E+06 | -0.4321E+05 |
| 24 60 | 25 20 6312. | 0.3837E+07 | 0.5540E+06 | 0.5804E+06 | -0.4170E+05 |
| 24 80 | 25 46 6317. | 0.3837E+07 | 0.5560E+06 | 0.5808E+06 | -0.4016E+05 |
| 25 00 | 25 58 6322. | 0.3837E+07 | 0.5581E+06 | 0.5813E+06 | -0.3859E+05 |
| 25 20 | 25 57 6327. | 0.3837E+07 | 0.5602E+06 | 0.5818E+06 | -0.3702E+05 |
| 25 40 | 25 43 6332. | 0.3837E+07 | 0.5622E+06 | 0.5823E+06 | -0.3546E+05 |
| 25 60 | 25 16 6337. | 0.3837E+07 | 0.5642E+06 | 0.5828E+06 | -0.3393E+05 |
| 25 80 | 24 76 6342. | 0.3837E+07 | 0.5662E+06 | 0.5833E+06 | -0.3243E+05 |
| 26 00 | 24 23 6347. | 0.3837E+07 | 0.5681E+06 | 0.5837E+06 | -0.3100E+05 |
| 26 20 | 23 58 6352. | 0.3838E+07 | 0.5699E+06 | 0.5842E+06 | -0.2963E+05 |
| 26 40 | 22 50 6356. | 0.3838E+07 | 0.5716E+06 | 0.5846E+06 | -0.2835E+05 |
| 26 60 | 21 90 6361. | 0.3838E+07 | 0.5732E+06 | 0.5850E+06 | -0.2716E+05 |
| 26 80 | 21 77 6370. | 0.3838E+07 | 0.5764E+06 | 0.5864E+06 | -0.2541E+05 |
| 27 00 | 179.4 6337. | 0.3842E+07 | 0.5852E+06 | 0.5903E+06 | -0.2047E+05 |
| 27 20 | 274.3 6442. | 0.3852E+07 | 0.5996E+06 | 0.5961E+06 | -0.1187E+05 |
| 27 40 | 366.1 6506. | 0.3873E+07 | 0.6190E+06 | 0.6036E+06 | -111.0 |
| 27 60 | 452.2 6588. | 0.3907E+07 | 0.6424E+06 | 0.6127E+06 | 0.1399E+05 |
| 27 80 | 531.2 6686. | 0.3955E+07 | 0.6686E+06 | 0.6233E+06 | 0.2952E+05 |
| 28 00 | 601.9 6800. | 0.4020E+07 | 0.6967E+06 | 0.6350E+06 | 0.4555E+05 |
| 28 20 | 663.5 6927. | 0.4100E+07 | 0.7254E+06 | 0.6479E+06 | 0.6114E+05 |
| 28 40 | 715.4 7065. | 0.4196E+07 | 0.7538E+06 | 0.6615E+06 | 0.7546E+05 |
| 28 60 | 757.1 7212. | 0.4304E+07 | 0.7808E+06 | 0.6759E+06 | 0.8772E+05 |
| 28 80 | 788.0 7367. | 0.4424E+07 | 0.8056E+06 | 0.6907E+06 | 0.9727E+05 |
| 29 00 | 807.8 7527. | 0.4552E+07 | 0.8275E+06 | 0.7058E+06 | 0.1036E+06 |
| 29 20 | 816.1 7689. | 0.4684E+07 | 0.8459E+06 | 0.7203E+06 | 0.1063E+06 |
| 29 40 | 812.9 7852. | 0.4817E+07 | 0.8603E+06 | 0.7358E+06 | 0.1052E+06 |
| 29 60 | 797.7 8013. | 0.4947E+07 | 0.8706E+06 | 0.7505E+06 | 0.1004E+06 |
| 29 80 | 778.7 8171. | 0.5070E+07 | 0.8767E+06 | 0.7645E+06 | 0.9188E+05 |
| 30 00 | 731.7 8321. | 0.5183E+07 | 0.8787E+06 | 0.7778E+06 | 0.8016E+05 |
| 30 20 | 680.7 8462. | 0.5283E+07 | 0.8770E+06 | 0.7901E+06 | 0.6577E+05 |
| 30 40 | 618.0 8592. | 0.5368E+07 | 0.8722E+06 | 0.8012E+06 | 0.4947E+05 |

| | | | | | |
|------|----------------------|------------|------------|------------|------------|
| 7.20 | -285.7 9287. | 0.5569E+07 | 0.8957E+06 | 0.8549E+06 | 0.1048E+05 |
| 7.40 | -377.8 9274. | 0.5591E+07 | 0.9158E+06 | 0.8627E+06 | 0.3071E+05 |
| 7.60 | -464.2 9358. | 0.5627E+07 | 0.9398E+06 | 0.8720E+06 | 0.4526E+05 |
| 7.80 | -543.3 9459. | 0.5678E+07 | 0.9667E+06 | 0.8828E+06 | 0.6120E+05 |
| 8.00 | -614.1 9575. | 0.5745E+07 | 0.9954E+06 | 0.8948E+06 | 0.7759E+05 |
| 8.20 | -675.8 9704. | 0.5828E+07 | 0.1025E+07 | 0.9078E+06 | 0.9351E+05 |
| 8.40 | -727.8 9845. | 0.5927E+07 | 0.1054E+07 | 0.9217E+06 | 0.1081E+06 |
| 8.60 | -769.5 9994. | 0.6040E+07 | 0.1081E+07 | 0.9363E+06 | 0.1206E+06 |
| 8.80 | -800.4 0.1015E+05 | 0.6163E+07 | 0.1106E+07 | 0.9513E+06 | 0.1303E+06 |
| 9.00 | -820.2 0.1031E+05 | 0.6295E+07 | 0.1128E+07 | 0.9666E+06 | 0.1367E+06 |
| 9.20 | -828.6 0.1048E+05 | 0.6431E+07 | 0.1147E+07 | 0.9819E+06 | 0.1395E+06 |
| 9.40 | -825.3 0.1064E+05 | 0.6568E+07 | 0.1162E+07 | 0.9971E+06 | 0.1384E+06 |
| 9.60 | -810.2 0.1081E+05 | 0.6702E+07 | 0.1172E+07 | 0.1012E+07 | 0.1335E+06 |
| 9.80 | -783.2 0.1097E+05 | 0.6829E+07 | 0.1178E+07 | 0.1026E+07 | 0.1248E+06 |
| 0.00 | -744.1 0.1112E+05 | 0.6946E+07 | 0.1180E+07 | 0.1040E+07 | 0.1129E+06 |
| 0.20 | -693.2 0.1126E+05 | 0.7050E+07 | 0.1179E+07 | 0.1052E+07 | 0.9826E+05 |
| 0.40 | -630.4 0.1140E+05 | 0.7138E+07 | 0.1174E+07 | 0.1064E+07 | 0.8164E+05 |
| 0.60 | -558.1 0.1152E+05 | 0.7209E+07 | 0.1166E+07 | 0.1074E+07 | 0.6400E+05 |
| 0.80 | -470.6 0.1162E+05 | 0.7262E+07 | 0.1157E+07 | 0.1082E+07 | 0.4646E+05 |
| 1.00 | -374.7 0.1170E+05 | 0.7298E+07 | 0.1148E+07 | 0.1089E+07 | 0.3025E+05 |
| 1.20 | -269.6 0.1177E+05 | 0.7319E+07 | 0.1139E+07 | 0.1093E+07 | 0.1669E+05 |
| 1.40 | -157.5 0.1181E+05 | 0.7328E+07 | 0.1132E+07 | 0.1096E+07 | 7120. |
| .60 | -44.19 0.1183E+05 | 0.7330E+07 | 0.1129E+07 | 0.1097E+07 | 2550. |
| .80 | 15.99 0.1183E+05 | 0.7330E+07 | 0.1129E+07 | 0.1097E+07 | 2452. |
| .00 | 16.86 0.1184E+05 | 0.7330E+07 | 0.1130E+07 | 0.1097E+07 | 3119. |
| .20 | 15.80 0.1184E+05 | 0.7330E+07 | 0.1130E+07 | 0.1097E+07 | 3802. |
| .40 | 16.61 0.1184E+05 | 0.7331E+07 | 0.1131E+07 | 0.1098E+07 | 4469. |
| .60 | 16.87 0.1185E+05 | 0.7331E+07 | 0.1132E+07 | 0.1098E+07 | 5140. |
| .80 | 17.65 0.1185E+05 | 0.7331E+07 | 0.1133E+07 | 0.1098E+07 | 5858. |
| .00 | 18.71 0.1185E+05 | 0.7331E+07 | 0.1134E+07 | 0.1098E+07 | 6659. |
| .20 | 19.85 0.1186E+05 | 0.7331E+07 | 0.1136E+07 | 0.1099E+07 | 7560. |
| .40 | 20.95 0.1186E+05 | 0.7331E+07 | 0.1137E+07 | 0.1099E+07 | 8569. |
| .60 | 21.96 0.1187E+05 | 0.7331E+07 | 0.1139E+07 | 0.1100E+07 | 9683. |

| | | | | | |
|-------|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| 43.60 | 22.86 0.1167E+05 | 0.7331E+07 | 0.1140E+07 | 0.1100E+07 | 0.1090E+05 |
| 44.00 | 23.64 0.1168E+05 | 0.7331E+07 | 0.1142E+07 | 0.1101E+07 | 0.1020E+05 |
| 44.20 | 24.29 0.1168E+05 | 0.7331E+07 | 0.1144E+07 | 0.1101E+07 | 0.1359E+05 |
| 44.40 | 24.81 0.1189E+05 | 0.7331E+07 | 0.1146E+07 | 0.1102E+07 | 0.1504E+05 |
| 44.60 | 25.20 0.1189E+05 | 0.7332E+07 | 0.1148E+07 | 0.1102E+07 | 0.1555E+05 |
| 44.80 | 25.46 0.1190E+05 | 0.7332E+07 | 0.1150E+07 | 0.1102E+07 | 0.1809E+05 |
| 45.00 | 25.58 0.1190E+05 | 0.7332E+07 | 0.1152E+07 | 0.1103E+07 | 0.1966E+05 |
| 45.20 | 25.57 0.1191E+05 | 0.7332E+07 | 0.1154E+07 | 0.1103E+07 | 0.2123E+05 |
| 45.40 | 25.43 0.1191E+05 | 0.7332E+07 | 0.1156E+07 | 0.1104E+07 | 0.2279E+05 |
| 45.60 | 25.16 0.1192E+05 | 0.7332E+07 | 0.1158E+07 | 0.1104E+07 | 0.2433E+05 |
| 45.80 | 24.76 0.1192E+05 | 0.7332E+07 | 0.1160E+07 | 0.1105E+07 | 0.2582E+05 |
| 46.00 | 24.23 0.1193E+05 | 0.7332E+07 | 0.1162E+07 | 0.1105E+07 | 0.2725E+05 |
| 46.20 | 23.58 0.1193E+05 | 0.7333E+07 | 0.1164E+07 | 0.1106E+07 | 0.2862E+05 |
| 46.40 | 22.80 0.1194E+05 | 0.7333E+07 | 0.1165E+07 | 0.1106E+07 | 0.2990E+05 |
| 46.60 | 21.90 0.1194E+05 | 0.7333E+07 | 0.1167E+07 | 0.1107E+07 | 0.3110E+05 |
| 46.80 | 86.76 0.1195E+05 | 0.7333E+07 | 0.1170E+07 | 0.1108E+07 | 0.3285E+05 |
| 47.00 | 179.4 0.1198E+05 | 0.7337E+07 | 0.1179E+07 | 0.1112E+07 | 0.3778E+05 |
| 47.20 | 274.3 0.1202E+05 | 0.7347E+07 | 0.1194E+07 | 0.1118E+07 | 0.4638E+05 |
| 47.40 | 366.1 0.1209E+05 | 0.7368E+07 | 0.1213E+07 | 0.1125E+07 | 0.5814E+05 |
| 47.60 | 452.2 0.1217E+05 | 0.7402E+07 | 0.1236E+07 | 0.1134E+07 | 0.7224E+05 |
| 47.80 | 531.2 0.1227E+05 | 0.7450E+07 | 0.1262E+07 | 0.1145E+07 | 0.8777E+05 |
| 48.00 | 601.9 0.1238E+05 | 0.7515E+07 | 0.1291E+07 | 0.1157E+07 | 0.1038E+06 |
| 48.20 | 663.5 0.1251E+05 | 0.7595E+07 | 0.1319E+07 | 0.1170E+07 | 0.1194E+06 |
| 48.40 | 715.4 0.1264E+05 | 0.7690E+07 | 0.1348E+07 | 0.1183E+07 | 0.1337E+06 |
| 48.60 | 757.0 0.1279E+05 | 0.7799E+07 | 0.1375E+07 | 0.1198E+07 | 0.1460E+06 |
| 48.80 | 787.9 0.1295E+05 | 0.7919E+07 | 0.1400E+07 | 0.1213E+07 | 0.1555E+06 |
| 49.00 | 807.7 0.1311E+05 | 0.8046E+07 | 0.1421E+07 | 0.1227E+07 | 0.1618E+06 |
| 49.20 | 816.1 0.1327E+05 | 0.8178E+07 | 0.1440E+07 | 0.1243E+07 | 0.1645E+06 |
| 49.40 | 812.8 0.1343E+05 | 0.8311E+07 | 0.1454E+07 | 0.1257E+07 | 0.1635E+06 |
| 49.60 | 797.7 0.1359E+05 | 0.8441E+07 | 0.1464E+07 | 0.1272E+07 | 0.1586E+06 |
| 49.80 | 770.6 0.1375E+05 | 0.8565E+07 | 0.1471E+07 | 0.1286E+07 | 0.1501E+06 |
| 50.00 | 731.6 0.1390E+05 | 0.8678E+07 | 0.1473E+07 | 0.1299E+07 | 0.1384E+06 |
| 50.20 | 680.6 0.1404E+05 | 0.8778E+07 | 0.1471E+07 | 0.1312E+07 | 0.1240E+06 |

| | | | | | |
|-------|----------------------|------------|------------|------------|------------|
| 0.40 | 817.9 0.1417E+05 | 0.8863E+07 | 0.1466E+07 | 0.1323E+07 | 0.1077E+06 |
| 50.60 | 543.6 0.1429E+05 | 0.8930E+07 | 0.1459E+07 | 0.1333E+07 | 0.9045E+05 |
| 50.80 | 458.3 0.1439E+05 | 0.8981E+07 | 0.1450E+07 | 0.1341E+07 | 0.7334E+05 |
| 51.00 | 362.6 0.1447E+05 | 0.9015E+07 | 0.1441E+07 | 0.1347E+07 | 0.5763E+05 |
| 51.20 | 257.7 0.1453E+05 | 0.9034E+07 | 0.1432E+07 | 0.1352E+07 | 0.4462E+05 |
| 51.40 | 146.2 0.1457E+05 | 0.9043E+07 | 0.1426E+07 | 0.1354E+07 | 0.3561E+05 |
| 51.60 | 34.28 0.1459E+05 | 0.9045E+07 | 0.1423E+07 | 0.1355E+07 | 0.3157E+05 |
| 51.80 | -16.05 0.1459E+05 | 0.9045E+07 | 0.1423E+07 | 0.1355E+07 | 0.3169E+05 |
| 52.00 | -16.72 0.1460E+05 | 0.9045E+07 | 0.1424E+07 | 0.1355E+07 | 0.3235E+05 |
| 52.20 | -16.63 0.1460E+05 | 0.9045E+07 | 0.1425E+07 | 0.1355E+07 | 0.3302E+05 |
| 52.40 | -16.47 0.1460E+05 | 0.9045E+07 | 0.1425E+07 | 0.1356E+07 | 0.3367E+05 |
| 52.60 | -16.79 0.1461E+05 | 0.9045E+07 | 0.1426E+07 | 0.1356E+07 | 0.3433E+05 |
| 52.80 | -17.61 0.1461E+05 | 0.9045E+07 | 0.1427E+07 | 0.1356E+07 | 0.3505E+05 |
| 53.00 | -18.69 0.1461E+05 | 0.9045E+07 | 0.1429E+07 | 0.1357E+07 | 0.3585E+05 |
| 53.20 | -19.84 0.1462E+05 | 0.9045E+07 | 0.1430E+07 | 0.1357E+07 | 0.3675E+05 |
| 53.40 | -20.94 0.1462E+05 | 0.9045E+07 | 0.1431E+07 | 0.1357E+07 | 0.3775E+05 |
| 53.60 | -21.96 0.1463E+05 | 0.9045E+07 | 0.1433E+07 | 0.1358E+07 | 0.3887E+05 |
| 53.80 | -22.86 0.1463E+05 | 0.9045E+07 | 0.1434E+07 | 0.1358E+07 | 0.4008E+05 |
| 4.00 | -23.64 0.1464E+05 | 0.9045E+07 | 0.1436E+07 | 0.1359E+07 | 0.4139E+05 |
| 4.20 | -24.29 0.1464E+05 | 0.9045E+07 | 0.1438E+07 | 0.1359E+07 | 0.4277E+05 |
| 4.40 | -24.81 0.1465E+05 | 0.9046E+07 | 0.1440E+07 | 0.1360E+07 | 0.4423E+05 |
| 4.60 | -25.20 0.1465E+05 | 0.9046E+07 | 0.1442E+07 | 0.1360E+07 | 0.4573E+05 |
| 4.80 | -25.46 0.1466E+05 | 0.9046E+07 | 0.1444E+07 | 0.1361E+07 | 0.4728E+05 |
| 5.00 | -25.58 0.1466E+05 | 0.9046E+07 | 0.1446E+07 | 0.1361E+07 | 0.4884E+05 |
| 5.20 | -25.57 0.1467E+05 | 0.9046E+07 | 0.1448E+07 | 0.1362E+07 | 0.5042E+05 |
| 5.40 | -25.43 0.1467E+05 | 0.9046E+07 | 0.1450E+07 | 0.1362E+07 | 0.5198E+05 |
| 5.60 | -25.16 0.1468E+05 | 0.9046E+07 | 0.1452E+07 | 0.1363E+07 | 0.5351E+05 |
| 5.80 | -24.76 0.1468E+05 | 0.9046E+07 | 0.1454E+07 | 0.1363E+07 | 0.5500E+05 |
| 6.00 | -24.23 0.1469E+05 | 0.9047E+07 | 0.1456E+07 | 0.1363E+07 | 0.5644E+05 |
| 6.20 | -23.57 0.1469E+05 | 0.9047E+07 | 0.1458E+07 | 0.1364E+07 | 0.5780E+05 |
| 6.40 | -22.80 0.1470E+05 | 0.9047E+07 | 0.1460E+07 | 0.1364E+07 | 0.5909E+05 |
| 6.60 | -21.90 0.1470E+05 | 0.9047E+07 | 0.1461E+07 | 0.1365E+07 | 0.6028E+05 |
| 6.80 | -19.25 0.1471E+05 | 0.9048E+07 | 0.1465E+07 | 0.1366E+07 | 0.6227E+05 |

| | | | | | |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 57.00 | -150.2 | 0.9052E+07 | 0.1474E+07 | 0.1371E+07 | 0.6765E+05 |
| 57.20 | 0.1474E+05 | | | | |
| | -285.7 | 0.9063E+07 | 0.1490E+07 | 0.1377E+07 | 0.7673E+05 |
| | 0.1479E+05 | | | | |
| 57.40 | -377.8 | 0.9086E+07 | 0.1510E+07 | 0.1384E+07 | 0.8896E+05 |
| | 0.1485E+05 | | | | |
| 57.60 | -464.2 | 0.9121E+07 | 0.1534E+07 | 0.1394E+07 | 0.1035E+06 |
| | 0.1494E+05 | | | | |
| 57.80 | -543.3 | 0.9172E+07 | 0.1561E+07 | 0.1404E+07 | 0.1194E+06 |
| | 0.1504E+05 | | | | |
| 58.00 | -614.1 | 0.9239E+07 | 0.1589E+07 | 0.1416E+07 | 0.1358E+06 |
| | 0.1515E+05 | | | | |
| 58.20 | -675.8 | 0.9323E+07 | 0.1618E+07 | 0.1429E+07 | 0.1516E+06 |
| | 0.1528E+05 | | | | |
| 58.40 | -727.8 | 0.9422E+07 | 0.1647E+07 | 0.1443E+07 | 0.1663E+06 |
| | 0.1542E+05 | | | | |
| 58.60 | -769.4 | 0.9534E+07 | 0.1675E+07 | 0.1458E+07 | 0.1788E+06 |
| | 0.1557E+05 | | | | |
| 58.80 | -800.3 | 0.9658E+07 | 0.1700E+07 | 0.1473E+07 | 0.1885E+06 |
| | 0.1573E+05 | | | | |
| 59.00 | -820.2 | 0.9789E+07 | 0.1722E+07 | 0.1488E+07 | 0.1949E+06 |
| | 0.1589E+05 | | | | |
| 59.20 | -828.5 | 0.9925E+07 | 0.1741E+07 | 0.1504E+07 | 0.1977E+06 |
| | 0.1606E+05 | | | | |
| 59.40 | -825.3 | 0.1006E+08 | 0.1756E+07 | 0.1519E+07 | 0.1966E+06 |
| | 0.1622E+05 | | | | |
| 59.60 | -810.1 | 0.1020E+08 | 0.1766E+07 | 0.1534E+07 | 0.1917E+06 |
| | 0.1639E+05 | | | | |
| 59.80 | -783.1 | 0.1032E+08 | 0.1772E+07 | 0.1548E+07 | 0.1831E+06 |
| | 0.1655E+05 | | | | |
| 60.00 | -744.0 | 0.1044E+08 | 0.1774E+07 | 0.1561E+07 | 0.1711E+06 |
| | 0.1670E+05 | | | | |

b)

| | | |
|----|----------|---------------|
| 0 | GLR. ANA | (ROSA) [50,1] |
| 0 | | |
| 1 | CTE | -2043. |
| 2 | INT | 1,50,17 |
| 3 | FOT | 2,-4, E-3 |
| 4 | MUL | 2,11 |
| 5 | FOT | 4,354,23E-6 |
| 6 | INT | 7,5,10,8 |
| 7 | CTE | 25,39 |
| 8 | FOT | 6,-3,227 |
| 9 | MUL | 6,6 |
| 10 | FOT | 9,321,693E-4 |
| 11 | DIV | 2,6 |
| 12 | FOT | 11,-1. |
| 13 | TFO | |
| 14 | FOT | 13,31416 |
| 15 | SEN | 14 |
| 16 | FOT | 15,403. |
| 17 | FOT | 27,3,5 |
| 18 | MUL | 2,2 |
| 19 | INT | 20,18 |
| 20 | CTE | 0. |
| 21 | MUL | 16,2 |
| 22 | INT | 20,21 |
| 23 | MUL | 11,2 |
| 24 | INT | 20,23 |
| 25 | MUL | 27,2 |
| 26 | INT | 20,25 |
| 27 | SUM | 16,12,3 |
| 28 | CMF | 2,0. |
| 29 | MUL | 2,28 |
| 30 | CMF | 29,2000. |
| 31 | SUM | 33,30 |
| 32 | SUM | 38,34,36 |
| 33 | CTE | -1. |
| 34 | CTE | 1000. |
| 35 | FOT | 31,-.5 |
| 36 | MUL | 29,35 |
| 37 | INT | 20,32 |
| 38 | FOT | 30,1000. |
| 39 | CMF | 25,20. |
| 40 | CMF | 41,3. |
| 41 | SUM | 13,42 |
| 42 | FOT | 53,-1. |
| 43 | SUM | 40,56 |
| 44 | CMF | 43,-1. |
| 45 | FOT | 44,.5 |
| 46 | CTE | -5 |
| 47 | CTE | .5 |
| 48 | SUM | 45,46 |
| 49 | SUM | 45,47 |
| 50 | MUL | 2,48,52 |
| 51 | MUL | 49,17 |
| 52 | CTE | 30. |
| 53 | REG | 13,56,0. |
| 54 | SUM | 39,56,58 |
| 55 | CMF | 54,0. |
| 56 | REG | 55,57,1 |

| | | |
|------|-----|-------|
| 57 | CTE | 1. |
| 58 | CMF | 41.7. |
| 59 | FIN | |
| FIFO | | |

PASO DE INTEGRACION, NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : .02,10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION : 60.1

LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6
 VARIABLES : 2,19,22,24,26,37
 LETREROS

2
 15
 22
 24
 26
 37
 DIBUJO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 2
 VARIABLE, MINIMO, MAXIMO.
 2, -2500., 2500.
 16, -450.454, 450.

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 0.0000 | 37 -2043. 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.2000 | -1973. 399.0 | 0.8076E+06 | -4803. | 0.3223E+05 | -0.4026E+05 |
| 0.4000 | -1886. 785.2 | 0.1553E+07 | -0.1916E+05 | 0.6301E+05 | -0.8839E+05 |
| 0.6000 | -1781. 1152. | 0.2227E+07 | -0.4202E+05 | 0.9210E+05 | -0.1430E+06 |
| 0.8000 | -1660. 1497. | 0.2820E+07 | -0.7203E+05 | 0.1192E+06 | -0.2026E+06 |
| 1.000 | -1523. 1815. | 0.3328E+07 | -0.1076E+06 | 0.1442E+06 | -0.2651E+06 |
| 1.200 | -1369. 2104. | 0.3747E+07 | -0.1469E+06 | 0.1667E+06 | -0.3285E+06 |
| 1.400 | -1200. 2362. | 0.4078E+07 | -0.1878E+06 | 0.1865E+06 | -0.3906E+06 |
| 1.600 | -1016. 2583. | 0.4324E+07 | -0.2282E+06 | 0.2033E+06 | -0.4487E+06 |
| 1.800 | -818.9 2767. | 0.4494E+07 | -0.2657E+06 | 0.2168E+06 | -0.5005E+06 |
| 2.000 | -609.5 2910. | 0.4597E+07 | -0.2979E+06 | 0.2269E+06 | -0.5432E+06 |
| 2.200 | -390.9 3010. | 0.4648E+07 | -0.3226E+06 | 0.2333E+06 | -0.5744E+06 |
| 2.400 | -168.6 3066. | 0.4664E+07 | -0.3374E+06 | 0.2362E+06 | -0.5922E+06 |
| 2.600 | 24.47 3080. | 0.4666E+07 | -0.3408E+06 | 0.2366E+06 | -0.5961E+06 |
| 2.800 | 33.14 3086. | 0.4666E+07 | -0.3389E+06 | 0.2367E+06 | -0.5943E+06 |
| 3.000 | 32.95 3093. | 0.4666E+07 | -0.3368E+06 | 0.2369E+06 | -0.5924E+06 |
| 3.200 | 32.13 3100. | 0.4666E+07 | -0.3346E+06 | 0.2373E+06 | -0.5906E+06 |
| 3.400 | 31.56 3106. | 0.4667E+07 | -0.3324E+06 | 0.2377E+06 | -0.5889E+06 |
| 3.600 | 31.73 3112. | 0.4667E+07 | -0.3302E+06 | 0.2383E+06 | -0.5871E+06 |
| 3.800 | 32.41 3119. | 0.4667E+07 | -0.3278E+06 | 0.2389E+06 | -0.5854E+06 |
| 4.000 | 33.25 | 0.4667E+07 | -0.3253E+06 | 0.2395E+06 | -0.5835E+06 |

| | | | | | |
|-------|---------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 4.200 | 34.07 3132. | 0.4667E+07 | -0.3227E+06 | 0.2402E+06 | -0.5816E+06 |
| 4.400 | 34.76 3139. | 0.4668E+07 | -0.3200E+06 | 0.2409E+06 | -0.5795E+06 |
| 4.600 | 35.29 3146. | 0.4668E+07 | -0.3172E+06 | 0.2415E+06 | -0.5774E+06 |
| 4.800 | 35.65 3153. | 0.4668E+07 | -0.3144E+06 | 0.2422E+06 | -0.5753E+06 |
| 5.000 | 35.82 3160. | 0.4668E+07 | -0.3115E+06 | 0.2429E+06 | -0.5731E+06 |
| 5.200 | 35.81 3167. | 0.4669E+07 | -0.3086E+06 | 0.2436E+06 | -0.5709E+06 |
| 5.400 | 35.61 3174. | 0.4669E+07 | -0.3057E+06 | 0.2443E+06 | -0.5687E+06 |
| 5.600 | 79.47 3183. | 0.4669E+07 | -0.3025E+06 | 0.2452E+06 | -0.5663E+06 |
| 5.800 | 240.0 3214. | 0.4675E+07 | -0.2900E+06 | 0.2503E+06 | -0.5590E+06 |
| 6.000 | 414.7 3280. | 0.4697E+07 | -0.2648E+06 | 0.2591E+06 | -0.5427E+06 |
| 6.200 | 593.3 3380. | 0.4748E+07 | -0.2265E+06 | 0.2714E+06 | -0.5170E+06 |
| 6.400 | 770.4 3517. | 0.4842E+07 | -0.1761E+06 | 0.2870E+06 | -0.4825E+06 |
| 6.600 | 943.4 3688. | 0.4989E+07 | -0.1145E+06 | 0.3056E+06 | -0.4401E+06 |
| 6.800 | 1110. 3894. | 0.5201E+07 | -0.4323E+05 | 0.3272E+06 | -0.3912E+06 |
| 7.000 | 1269. 4132. | 0.5484E+07 | 0.3616E+05 | 0.3514E+06 | -0.3371E+06 |
| 7.200 | 1419. 4401. | 0.5847E+07 | 0.1219E+06 | 0.3780E+06 | -0.2795E+06 |
| 7.400 | 1559. 4699. | 0.6291E+07 | 0.2120E+06 | 0.4068E+06 | -0.2199E+06 |
| 7.600 | 1688. 5024. | 0.6819E+07 | 0.3047E+06 | 0.4376E+06 | -0.1601E+06 |
| 7.800 | 1805. 5373. | 0.7430E+07 | 0.3980E+06 | 0.4700E+06 | -0.1017E+06 |
| 8.000 | 1909. 5745. | 0.8121E+07 | 0.4899E+06 | 0.5039E+06 | -0.4643E+05 |
| 8.200 | 2000. 6136. | 0.8886E+07 | 0.5787E+06 | 0.5389E+06 | 4252. |
| 8.400 | 2077. 6536. | 0.9718E+07 | 0.6625E+06 | 0.5748E+06 | 0.4885E+05 |
| 8.600 | 2139. 6936. | 0.1061E+08 | 0.7399E+06 | 0.6114E+06 | 0.8607E+05 |
| 8.800 | 2185. 7336. | 0.1154E+08 | 0.8094E+06 | 0.6484E+06 | 0.1148E+06 |
| 9.000 | 2216. 7736. | 0.1251E+08 | 0.8697E+06 | 0.6856E+06 | 0.1341E+06 |
| 9.200 | 2230. 8136. | 0.1350E+08 | 0.9200E+06 | 0.7226E+06 | 0.1434E+06 |
| 9.400 | 2228. 8536. | 0.1450E+08 | 0.9595E+06 | 0.7594E+06 | 0.1421E+06 |
| 9.600 | 2210. 8936. | 0.1548E+08 | 0.9878E+06 | 0.7956E+06 | 0.1302E+06 |
| 9.800 | 2174. 9336. | 0.1645E+08 | 0.1005E+07 | 0.8311E+06 | 0.1078E+06 |
| 10.00 | 2121. 9736. | 0.1737E+08 | 0.1010E+07 | 0.8655E+06 | 0.7540E+05 |
| 10.20 | 2051. 0.1014E+05 | 0.1824E+08 | 0.1005E+07 | 0.8988E+06 | 0.3366E+05 |
| 10.40 | 1964 0.1053E+05 | 0.1905E+08 | 0.9905E+06 | 0.9306E+06 | -0.1633E+05 |
| 10.60 | 1860. | 0.1978E+08 | 0.9666E+06 | 0.9608E+06 | -0.7324E+05 |

| | | | | | |
|-------|----------------------|------------|------------|------------|-------------|
| 0.80 | 0.1074E+05 1739 | 0.2043E+08 | 0.9353E+06 | 0.9890E+06 | -0.1154E+06 |
| 1.00 | 0.1128E+05 1601 | 0.2099E+08 | 0.8979E+06 | 0.1015E+07 | -0.2011E+06 |
| 1.20 | 0.1161E+05 1447 | 0.2145E+08 | 0.8565E+06 | 0.1039E+07 | -0.2680E+06 |
| 1.40 | 0.1192E+05 1278 | 0.2183E+08 | 0.8131E+06 | 0.1060E+07 | -0.3338E+06 |
| 1.60 | 0.1219E+05 1094 | 0.2211E+08 | 0.7699E+06 | 0.1078E+07 | -0.3962E+06 |
| 1.80 | 0.1243E+05 896.4 | 0.2231E+08 | 0.7292E+06 | 0.1092E+07 | -0.4525E+06 |
| 2.00 | 0.1263E+05 686.2 | 0.2243E+08 | 0.6934E+06 | 0.1104E+07 | -0.5000E+06 |
| 12.20 | 0.1278E+05 465.8 | 0.2250E+08 | 0.6651E+06 | 0.1111E+07 | -0.5362E+06 |
| 12.40 | 0.1290E+05 239.7 | 0.2253E+08 | 0.6464E+06 | 0.1115E+07 | -0.5590E+06 |
| 12.60 | 0.1297E+05 19.03 | 0.2253E+08 | 0.6392E+06 | 0.1116E+07 | -0.5672E+06 |
| 12.80 | 0.1300E+05 -33.52 | 0.2253E+08 | 0.6407E+06 | 0.1116E+07 | -0.5658E+06 |
| 13.00 | 0.1300E+05 -33.66 | 0.2253E+08 | 0.6428E+06 | 0.1117E+07 | -0.5638E+06 |
| 13.20 | 0.1301E+05 -32.91 | 0.2253E+08 | 0.6450E+06 | 0.1117E+07 | -0.5619E+06 |
| 13.40 | 0.1302E+05 -32.13 | 0.2253E+08 | 0.6473E+06 | 0.1117E+07 | -0.5601E+06 |
| 13.60 | 0.1302E+05 -32.03 | 0.2253E+08 | 0.6496E+06 | 0.1118E+07 | -0.5584E+06 |
| 13.80 | 0.1303E+05 -32.54 | 0.2253E+08 | 0.6520E+06 | 0.1118E+07 | -0.5566E+06 |
| 14.00 | 0.1303E+05 -33.30 | 0.2253E+08 | 0.6545E+06 | 0.1119E+07 | -0.5547E+06 |
| 14.20 | 0.1304E+05 -34.09 | 0.2253E+08 | 0.6571E+06 | 0.1120E+07 | -0.5528E+06 |
| 14.40 | 0.1305E+05 -34.77 | 0.2253E+08 | 0.6598E+06 | 0.1120E+07 | -0.5507E+06 |
| 14.60 | 0.1305E+05 -35.29 | 0.2253E+08 | 0.6626E+06 | 0.1121E+07 | -0.5486E+06 |
| 14.80 | 0.1306E+05 -35.65 | 0.2253E+08 | 0.6654E+06 | 0.1122E+07 | -0.5465E+06 |
| 15.00 | 0.1307E+05 -35.82 | 0.2253E+08 | 0.6683E+06 | 0.1122E+07 | -0.5443E+06 |
| 15.20 | 0.1308E+05 -35.81 | 0.2253E+08 | 0.6712E+06 | 0.1123E+07 | -0.5421E+06 |
| 15.40 | 0.1308E+05 -35.61 | 0.2253E+08 | 0.6740E+06 | 0.1124E+07 | -0.5399E+06 |
| 5.60 | 0.1309E+05 -35.23 | 0.2254E+08 | 0.6769E+06 | 0.1124E+07 | -0.5377E+06 |
| 5.80 | 0.1310E+05 -188.7 | 0.2254E+08 | 0.6855E+06 | 0.1128E+07 | -0.5327E+06 |
| 6.00 | 0.1312E+05 -359.1 | 0.2255E+08 | 0.7066E+06 | 0.1136E+07 | -0.5194E+06 |
| 6.20 | 0.1317E+05 -535.5 | 0.2259E+08 | 0.7405E+06 | 0.1147E+07 | -0.4968E+06 |
| 6.40 | 0.1326E+05 -711.4 | 0.2267E+08 | 0.7866E+06 | 0.1161E+07 | -0.4655E+06 |
| 6.60 | 0.1339E+05 -883.5 | 0.2280E+08 | 0.8439E+06 | 0.1179E+07 | -0.4263E+06 |
| 6.80 | 0.1355E+05 -1050 | 0.2299E+08 | 0.9110E+06 | 0.1199E+07 | -0.3804E+06 |
| 7.00 | 0.1374E+05 -1208 | 0.2324E+08 | 0.9864E+06 | 0.1223E+07 | -0.3292E+06 |
| 7.20 | 0.1397E+05 -1358 | 0.2357E+08 | 0.1068E+07 | 0.1248E+07 | -0.2743E+06 |

| | | | | | |
|-------|----------------------|------------|------------|------------|-------------|
| 17.40 | 0.1424E+05 -1498. | 0.2396E+08 | 0.1155E+07 | 0.1276E+07 | -0.2173E+06 |
| 17.60 | 0.1451E+05 -1626. | 0.2447E+08 | 0.1244E+07 | 0.1306E+07 | -0.1599E+06 |
| 17.80 | 0.1462E+05 -1743. | 0.2504E+08 | 0.1334E+07 | 0.1337E+07 | -0.1037E+06 |
| 18.00 | 0.1516E+05 -1847. | 0.2568E+08 | 0.1423E+07 | 0.1370E+07 | -0.5035E+05 |
| 18.20 | 0.1552E+05 -1938. | 0.2640E+08 | 0.1509E+07 | 0.1404E+07 | -1390. |
| 18.40 | 0.1590E+05 -2014. | 0.2718E+08 | 0.1590E+07 | 0.1439E+07 | 0.4173E+05 |
| 18.60 | 0.1629E+05 -2076. | 0.2802E+08 | 0.1665E+07 | 0.1475E+07 | 0.7774E+05 |
| 18.80 | 0.1669E+05 -2122. | 0.2890E+08 | 0.1732E+07 | 0.1511E+07 | 0.1055E+06 |
| 19.00 | 0.1709E+05 -2153. | 0.2982E+08 | 0.1791E+07 | 0.1548E+07 | 0.1242E+06 |
| 19.20 | 0.1749E+05 -2167. | 0.3075E+08 | 0.1840E+07 | 0.1584E+07 | 0.1330E+06 |
| 19.40 | 0.1789E+05 -2165. | 0.3169E+08 | 0.1878E+07 | 0.1620E+07 | 0.1317E+06 |
| 19.60 | 0.1829E+05 -2146. | 0.3262E+08 | 0.1906E+07 | 0.1655E+07 | 0.1201E+06 |
| 19.80 | 0.1869E+05 -2110. | 0.3353E+08 | 0.1922E+07 | 0.1690E+07 | 0.9823E+05 |
| 20.00 | 0.1909E+05 -2057. | 0.3440E+08 | 0.1928E+07 | 0.1723E+07 | 0.6667E+05 |
| 20.20 | 0.1949E+05 -1987. | 0.3522E+08 | 0.1923E+07 | 0.1756E+07 | 0.2613E+05 |
| 20.40 | 0.1989E+05 -1900. | 0.3597E+08 | 0.1908E+07 | 0.1787E+07 | -0.2233E+05 |
| 20.60 | 0.2028E+05 -1795. | 0.3666E+08 | 0.1885E+07 | 0.1816E+07 | -0.7738E+05 |
| 20.80 | 0.2065E+05 -1674. | 0.3726E+08 | 0.1855E+07 | 0.1843E+07 | -0.1374E+06 |
| 21.00 | 0.2100E+05 -1537. | 0.3778E+08 | 0.1819E+07 | 0.1869E+07 | -0.2005E+06 |
| 21.20 | 0.2132E+05 -1383. | 0.3820E+08 | 0.1780E+07 | 0.1891E+07 | -0.2646E+06 |
| 21.40 | 0.2161E+05 -1214. | 0.3854E+08 | 0.1738E+07 | 0.1911E+07 | -0.3273E+06 |
| 21.60 | 0.2187E+05 -1030. | 0.3880E+08 | 0.1697E+07 | 0.1928E+07 | -0.3862E+06 |
| 21.80 | 0.2210E+05 -832.7 | 0.3897E+08 | 0.1659E+07 | 0.1942E+07 | -0.4387E+06 |
| 22.00 | 0.2228E+05 -623.2 | 0.3908E+08 | 0.1626E+07 | 0.1952E+07 | -0.4823E+06 |
| 22.20 | 0.2243E+05 -404.2 | 0.3913E+08 | 0.1601E+07 | 0.1959E+07 | -0.5145E+06 |
| 22.40 | 0.2253E+05 -181.2 | 0.3915E+08 | 0.1586E+07 | 0.1962E+07 | -0.5331E+06 |
| 22.60 | 0.2259E+05 20.48 | 0.3915E+08 | 0.1581E+07 | 0.1962E+07 | -0.5377E+06 |
| 22.80 | 0.2261E+05 33.22 | 0.3915E+08 | 0.1583E+07 | 0.1963E+07 | -0.5359E+06 |
| 23.00 | 0.2261E+05 33.08 | 0.3915E+08 | 0.1585E+07 | 0.1963E+07 | -0.5340E+06 |
| 23.20 | 0.2262E+05 32.26 | 0.3915E+08 | 0.1588E+07 | 0.1963E+07 | -0.5322E+06 |
| 23.40 | 0.2262E+05 31.66 | 0.3915E+08 | 0.1590E+07 | 0.1964E+07 | -0.5305E+06 |
| 23.60 | 0.2263E+05 31.78 | 0.3915E+08 | 0.1592E+07 | 0.1964E+07 | -0.5287E+06 |
| 23.80 | 0.2264E+05 32.43 | 0.3915E+08 | 0.1594E+07 | 0.1965E+07 | -0.5270E+06 |

| | | | | | | |
|-------|---------------------|------------|------------|------------|-------------|-----|
| 00 | 0.2264E+05 33.26 | 0.3915E+08 | 0.1597E+07 | 0.1965E+07 | -0.5251E+06 | 265 |
| 020 | 0.2265E+05 34.07 | 0.3915E+08 | 0.1600E+07 | 0.1966E+07 | -0.5232E+06 | |
| 040 | 0.2266E+05 34.76 | 0.3915E+08 | 0.1602E+07 | 0.1967E+07 | -0.5211E+06 | |
| 04.60 | 0.2266E+05 35.29 | 0.3915E+08 | 0.1605E+07 | 0.1967E+07 | -0.5190E+06 | |
| 04.80 | 0.2267E+05 35.65 | 0.3915E+08 | 0.1608E+07 | 0.1968E+07 | -0.5169E+06 | |
| 05.00 | 0.2268E+05 35.82 | 0.3915E+08 | 0.1611E+07 | 0.1969E+07 | -0.5147E+06 | |
| 05.20 | 0.2269E+05 35.81 | 0.3915E+08 | 0.1614E+07 | 0.1969E+07 | -0.5125E+06 | |
| 05.40 | 0.2269E+05 35.61 | 0.3915E+08 | 0.1616E+07 | 0.1970E+07 | -0.5103E+06 | |
| 05.60 | 0.2270E+05 71.55 | 0.3915E+08 | 0.1620E+07 | 0.1971E+07 | -0.5080E+06 | |
| 05.80 | 0.2271E+05 231.3 | 0.3916E+08 | 0.1631E+07 | 0.1976E+07 | -0.5011E+06 | |
| 06.00 | 0.2274E+05 405.4 | 0.3918E+08 | 0.1656E+07 | 0.1984E+07 | -0.4853E+06 | |
| 06.20 | 0.2280E+05 583.6 | 0.3923E+08 | 0.1693E+07 | 0.1997E+07 | -0.4601E+06 | |
| 06.40 | 0.2290E+05 760.5 | 0.3932E+08 | 0.1743E+07 | 0.2012E+07 | -0.4261E+06 | |
| 06.60 | 0.2303E+05 933.3 | 0.3946E+08 | 0.1804E+07 | 0.2030E+07 | -0.3843E+06 | |
| 06.80 | 0.2320E+05 1100. | 0.3967E+08 | 0.1875E+07 | 0.2052E+07 | -0.3359E+06 | |
| 07.00 | 0.2341E+05 1259. | 0.3995E+08 | 0.1953E+07 | 0.2076E+07 | -0.2823E+06 | |
| 07.20 | 0.2364E+05 1409. | 0.4031E+08 | 0.2038E+07 | 0.2102E+07 | -0.2251E+06 | |
| 07.40 | 0.2391E+05 1549. | 0.4075E+08 | 0.2128E+07 | 0.2131E+07 | -0.1660E+06 | |
| 07.60 | 0.2421E+05 1678. | 0.4127E+08 | 0.2220E+07 | 0.2162E+07 | -0.1066E+06 | |
| 07.80 | 0.2453E+05 1795. | 0.4187E+08 | 0.2313E+07 | 0.2194E+07 | -0.4858E+05 | |
| 08.00 | 0.2488E+05 1899. | 0.4255E+08 | 0.2404E+07 | 0.2227E+07 | 6402. | |
| 08.20 | 0.2525E+05 1990. | 0.4331E+08 | 0.2492E+07 | 0.2262E+07 | 0.5679E+05 | |
| 08.40 | 0.2564E+05 2066. | 0.4413E+08 | 0.2576E+07 | 0.2298E+07 | 0.1011E+06 | |
| 08.60 | 0.2603E+05 2128. | 0.4502E+08 | 0.2653E+07 | 0.2335E+07 | 0.1381E+06 | |
| 08.80 | 0.2643E+05 2174. | 0.4594E+08 | 0.2722E+07 | 0.2371E+07 | 0.1667E+06 | |
| 09.00 | 0.2683E+05 2205. | 0.4690E+08 | 0.2782E+07 | 0.2408E+07 | 0.1859E+06 | |
| 09.20 | 0.2723E+05 2220. | 0.4788E+08 | 0.2832E+07 | 0.2445E+07 | 0.1951E+06 | |
| 09.40 | 0.2763E+05 2218. | 0.4887E+08 | 0.2871E+07 | 0.2482E+07 | 0.1938E+06 | |
| 09.60 | 0.2803E+05 2199. | 0.4984E+08 | 0.2899E+07 | 0.2518E+07 | 0.1820E+06 | |
| 09.80 | 0.2843E+05 2163. | 0.5080E+08 | 0.2916E+07 | 0.2553E+07 | 0.1597E+06 | |
| 10.00 | 0.2883E+05 2110. | 0.5171E+08 | 0.2922E+07 | 0.2588E+07 | 0.1274E+06 | |
| 10.20 | 0.2923E+05 2040. | 0.5257E+08 | 0.2917E+07 | 0.2621E+07 | 0.8583E+05 | |
| 10.40 | 0.2963E+05 1953. | 0.5337E+08 | 0.2902E+07 | 0.2653E+07 | 0.3610E+05 | |

| | | | | | |
|-------|-----------------------------------|------------|------------|------------|-------------|
| 30.60 | 0.3003E+05 1649. 0.3041E+05 | 0.5410E+08 | 0.2678E+07 | 0.2683E+07 | -0.2050E+05 |
| 30.80 | 1728. 0.3077E+05 | 0.5474E+08 | 0.2647E+07 | 0.2711E+07 | -0.6233E+05 |
| 31.00 | 1590. 0.3110E+05 | 0.5529E+08 | 0.2810E+07 | 0.2737E+07 | -0.1475E+06 |
| 31.20 | 1436. 0.3141E+05 | 0.5575E+08 | 0.2769E+07 | 0.2760E+07 | -0.2140E+06 |
| 31.40 | 1267. 0.3168E+05 | 0.5611E+08 | 0.2726E+07 | 0.2761E+07 | -0.2793E+06 |
| 31.60 | 1083. 0.3191E+05 | 0.5639E+08 | 0.2683E+07 | 0.2799E+07 | -0.3411E+06 |
| 31.80 | 885.6 0.3211E+05 | 0.5659E+08 | 0.2643E+07 | 0.2813E+07 | -0.3967E+06 |
| 32.00 | 675.4 0.3227E+05 | 0.5671E+08 | 0.2608E+07 | 0.2824E+07 | -0.4436E+06 |
| 32.20 | 455.3 0.3238E+05 | 0.5677E+08 | 0.2580E+07 | 0.2832E+07 | -0.4791E+06 |
| 32.40 | 229.7 0.3245E+05 | 0.5680E+08 | 0.2562E+07 | 0.2836E+07 | -0.5012E+06 |
| 32.60 | 10.20 0.3247E+05 | 0.5680E+08 | 0.2555E+07 | 0.2836E+07 | -0.5087E+06 |
| 32.80 | -33.48 0.3248E+05 | 0.5680E+08 | 0.2557E+07 | 0.2837E+07 | -0.5072E+06 |
| 33.00 | -33.56 0.3248E+05 | 0.5680E+08 | 0.2559E+07 | 0.2837E+07 | -0.5053E+06 |
| 33.20 | -32.80 0.3249E+05 | 0.5680E+08 | 0.2561E+07 | 0.2837E+07 | -0.5034E+06 |
| 33.40 | -32.05 0.3250E+05 | 0.5680E+08 | 0.2563E+07 | 0.2838E+07 | -0.5016E+06 |
| 33.60 | -31.98 0.3250E+05 | 0.5680E+08 | 0.2565E+07 | 0.2838E+07 | -0.4998E+06 |
| 33.80 | -32.52 0.3251E+05 | 0.5680E+08 | 0.2568E+07 | 0.2839E+07 | -0.4981E+06 |
| 34.00 | -33.30 0.3252E+05 | 0.5680E+08 | 0.2570E+07 | 0.2839E+07 | -0.4962E+06 |
| 34.20 | -34.08 0.3252E+05 | 0.5680E+08 | 0.2573E+07 | 0.2840E+07 | -0.4942E+06 |
| 34.40 | -34.77 0.3253E+05 | 0.5680E+08 | 0.2576E+07 | 0.2841E+07 | -0.4922E+06 |
| 34.60 | -35.29 0.3254E+05 | 0.5680E+08 | 0.2578E+07 | 0.2841E+07 | -0.4901E+06 |
| 34.80 | -35.65 0.3254E+05 | 0.5681E+08 | 0.2581E+07 | 0.2842E+07 | -0.4879E+06 |
| 35.00 | -35.82 0.3255E+05 | 0.5681E+08 | 0.2584E+07 | 0.2843E+07 | -0.4857E+06 |
| 35.20 | -35.81 0.3256E+05 | 0.5681E+08 | 0.2587E+07 | 0.2843E+07 | -0.4835E+06 |
| 35.40 | -35.61 0.3256E+05 | 0.5681E+08 | 0.2590E+07 | 0.2844E+07 | -0.4814E+06 |
| 35.60 | -35.23 0.3257E+05 | 0.5681E+08 | 0.2593E+07 | 0.2845E+07 | -0.4792E+06 |
| 35.80 | -197.1 0.3260E+05 | 0.5681E+08 | 0.2602E+07 | 0.2849E+07 | -0.4738E+06 |
| 36.00 | -368.3 0.3265E+05 | 0.5683E+08 | 0.2624E+07 | 0.2856E+07 | -0.4600E+06 |
| 36.20 | -545.0 0.3274E+05 | 0.5687E+08 | 0.2658E+07 | 0.2868E+07 | -0.4369E+06 |
| 36.40 | -721.2 0.3287E+05 | 0.5695E+08 | 0.2705E+07 | 0.2882E+07 | -0.4051E+06 |
| 36.60 | -893.4 0.3303E+05 | 0.5708E+08 | 0.2763E+07 | 0.2900E+07 | -0.3654E+06 |
| 36.80 | -1060. 0.3323E+05 | 0.5727E+08 | 0.2831E+07 | 0.2921E+07 | -0.3190E+06 |
| 37.00 | -1248. 0.3323E+05 | 0.5753E+08 | 0.2907E+07 | 0.2944E+07 | -0.2673E+06 |

| | | | | | | |
|-------|------------------------------------|------------|------------|------------|-------------|-----|
| 37.20 | 0.3345E+05 -1368. 0.3371E+05 | 0.5787E+08 | 0.2989E+07 | 0.2970E+07 | -0.2120E+06 | 267 |
| 37.40 | -1508. 0.3400E+05 | 0.5828E+08 | 0.3077E+07 | 0.2998E+07 | -0.1546E+06 | |
| 37.60 | -1637. 0.3432E+05 | 0.5878E+08 | 0.3166E+07 | 0.3028E+07 | -0.9675E+05 | |
| 37.80 | -1753. 0.3465E+05 | 0.5935E+08 | 0.3257E+07 | 0.3060E+07 | -0.4016E+05 | |
| 38.00 | -1857. 0.3502E+05 | 0.6000E+08 | 0.3346E+07 | 0.3093E+07 | 0.1349E+05 | |
| 38.20 | -1948. 0.3540E+05 | 0.6073E+08 | 0.3433E+07 | 0.3127E+07 | 0.6273E+05 | |
| 38.40 | -2024. 0.3579E+05 | 0.6152E+08 | 0.3514E+07 | 0.3162E+07 | 0.1061E+06 | |
| 38.60 | -2086. 0.3619E+05 | 0.6237E+08 | 0.3590E+07 | 0.3198E+07 | 0.1423E+06 | |
| 38.80 | -2132. 0.3659E+05 | 0.6326E+08 | 0.3657E+07 | 0.3234E+07 | 0.1702E+06 | |
| 39.00 | -2163. 0.3699E+05 | 0.6418E+08 | 0.3716E+07 | 0.3271E+07 | 0.1890E+06 | |
| 39.20 | -2177. 0.3739E+05 | 0.6512E+08 | 0.3765E+07 | 0.3307E+07 | 0.1979E+06 | |
| 39.40 | -2175. 0.3779E+05 | 0.6607E+08 | 0.3804E+07 | 0.3343E+07 | 0.1966E+06 | |
| 39.60 | -2156. 0.3819E+05 | 0.6701E+08 | 0.3832E+07 | 0.3379E+07 | 0.1849E+06 | |
| 39.80 | -2120. 0.3859E+05 | 0.6793E+08 | 0.3848E+07 | 0.3413E+07 | 0.1629E+06 | |
| 40.00 | -2067. 0.3899E+05 | 0.6881E+08 | 0.3854E+07 | 0.3447E+07 | 0.1312E+06 | |
| 40.20 | -1997. 0.3939E+05 | 0.6963E+08 | 0.3849E+07 | 0.3480E+07 | 0.9050E+05 | |
| 40.40 | -1910. 0.3978E+05 | 0.7040E+08 | 0.3834E+07 | 0.3511E+07 | 0.4178E+05 | |
| 40.60 | -1806. 0.4016E+05 | 0.7109E+08 | 0.3811E+07 | 0.3540E+07 | -0.1358E+05 | |
| 40.80 | -1685. 0.4051E+05 | 0.7170E+08 | 0.3781E+07 | 0.3568E+07 | -0.7395E+05 | |
| 41.00 | -1547. 0.4083E+05 | 0.7222E+08 | 0.3745E+07 | 0.3593E+07 | -0.1375E+06 | |
| 41.20 | -1393. 0.4112E+05 | 0.7266E+08 | 0.3705E+07 | 0.3616E+07 | -0.2020E+06 | |
| 41.40 | -1224. 0.4139E+05 | 0.7300E+08 | 0.3663E+07 | 0.3636E+07 | -0.2652E+06 | |
| 41.60 | -1041. 0.4161E+05 | 0.7326E+08 | 0.3622E+07 | 0.3653E+07 | -0.3247E+06 | |
| 41.80 | -843.0 0.4180E+05 | 0.7344E+08 | 0.3583E+07 | 0.3667E+07 | -0.3779E+06 | |
| 42.00 | -633.4 0.4195E+05 | 0.7355E+08 | 0.3550E+07 | 0.3678E+07 | -0.4221E+06 | |
| 42.20 | -414.2 0.4205E+05 | 0.7360E+08 | 0.3524E+07 | 0.3684E+07 | -0.4549E+06 | |
| 42.40 | -190.5 0.4211E+05 | 0.7362E+08 | 0.3508E+07 | 0.3688E+07 | -0.4742E+06 | |
| 42.60 | 17.88 0.4213E+05 | 0.7362E+08 | 0.3503E+07 | 0.3688E+07 | -0.4793E+06 | |
| 42.80 | 33.28 0.4214E+05 | 0.7362E+08 | 0.3505E+07 | 0.3688E+07 | -0.4776E+06 | |
| 43.00 | 33.18 0.4214E+05 | 0.7362E+08 | 0.3507E+07 | 0.3688E+07 | -0.4757E+06 | |
| 43.20 | 32.37 0.4215E+05 | 0.7362E+08 | 0.3510E+07 | 0.3689E+07 | -0.4738E+06 | |
| 43.40 | 31.73 0.4216E+05 | 0.7362E+08 | 0.3512E+07 | 0.3689E+07 | -0.4721E+06 | |
| 43.60 | 31.62 | 0.7362E+08 | 0.3514E+07 | 0.3690E+07 | -0.4703E+06 | |

| | | | | | |
|-------|---------------------|------------|------------|------------|-------------|
| 43.80 | 0.4216E+05 32.44 | 0.7362E+08 | 0.3516E+07 | 0.3690E+07 | -0.4686E+06 |
| 44.00 | 0.4217E+05 33.27 | 0.7362E+08 | 0.3519E+07 | 0.3691E+07 | -0.4667E+06 |
| 44.20 | 0.4218E+05 34.07 | 0.7362E+08 | 0.3521E+07 | 0.3692E+07 | -0.4648E+06 |
| 44.40 | 0.4218E+05 34.76 | 0.7362E+08 | 0.3524E+07 | 0.3692E+07 | -0.4627E+06 |
| 44.60 | 0.4219E+05 35.29 | 0.7362E+08 | 0.3527E+07 | 0.3693E+07 | -0.4606E+06 |
| 44.80 | 0.4220E+05 35.65 | 0.7363E+08 | 0.3530E+07 | 0.3694E+07 | -0.4585E+06 |
| 45.00 | 0.4220E+05 35.82 | 0.7363E+08 | 0.3533E+07 | 0.3694E+07 | -0.4563E+06 |
| 45.20 | 0.4221E+05 35.81 | 0.7363E+08 | 0.3536E+07 | 0.3695E+07 | -0.4541E+06 |
| 45.40 | 0.4222E+05 35.61 | 0.7363E+08 | 0.3538E+07 | 0.3696E+07 | -0.4519E+06 |
| 45.60 | 0.4222E+05 71.55 | 0.7363E+08 | 0.3542E+07 | 0.3697E+07 | -0.4496E+06 |
| 45.80 | 0.4223E+05 231.3 | 0.7363E+08 | 0.3553E+07 | 0.3702E+07 | -0.4427E+06 |
| 46.00 | 0.4226E+05 405.4 | 0.7365E+08 | 0.3578E+07 | 0.3710E+07 | -0.4269E+06 |
| 46.20 | 0.4233E+05 583.5 | 0.7370E+08 | 0.3615E+07 | 0.3722E+07 | -0.4017E+06 |
| 46.40 | 0.4243E+05 760.5 | 0.7379E+08 | 0.3665E+07 | 0.3738E+07 | -0.3677E+06 |
| 46.60 | 0.4256E+05 933.3 | 0.7394E+08 | 0.3726E+07 | 0.3756E+07 | -0.3259E+06 |
| 46.80 | 0.4273E+05 1100. | 0.7414E+08 | 0.3797E+07 | 0.3777E+07 | -0.2775E+06 |
| 47.00 | 0.4293E+05 1259. | 0.7442E+08 | 0.3875E+07 | 0.3801E+07 | -0.2239E+06 |
| 47.20 | 0.4317E+05 1403. | 0.7478E+08 | 0.3960E+07 | 0.3828E+07 | -0.1668E+06 |
| 47.40 | 0.4344E+05 1549. | 0.7522E+08 | 0.4050E+07 | 0.3857E+07 | -0.1076E+06 |
| 47.60 | 0.4373E+05 1678. | 0.7574E+08 | 0.4142E+07 | 0.3887E+07 | -0.4821E+05 |
| 47.80 | 0.4405E+05 1795. | 0.7634E+08 | 0.4235E+07 | 0.3919E+07 | 9797. |
| 48.00 | 0.4440E+05 1899. | 0.7703E+08 | 0.4326E+07 | 0.3953E+07 | 0.6477E+05 |
| 48.20 | 0.4477E+05 1990. | 0.7778E+08 | 0.4414E+07 | 0.3988E+07 | 0.1152E+06 |
| 48.40 | 0.4516E+05 2066. | 0.7861E+08 | 0.4498E+07 | 0.4024E+07 | 0.1595E+06 |
| 48.60 | 0.4556E+05 2128. | 0.7949E+08 | 0.4575E+07 | 0.4060E+07 | 0.1965E+06 |
| 48.80 | 0.4596E+05 2174. | 0.8041E+08 | 0.4644E+07 | 0.4097E+07 | 0.2251E+06 |
| 49.00 | 0.4636E+05 2205. | 0.8137E+08 | 0.4704E+07 | 0.4134E+07 | 0.2442E+06 |
| 49.20 | 0.4676E+05 2220. | 0.8235E+08 | 0.4754E+07 | 0.4171E+07 | 0.2534E+06 |
| 49.40 | 0.4716E+05 2217. | 0.8334E+08 | 0.4793E+07 | 0.4208E+07 | 0.2521E+06 |
| 49.60 | 0.4756E+05 2199. | 0.8432E+08 | 0.4821E+07 | 0.4244E+07 | 0.2403E+06 |
| 49.80 | 0.4796E+05 2163. | 0.8527E+08 | 0.4838E+07 | 0.4279E+07 | 0.2180E+06 |
| 50.00 | 0.4836E+05 2110. | 0.8618E+08 | 0.4844E+07 | 0.4313E+07 | 0.1857E+06 |
| 50.20 | 0.4876E+05 2040. | 0.8704E+08 | 0.4839E+07 | 0.4347E+07 | 0.1441E+06 |

c)

GLR. ANR (ROSA) [50.11]

| | | |
|----|-----|--------------|
| 1 | CTE | -2361. |
| 2 | INT | 1.50.17 |
| 3 | FOT | 2.-4. E-2 |
| 4 | MUL | 2.11 |
| 5 | FOT | 4.354.23E-6 |
| 6 | INT | 7.5.10.8 |
| 7 | CTE | 30.18 |
| 8 | FOT | 5.-3.127 |
| 9 | MUL | 6.6 |
| 10 | FOT | 9.321.693E-4 |
| 11 | DIV | 2.6 |
| 12 | FOT | 11.-1. |
| 13 | TPG | . |
| 14 | FOT | 13.31416 |
| 15 | SEN | 14 |
| 16 | FOT | 15.403. |
| 17 | FOT | 27.4 |
| 18 | MUL | 2.2 |
| 19 | INT | 29.13 |
| 20 | CTE | 6. |
| 21 | MUL | 16.2 |
| 22 | INT | 20.21 |
| 23 | MUL | 11.2 |
| 24 | INT | 20.23 |
| 25 | MUL | 27.2 |
| 26 | INT | 20.25 |
| 27 | SUM | 16.12.2 |
| 28 | CMF | 2.0. |
| 29 | MUL | 27.27 |
| 30 | CMF | 20.9000 |
| 31 | SUM | 32.20 |
| 32 | FOT | 38.34.35 |
| 33 | CTE | -1 |
| 34 | CTE | 1000. |
| 35 | FOT | 31.-1.5 |
| 36 | MUL | 29.35 |
| 37 | INT | 20.30 |
| 38 | FOT | 30.1000. |
| 39 | CMF | 29.20. |
| 40 | CMF | 41.3. |
| 41 | SUM | 13.42 |
| 42 | FOT | 53.-1. |
| 43 | SUM | 40.50 |
| 44 | CMF | 43.-1. |
| 45 | FOT | 44.5 |
| 46 | CTE | -1.5 |
| 47 | CTE | .5 |
| 48 | SUM | 43.46 |
| 49 | SUM | 45.47 |
| 50 | MUL | 2.43.52 |
| 51 | MUL | 45.17 |
| 52 | CTE | 30. |
| 53 | RES | 13.56.8. |
| 54 | SUM | 33.56.50 |
| 55 | CMF | 51.0 |

3.800 37.11 0.6317E+07 -0.3820E+06 0.2712E+06 -0.6645E+06

| | | |
|----|-----|----------|
| 56 | REG | 55.57.1. |
| 57 | CTE | 1. |
| 58 | CMF | 41.7. |
| 59 | FIN | |
| > | | |

PASO DE INTEGRACION, NUMERO DE PASOS PARA ESCRITURA : .02,10
 TIEMPO MAXIMO DE SIMULACION. : 60.1

LISTADO
 NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 6
 VARIABLES : 2,19,22,24,26,37

LETREROS

2
 19
 22
 24
 26
 37

DIBUJO

NUMERO TOTAL DE VARIABLES : 2
 VARIABLE, MINIMO, MAXIMO.

2, 2500. \, ^U
 2, -2500, 2500.
 16, -450, 450.

| TIEMPO | 2 | 19 | 22 | 24 | 26 |
|--------|------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 0.0000 | -2361. 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.2000 | -2282. 400.0 | 0.1079E+07 | -5553. | 0.3599E+05 | -0.4586E+05 |
| 0.4000 | -2183. 800.0 | 0.2078E+07 | -0.2218E+05 | 0.7039E+05 | -0.1009E+06 |
| 0.6000 | -2065. 1200. | 0.2982E+07 | -0.4866E+05 | 0.1030E+06 | -0.1636E+06 |
| 0.8000 | -1928. 1596. | 0.3781E+07 | -0.6349E+05 | 0.1335E+06 | -0.2321E+06 |
| 1.000 | -1772. 1967. | 0.4467E+07 | -0.1248E+06 | 0.1616E+06 | -0.3043E+06 |
| 1.200 | -1597. 2304. | 0.5037E+07 | -0.1706E+06 | 0.1871E+06 | -0.3778E+06 |
| 1.400 | -1405. 2605. | 0.5489E+07 | -0.2184E+06 | 0.2096E+06 | -0.4500E+06 |
| 1.600 | -1196. 2865. | 0.5829E+07 | -0.2658E+06 | 0.2289E+06 | -0.5180E+06 |
| 1.800 | -970.9 3082. | 0.6065E+07 | -0.3101E+06 | 0.2446E+06 | -0.5790E+06 |
| 2.000 | -731.9 3252. | 0.6211E+07 | -0.3486E+06 | 0.2564E+06 | -0.6298E+06 |
| 2.200 | -481.8 3374. | 0.6286E+07 | -0.3784E+06 | 0.2642E+06 | -0.6678E+06 |
| 2.400 | -226.2 3445. | 0.6312E+07 | -0.3972E+06 | 0.2679E+06 | -0.6904E+06 |
| 2.600 | 15.13 3465. | 0.6315E+07 | -0.4029E+06 | 0.2686E+06 | -0.6968E+06 |
| 2.800 | 38.12 3472. | 0.6315E+07 | -0.4008E+06 | 0.2687E+06 | -0.6948E+06 |
| 3.000 | 38.08 3480. | 0.6316E+07 | -0.3984E+06 | 0.2689E+06 | -0.6926E+06 |
| 3.200 | 37.17 3487. | 0.6316E+07 | -0.3959E+06 | 0.2693E+06 | -0.6905E+06 |
| 3.400 | 36.39 3495. | 0.6316E+07 | -0.3933E+06 | 0.2699E+06 | -0.6885E+06 |
| 3.600 | 36.43 3502. | 0.6316E+07 | -0.3907E+06 | 0.2705E+06 | -0.6865E+06 |
| 3.800 | 37.11 | 0.6317E+07 | -0.3880E+06 | 0.2712E+06 | -0.6845E+06 |

| | | | | | | |
|-------|---------------------|------------|-------------|------------|-------------|--|
| | 3505. | | | | | |
| 4.000 | 38.03 3517. | 0.6317E+07 | -0.3852E+06 | 0.2719E+06 | -0.6823E+06 | |
| 4.200 | 38.94 3524. | 0.6317E+07 | -0.3822E+06 | 0.2726E+06 | -0.6801E+06 | |
| 4.400 | 39.73 3532. | 0.6318E+07 | -0.3791E+06 | 0.2734E+06 | -0.6778E+06 | |
| 4.600 | 40.33 3540. | 0.6318E+07 | -0.3759E+06 | 0.2742E+06 | -0.6754E+06 | |
| 4.800 | 40.74 3548. | 0.6318E+07 | -0.3727E+06 | 0.2749E+06 | -0.6729E+06 | |
| 5.000 | 40.94 3557. | 0.6319E+07 | -0.3694E+06 | 0.2757E+06 | -0.6704E+06 | |
| 5.200 | 40.92 3565. | 0.6319E+07 | -0.3661E+06 | 0.2765E+06 | -0.6679E+06 | |
| 5.400 | 40.70 3573. | 0.6319E+07 | -0.3628E+06 | 0.2773E+06 | -0.6654E+06 | |
| 5.600 | 51.59 3581. | 0.6320E+07 | -0.3595E+06 | 0.2781E+06 | -0.6629E+06 | |
| 5.800 | 234.9 3610. | 0.6324E+07 | -0.3483E+06 | 0.2828E+06 | -0.6563E+06 | |
| 6.000 | 431.3 3676. | 0.6347E+07 | -0.3226E+06 | 0.2920E+06 | -0.6400E+06 | |
| 6.200 | 633.7 3783. | 0.6404E+07 | -0.2822E+06 | 0.3052E+06 | -0.6130E+06 | |
| 6.400 | 835.2 3930. | 0.6513E+07 | -0.2279E+06 | 0.3221E+06 | -0.5760E+06 | |
| 6.600 | 1032. 4117. | 0.6688E+07 | -0.1608E+06 | 0.3425E+06 | -0.5301E+06 | |
| 6.800 | 1222. 4242. | 0.6943E+07 | -0.8251E+05 | 0.3662E+06 | -0.4765E+06 | |
| 7.000 | 1404. 4605. | 0.7289E+07 | 5097. | 0.3929E+06 | -0.4170E+06 | |
| 7.200 | 1575. 4903. | 0.7733E+07 | 0.1801E+06 | 0.4223E+06 | -0.3532E+06 | |
| 7.400 | 1735. 5234. | 0.8282E+07 | 0.2802E+06 | 0.4542E+06 | -0.2871E+06 | |
| 7.600 | 1882. 5596. | 0.8937E+07 | 0.3035E+06 | 0.4882E+06 | -0.2205E+06 | |
| 7.800 | 2016. 5986. | 0.9698E+07 | 0.4075E+06 | 0.5240E+06 | -0.1553E+06 | |
| 8.000 | 2135. 6386. | 0.1056E+08 | 0.5103E+06 | 0.5614E+06 | -0.9339E+05 | |
| 8.200 | 2239. 6786. | 0.1152E+08 | 0.6096E+06 | 0.6001E+06 | -0.3655E+05 | |
| 8.400 | 2327. 7186. | 0.1256E+08 | 0.7035E+06 | 0.6397E+06 | 0.1360E+05 | |
| 8.600 | 2398. 7586. | 0.1368E+08 | 0.7903E+06 | 0.6799E+06 | 0.5558E+05 | |
| 8.800 | 2452. 7986. | 0.1486E+08 | 0.8682E+06 | 0.7206E+06 | 0.8814E+05 | |
| 9.000 | 2487. 8386. | 0.1608E+08 | 0.9359E+06 | 0.7614E+06 | 0.1102E+06 | |
| 9.200 | 2505. 8786. | 0.1733E+08 | 0.9924E+06 | 0.8020E+06 | 0.1211E+06 | |
| 9.400 | 2503. 9186. | 0.1858E+08 | 0.1037E+07 | 0.8422E+06 | 0.1202E+06 | |
| 9.600 | 2483. 9586. | 0.1983E+08 | 0.1068E+07 | 0.8818E+06 | 0.1074E+06 | |
| 9.800 | 2443. 9986. | 0.2104E+08 | 0.1088E+07 | 0.9205E+06 | 0.8284E+05 | |
| 10.00 | 2384. 0.1039E+05 | 0.2221E+08 | 0.1094E+07 | 0.9581E+06 | 0.4702E+05 | |
| 10.20 | 2305. 0.1079E+05 | 0.2331E+08 | 0.1088E+07 | 0.9943E+06 | 756.3 | |
| 10.40 | 2206. | 0.2433E+08 | 0.1072E+07 | 0.1029E+07 | -0.5479E+05 | |

| | | | | | | |
|------|----------------------|------------|------------|------------|-------------|-----|
| 0.60 | 0.1119E+05 2088. | 0.2525E+08 | 0.1045E+07 | 0.1062E+07 | -0.1181E+06 | 273 |
| 0.60 | 0.1159E+05 1951. | 0.2607E+08 | 0.1010E+07 | 0.1093E+07 | -0.1874E+06 | |
| 1.00 | 0.1198E+05 1795. | 0.2677E+08 | 0.9677E+06 | 0.1121E+07 | -0.2605E+06 | |
| 1.20 | 0.1236E+05 1620. | 0.2736E+08 | 0.9213E+06 | 0.1147E+07 | -0.3350E+06 | |
| 1.40 | 0.1270E+05 1428. | 0.2782E+08 | 0.8727E+06 | 0.1170E+07 | -0.4083E+06 | |
| 1.60 | 0.1301E+05 1219. | 0.2818E+08 | 0.8245E+06 | 0.1189E+07 | -0.4775E+06 | |
| 1.80 | 0.1327E+05 993.7 | 0.2842E+08 | 0.7792E+06 | 0.1205E+07 | -0.5398E+06 | |
| 2.00 | 0.1349E+05 754.4 | 0.2858E+08 | 0.7398E+06 | 0.1218E+07 | -0.5921E+06 | |
| 2.20 | 0.1367E+05 503.8 | 0.2866E+08 | 0.7088E+06 | 0.1226E+07 | -0.6315E+06 | |
| 2.40 | 0.1379E+05 247.2 | 0.2869E+08 | 0.6889E+06 | 0.1230E+07 | -0.6556E+06 | |
| 2.60 | 0.1387E+05 -1.364 | 0.2869E+08 | 0.6821E+06 | 0.1231E+07 | -0.6632E+06 | |
| 2.80 | 0.1389E+05 -38.23 | 0.2869E+08 | 0.6840E+06 | 0.1231E+07 | -0.6614E+06 | |
| 3.00 | 0.1390E+05 -38.29 | 0.2869E+08 | 0.6865E+06 | 0.1231E+07 | -0.6592E+06 | |
| 3.20 | 0.1391E+05 -37.40 | 0.2869E+08 | 0.6890E+06 | 0.1231E+07 | -0.6570E+06 | |
| 3.40 | 0.1391E+05 -36.57 | 0.2869E+08 | 0.6916E+06 | 0.1232E+07 | -0.6550E+06 | |
| 3.60 | 0.1392E+05 -36.52 | 0.2869E+08 | 0.6942E+06 | 0.1232E+07 | -0.6530E+06 | |
| 3.80 | 0.1393E+05 -37.15 | 0.2869E+08 | 0.6969E+06 | 0.1233E+07 | -0.6510E+06 | |
| 4.00 | 0.1394E+05 -38.05 | 0.2869E+08 | 0.6997E+06 | 0.1234E+07 | -0.6488E+06 | |
| 4.20 | 0.1394E+05 -38.95 | 0.2869E+08 | 0.7027E+06 | 0.1235E+07 | -0.6466E+06 | |
| 4.40 | 0.1395E+05 -39.73 | 0.2869E+08 | 0.7058E+06 | 0.1235E+07 | -0.6443E+06 | |
| 4.60 | 0.1396E+05 -40.33 | 0.2869E+08 | 0.7090E+06 | 0.1236E+07 | -0.6419E+06 | |
| 4.80 | 0.1397E+05 -40.74 | 0.2869E+08 | 0.7123E+06 | 0.1237E+07 | -0.6394E+06 | |
| 5.00 | 0.1398E+05 -40.94 | 0.2869E+08 | 0.7156E+06 | 0.1238E+07 | -0.6369E+06 | |
| 5.20 | 0.1398E+05 -40.92 | 0.2869E+08 | 0.7189E+06 | 0.1238E+07 | -0.6344E+06 | |
| 5.40 | 0.1399E+05 -40.70 | 0.2869E+08 | 0.7221E+06 | 0.1239E+07 | -0.6319E+06 | |
| 5.60 | 0.1400E+05 -40.26 | 0.2869E+08 | 0.7254E+06 | 0.1240E+07 | -0.6294E+06 | |
| 5.80 | 0.1401E+05 -215.6 | 0.2870E+08 | 0.7352E+06 | 0.1244E+07 | -0.6237E+06 | |
| 6.00 | 0.1403E+05 -410.3 | 0.2872E+08 | 0.7593E+06 | 0.1253E+07 | -0.6084E+06 | |
| 6.20 | 0.1410E+05 -611.8 | 0.2877E+08 | 0.7980E+06 | 0.1266E+07 | -0.5827E+06 | |
| 6.40 | 0.1420E+05 -812.8 | 0.2887E+08 | 0.8507E+06 | 0.1282E+07 | -0.5469E+06 | |
| 6.60 | 0.1434E+05 -1009. | 0.2904E+08 | 0.9162E+06 | 0.1302E+07 | -0.5021E+06 | |
| 6.80 | 0.1452E+05 -1199. | 0.2928E+08 | 0.9929E+06 | 0.1325E+07 | -0.4497E+06 | |
| 7.00 | 0.1474E+05 -1380. | 0.2962E+08 | 0.1078E+07 | 0.1352E+07 | -0.3917E+06 | |

| | | | | | |
|-------|----------------------|------------|------------|------------|-------------|
| 17.20 | 0.1500E+05 -1552 | 0.3005E+08 | 0.1172E+07 | 0.1381E+07 | -0.3285E+06 |
| 17.40 | 0.1530E+05 -1711 | 0.3058E+08 | 0.1271E+07 | 0.1412E+07 | -0.2634E+06 |
| 17.60 | 0.1562E+05 -1859 | 0.3122E+08 | 0.1373E+07 | 0.1446E+07 | -0.1977E+06 |
| 17.80 | 0.1598E+05 -1992 | 0.3196E+08 | 0.1476E+07 | 0.1481E+07 | -0.1334E+06 |
| 18.00 | 0.1636E+05 -2111 | 0.3281E+08 | 0.1577E+07 | 0.1518E+07 | -0.7222E+05 |
| 18.20 | 0.1676E+05 -2215 | 0.3374E+08 | 0.1676E+07 | 0.1557E+07 | -0.1605E+05 |
| 18.40 | 0.1716E+05 -2303 | 0.3477E+08 | 0.1769E+07 | 0.1596E+07 | 0.3353E+05 |
| 18.60 | 0.1756E+05 -2374 | 0.3586E+08 | 0.1855E+07 | 0.1636E+07 | 0.7504E+05 |
| 18.80 | 0.1796E+05 -2428 | 0.3702E+08 | 0.1932E+07 | 0.1676E+07 | 0.1072E+06 |
| 19.00 | 0.1836E+05 -2463 | 0.3821E+08 | 0.1999E+07 | 0.1717E+07 | 0.1290E+06 |
| 19.20 | 0.1876E+05 -2481 | 0.3944E+08 | 0.2055E+07 | 0.1757E+07 | 0.1397E+06 |
| 19.40 | 0.1916E+05 -2479 | 0.4067E+08 | 0.2099E+07 | 0.1797E+07 | 0.1388E+06 |
| 19.60 | 0.1956E+05 -2459 | 0.4189E+08 | 0.2130E+07 | 0.1836E+07 | 0.1260E+06 |
| 19.80 | 0.1996E+05 -2419 | 0.4308E+08 | 0.2149E+07 | 0.1875E+07 | 0.1017E+06 |
| 20.00 | 0.2036E+05 -2359 | 0.4422E+08 | 0.2155E+07 | 0.1912E+07 | 0.6618E+05 |
| 20.20 | 0.2076E+05 -2280 | 0.4530E+08 | 0.2150E+07 | 0.1948E+07 | 0.2036E+05 |
| 20.40 | 0.2116E+05 -2182 | 0.4630E+08 | 0.2133E+07 | 0.1982E+07 | -0.3462E+05 |
| 20.60 | 0.2156E+05 -2063 | 0.4720E+08 | 0.2107E+07 | 0.2015E+07 | -0.9725E+05 |
| 20.80 | 0.2196E+05 -1926 | 0.4800E+08 | 0.2072E+07 | 0.2045E+07 | -0.1657E+06 |
| 21.00 | 0.2236E+05 -1770 | 0.4868E+08 | 0.2030E+07 | 0.2074E+07 | -0.2378E+06 |
| 21.20 | 0.2273E+05 -1596 | 0.4925E+08 | 0.1985E+07 | 0.2099E+07 | -0.3113E+06 |
| 21.40 | 0.2307E+05 -1403 | 0.4970E+08 | 0.1937E+07 | 0.2122E+07 | -0.3834E+06 |
| 21.60 | 0.2337E+05 -1194 | 0.5004E+08 | 0.1890E+07 | 0.2141E+07 | -0.4513E+06 |
| 21.80 | 0.2363E+05 -969.0 | 0.5028E+08 | 0.1845E+07 | 0.2156E+07 | -0.5121E+06 |
| 22.00 | 0.2384E+05 -730.0 | 0.5042E+08 | 0.1807E+07 | 0.2168E+07 | -0.5629E+06 |
| 22.20 | 0.2401E+05 -479.9 | 0.5050E+08 | 0.1777E+07 | 0.2176E+07 | -0.6007E+06 |
| 22.40 | 0.2414E+05 -224.4 | 0.5052E+08 | 0.1759E+07 | 0.2180E+07 | -0.6232E+06 |
| 22.60 | 0.2421E+05 16.05 | 0.5052E+08 | 0.1753E+07 | 0.2180E+07 | -0.6295E+06 |
| 22.80 | 0.2423E+05 38.12 | 0.5053E+08 | 0.1755E+07 | 0.2181E+07 | -0.6275E+06 |
| 23.00 | 0.2423E+05 38.06 | 0.5053E+08 | 0.1758E+07 | 0.2181E+07 | -0.6253E+06 |
| 23.20 | 0.2424E+05 37.15 | 0.5053E+08 | 0.1760E+07 | 0.2181E+07 | -0.6232E+06 |
| 23.40 | 0.2425E+05 36.38 | 0.5053E+08 | 0.1763E+07 | 0.2182E+07 | -0.6212E+06 |
| 23.60 | 0.2426E+05 36.42 | 0.5053E+08 | 0.1765E+07 | 0.2182E+07 | -0.6192E+06 |

| | | | | | |
|------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 0.20 | 37.11 | 0.5053E+08 | 0.1768E+07 | 0.2183E+07 | -0.6173E+06 |
| | 0.2427E+05 | | | | |
| 0.40 | 38.03 | 0.5053E+08 | 0.1771E+07 | 0.2184E+07 | -0.6150E+06 |
| | 0.2428E+05 | | | | |
| 0.60 | 38.94 | 0.5053E+08 | 0.1774E+07 | 0.2184E+07 | -0.6128E+06 |
| | 0.2429E+05 | | | | |
| 0.80 | 39.73 | 0.5053E+08 | 0.1777E+07 | 0.2185E+07 | -0.6105E+06 |
| | 0.2429E+05 | | | | |
| 1.00 | 40.33 | 0.5053E+08 | 0.1780E+07 | 0.2186E+07 | -0.6081E+06 |
| | 0.2430E+05 | | | | |
| 1.20 | 40.74 | 0.5053E+08 | 0.1783E+07 | 0.2187E+07 | -0.6056E+06 |
| | 0.2431E+05 | | | | |
| 1.40 | 40.94 | 0.5053E+08 | 0.1787E+07 | 0.2188E+07 | -0.6031E+06 |
| | 0.2432E+05 | | | | |
| 1.60 | 40.92 | 0.5053E+08 | 0.1790E+07 | 0.2188E+07 | -0.6006E+06 |
| | 0.2433E+05 | | | | |
| 1.80 | 40.70 | 0.5053E+08 | 0.1793E+07 | 0.2189E+07 | -0.5981E+06 |
| | 0.2433E+05 | | | | |
| 2.00 | 62.42 | 0.5053E+08 | 0.1796E+07 | 0.2190E+07 | -0.5956E+06 |
| | 0.2434E+05 | | | | |
| 2.20 | 244.6 | 0.5053E+08 | 0.1808E+07 | 0.2195E+07 | -0.5886E+06 |
| | 0.2437E+05 | | | | |
| 2.40 | 441.9 | 0.5056E+08 | 0.1835E+07 | 0.2204E+07 | -0.5716E+06 |
| | 0.2444E+05 | | | | |
| 2.60 | 644.7 | 0.5062E+08 | 0.1876E+07 | 0.2218E+07 | -0.5441E+06 |
| | 0.2455E+05 | | | | |
| 2.80 | 846.4 | 0.5073E+08 | 0.1931E+07 | 0.2235E+07 | -0.5065E+06 |
| | 0.2470E+05 | | | | |
| 3.00 | 1043 | 0.5091E+08 | 0.1999E+07 | 0.2256E+07 | -0.4599E+06 |
| | 0.2489E+05 | | | | |
| 3.20 | 1234 | 0.5117E+08 | 0.2078E+07 | 0.2279E+07 | -0.4058E+06 |
| | 0.2512E+05 | | | | |
| 3.40 | 1415 | 0.5152E+08 | 0.2167E+07 | 0.2306E+07 | -0.3457E+06 |
| | 0.2538E+05 | | | | |
| 3.60 | 1587 | 0.5197E+08 | 0.2262E+07 | 0.2336E+07 | -0.2814E+06 |
| | 0.2568E+05 | | | | |
| 3.80 | 1746 | 0.5253E+08 | 0.2363E+07 | 0.2368E+07 | -0.2148E+06 |
| | 0.2601E+05 | | | | |
| 4.00 | 1894 | 0.5319E+08 | 0.2467E+07 | 0.2402E+07 | -0.1477E+06 |
| | 0.2638E+05 | | | | |
| 4.20 | 2028 | 0.5396E+08 | 0.2572E+07 | 0.2438E+07 | -0.8216E+05 |
| | 0.2677E+05 | | | | |
| 4.40 | 2147 | 0.5484E+08 | 0.2675E+07 | 0.2476E+07 | -0.1990E+05 |
| | 0.2717E+05 | | | | |
| 4.60 | 2251 | 0.5580E+08 | 0.2775E+07 | 0.2514E+07 | 0.3727E+05 |
| | 0.2757E+05 | | | | |
| 4.80 | 2339 | 0.5686E+08 | 0.2869E+07 | 0.2554E+07 | 0.8770E+05 |
| | 0.2797E+05 | | | | |
| 5.00 | 2410 | 0.5799E+08 | 0.2957E+07 | 0.2595E+07 | 0.1299E+06 |
| | 0.2837E+05 | | | | |
| 5.20 | 2464 | 0.5918E+08 | 0.3035E+07 | 0.2635E+07 | 0.1626E+06 |
| | 0.2877E+05 | | | | |
| 5.40 | 2499 | 0.6041E+08 | 0.3103E+07 | 0.2676E+07 | 0.1849E+06 |
| | 0.2917E+05 | | | | |
| 5.60 | 2517 | 0.6167E+08 | 0.3160E+07 | 0.2717E+07 | 0.1956E+06 |
| | 0.2957E+05 | | | | |
| 5.80 | 2515 | 0.6294E+08 | 0.3204E+07 | 0.2758E+07 | 0.1949E+06 |
| | 0.2997E+05 | | | | |
| 6.00 | 2495 | 0.6419E+08 | 0.3236E+07 | 0.2797E+07 | 0.1831E+06 |
| | 0.3037E+05 | | | | |
| 6.20 | 2455 | 0.6542E+08 | 0.3255E+07 | 0.2836E+07 | 0.1574E+06 |
| | 0.3077E+05 | | | | |
| 6.40 | 2396 | 0.6660E+08 | 0.3262E+07 | 0.2874E+07 | 0.1215E+06 |
| | 0.3117E+05 | | | | |
| 6.60 | 2317 | 0.6771E+08 | 0.3256E+07 | 0.2910E+07 | 0.7497E+05 |

| | | | | | | |
|-------|----------------------|------------|------------|------------|-------------|-----|
| 30.40 | 0.3157E+05 2218 | 0.6874E+08 | 0.3239E+07 | 0.2945E+07 | 0.1914E+05 | 276 |
| 30.60 | 0.3197E+05 2181 | 0.6968E+08 | 0.3212E+07 | 0.2978E+07 | -0.4452E+05 | |
| 30.80 | 0.3237E+05 1963 | 0.7050E+08 | 0.3177E+07 | 0.3009E+07 | -0.1142E+06 | |
| 31.00 | 0.3277E+05 1807 | 0.7122E+08 | 0.3135E+07 | 0.3038E+07 | -0.1078E+06 | |
| 31.20 | 0.3315E+05 1633 | 0.7181E+08 | 0.3088E+07 | 0.3063E+07 | -0.2628E+06 | |
| 31.40 | 0.3349E+05 1440 | 0.7228E+08 | 0.3039E+07 | 0.3087E+07 | -0.3367E+06 | |
| 31.60 | 0.3380E+05 1231 | 0.7264E+08 | 0.2990E+07 | 0.3106E+07 | -0.4066E+06 | |
| 31.80 | 0.3407E+05 1006 | 0.7289E+08 | 0.2945E+07 | 0.3123E+07 | -0.4696E+06 | |
| 32.00 | 0.3429E+05 766.5 | 0.7305E+08 | 0.2904E+07 | 0.3135E+07 | -0.5226E+06 | |
| 32.20 | 0.3447E+05 515.6 | 0.7313E+08 | 0.2873E+07 | 0.3143E+07 | -0.5628E+06 | |
| 32.40 | 0.3460E+05 258.4 | 0.7317E+08 | 0.2852E+07 | 0.3147E+07 | -0.5877E+06 | |
| 32.60 | 0.3467E+05 8.371 | 0.7317E+08 | 0.2845E+07 | 0.3148E+07 | -0.5960E+06 | |
| 32.80 | 0.3470E+05 -38.28 | 0.7317E+08 | 0.2847E+07 | 0.3148E+07 | -0.5943E+06 | |
| 33.00 | 0.3471E+05 -38.39 | 0.7317E+08 | 0.2849E+07 | 0.3149E+07 | -0.5921E+06 | |
| 33.20 | 0.3471E+05 -37.53 | 0.7317E+08 | 0.2852E+07 | 0.3149E+07 | -0.5895E+06 | |
| 33.40 | 0.3472E+05 -36.66 | 0.7317E+08 | 0.2854E+07 | 0.3150E+07 | -0.5875E+06 | |
| 33.60 | 0.3473E+05 -36.57 | 0.7317E+08 | 0.2857E+07 | 0.3150E+07 | -0.5855E+06 | |
| 33.80 | 0.3474E+05 -37.17 | 0.7317E+08 | 0.2860E+07 | 0.3151E+07 | -0.5835E+06 | |
| 34.00 | 0.3474E+05 -38.06 | 0.7317E+08 | 0.2863E+07 | 0.3152E+07 | -0.5815E+06 | |
| 34.20 | 0.3475E+05 -38.95 | 0.7317E+08 | 0.2866E+07 | 0.3152E+07 | -0.5795E+06 | |
| 34.40 | 0.3476E+05 -39.73 | 0.7317E+08 | 0.2869E+07 | 0.3153E+07 | -0.5775E+06 | |
| 34.60 | 0.3477E+05 -40.34 | 0.7317E+08 | 0.2872E+07 | 0.3154E+07 | -0.5747E+06 | |
| 34.80 | 0.3477E+05 -40.74 | 0.7317E+08 | 0.2875E+07 | 0.3155E+07 | -0.5722E+06 | |
| 35.00 | 0.3478E+05 -40.94 | 0.7317E+08 | 0.2878E+07 | 0.3155E+07 | -0.5697E+06 | |
| 35.20 | 0.3479E+05 -40.92 | 0.7317E+08 | 0.2882E+07 | 0.3156E+07 | -0.5672E+06 | |
| 35.40 | 0.3480E+05 -40.70 | 0.7317E+08 | 0.2885E+07 | 0.3157E+07 | -0.5647E+06 | |
| 35.60 | 0.3481E+05 -40.26 | 0.7317E+08 | 0.2888E+07 | 0.3158E+07 | -0.5623E+06 | |
| 35.80 | 0.3482E+05 -225.2 | 0.7318E+08 | 0.2899E+07 | 0.3162E+07 | -0.5501E+06 | |
| 36.00 | 0.3484E+05 -420.8 | 0.7320E+08 | 0.2924E+07 | 0.3171E+07 | -0.5403E+06 | |
| 36.20 | 0.3491E+05 -622.7 | 0.7326E+08 | 0.2963E+07 | 0.3184E+07 | -0.510E+06 | |
| 36.40 | 0.3501E+05 -823.9 | 0.7336E+08 | 0.3017E+07 | 0.3201E+07 | -0.476E+06 | |
| 36.60 | 0.3516E+05 -1021 | 0.7353E+08 | 0.3083E+07 | 0.3221E+07 | -0.432E+06 | |
| 36.80 | 0.3534E+05 -1211 | 0.7378E+08 | 0.3160E+07 | 0.3245E+07 | -0.372E+06 | |

| | | | | | |
|-------|----------------------|------------|------------|------------|-------------|
| 7.00 | 0.3556E+05 -1392. | 0.7412E+08 | 0.3247E+07 | 0.3271E+07 | -0.3203E+06 |
| 7.20 | 0.3582E+05 -1563. | 0.7456E+08 | 0.3342E+07 | 0.3300E+07 | -0.2570E+06 |
| 7.40 | 0.3612E+05 -1723. | 0.7510E+08 | 0.3441E+07 | 0.3332E+07 | -0.1914E+06 |
| 7.60 | 0.3645E+05 -1870. | 0.7575E+08 | 0.3544E+07 | 0.3366E+07 | -0.1252E+06 |
| 7.80 | 0.3681E+05 -2004. | 0.7650E+08 | 0.3647E+07 | 0.3401E+07 | -0.6049E+05 |
| 8.00 | 0.3720E+05 -2123. | 0.7735E+08 | 0.3749E+07 | 0.3439E+07 | 1018. |
| 8.20 | 0.3760E+05 -2227. | 0.7830E+08 | 0.3848E+07 | 0.3477E+07 | 0.5751E+05 |
| 8.40 | 0.3800E+05 -2315. | 0.7933E+08 | 0.3941E+07 | 0.3517E+07 | 0.1074E+06 |
| 8.60 | 0.3840E+05 -2386. | 0.8044E+08 | 0.4028E+07 | 0.3557E+07 | 0.1491E+06 |
| 8.80 | 0.3880E+05 -2440. | 0.8160E+08 | 0.4105E+07 | 0.3597E+07 | 0.1815E+06 |
| 9.00 | 0.3920E+05 -2475. | 0.8281E+08 | 0.4172E+07 | 0.3638E+07 | 0.2034E+06 |
| 9.20 | 0.3960E+05 -2493. | 0.8405E+08 | 0.4229E+07 | 0.3678E+07 | 0.2141E+06 |
| 9.40 | 0.4000E+05 -2491. | 0.8529E+08 | 0.4273E+07 | 0.3718E+07 | 0.2132E+06 |
| 9.60 | 0.4040E+05 -2471. | 0.8652E+08 | 0.4304E+07 | 0.3758E+07 | 0.2005E+06 |
| 9.80 | 0.4080E+05 -2431. | 0.8773E+08 | 0.4323E+07 | 0.3796E+07 | 0.1760E+06 |
| 10.00 | 0.4120E+05 -2371. | 0.8888E+08 | 0.4330E+07 | 0.3834E+07 | 0.1403E+06 |
| 10.20 | 0.4160E+05 -2292. | 0.8997E+08 | 0.4324E+07 | 0.3870E+07 | 0.9429E+05 |
| 10.40 | 0.4200E+05 -2194. | 0.9098E+08 | 0.4307E+07 | 0.3904E+07 | 0.3902E+05 |
| 10.60 | 0.4240E+05 -2076. | 0.9189E+08 | 0.4281E+07 | 0.3937E+07 | -0.2395E+05 |
| 10.80 | 0.4280E+05 -1938. | 0.9270E+08 | 0.4246E+07 | 0.3968E+07 | -0.9281E+05 |
| 11.00 | 0.4319E+05 -1782. | 0.9339E+08 | 0.4204E+07 | 0.3996E+07 | -0.1654E+06 |
| 11.20 | 0.4357E+05 -1608. | 0.9397E+08 | 0.4158E+07 | 0.4022E+07 | -0.2394E+06 |
| 11.40 | 0.4390E+05 -1415. | 0.9443E+08 | 0.4110E+07 | 0.4044E+07 | -0.3121E+06 |
| 11.60 | 0.4421E+05 -1206. | 0.9477E+08 | 0.4062E+07 | 0.4064E+07 | -0.3807E+06 |
| 11.80 | 0.4447E+05 -981.0 | 0.9501E+08 | 0.4017E+07 | 0.4080E+07 | -0.4422E+06 |
| 12.00 | 0.4469E+05 -741.9 | 0.9516E+08 | 0.3979E+07 | 0.4092E+07 | -0.4937E+06 |
| 12.20 | 0.4486E+05 -491.5 | 0.9524E+08 | 0.3946E+07 | 0.4100E+07 | -0.5323E+06 |
| 12.40 | 0.4498E+05 -235.5 | 0.9527E+08 | 0.3929E+07 | 0.4103E+07 | -0.5555E+06 |
| 12.60 | 0.4506E+05 10.39 | 0.9527E+08 | 0.3923E+07 | 0.4104E+07 | -0.5628E+06 |
| 12.80 | 0.4508E+05 38.18 | 0.9527E+08 | 0.3925E+07 | 0.4104E+07 | -0.5605E+06 |
| 13.00 | 0.4509E+05 38.17 | 0.9527E+08 | 0.3927E+07 | 0.4104E+07 | -0.5583E+06 |
| 13.20 | 0.4509E+05 37.28 | 0.9527E+08 | 0.3930E+07 | 0.4105E+07 | -0.5562E+06 |
| 13.40 | 0.4510E+05 36.47 | 0.9527E+08 | 0.3932E+07 | 0.4105E+07 | -0.5543E+06 |

| | | | | | |
|-------|---------------------|------------|------------|------------|-------------|
| 43.60 | 0.4511E+05 36.47 | 0.9527E+08 | 0.3935E+07 | 0.4106E+07 | -0.5523E+06 |
| 43.80 | 0.4512E+05 37.13 | 0.9527E+08 | 0.3938E+07 | 0.4107E+07 | -0.5502E+06 |
| 44.00 | 0.4512E+05 36.04 | 0.9527E+08 | 0.3940E+07 | 0.4107E+07 | -0.5480E+06 |
| 44.20 | 0.4513E+05 38.95 | 0.9527E+08 | 0.3943E+07 | 0.4108E+07 | -0.5458E+06 |
| 44.40 | 0.4514E+05 39.73 | 0.9527E+08 | 0.3947E+07 | 0.4109E+07 | -0.5435E+06 |
| 44.60 | 0.4515E+05 40.33 | 0.9527E+08 | 0.3950E+07 | 0.4110E+07 | -0.5411E+06 |
| 44.80 | 0.4515E+05 40.74 | 0.9527E+08 | 0.3953E+07 | 0.4110E+07 | -0.5386E+06 |
| 45.00 | 0.4516E+05 40.94 | 0.9527E+08 | 0.3956E+07 | 0.4111E+07 | -0.5361E+06 |
| 45.20 | 0.4517E+05 40.92 | 0.9527E+08 | 0.3960E+07 | 0.4112E+07 | -0.5336E+06 |
| 45.40 | 0.4518E+05 40.70 | 0.9527E+08 | 0.3963E+07 | 0.4113E+07 | -0.5311E+06 |
| 45.60 | 0.4519E+05 62.42 | 0.9527E+08 | 0.3966E+07 | 0.4114E+07 | -0.5286E+06 |
| 45.80 | 0.4520E+05 244.6 | 0.9528E+08 | 0.3978E+07 | 0.4119E+07 | -0.5216E+06 |
| 46.00 | 0.4523E+05 441.9 | 0.9530E+08 | 0.4005E+07 | 0.4128E+07 | -0.5046E+06 |
| 46.20 | 0.4523E+05 644.7 | 0.9536E+08 | 0.4046E+07 | 0.4141E+07 | -0.4771E+06 |
| 46.40 | 0.4540E+05 846.4 | 0.9548E+08 | 0.4101E+07 | 0.4159E+07 | -0.4325E+06 |
| 46.60 | 0.4555E+05 1640 | 0.9565E+08 | 0.4169E+07 | 0.4179E+07 | -0.3930E+06 |
| 46.80 | 0.4574E+05 1234 | 0.9591E+08 | 0.4248E+07 | 0.4203E+07 | -0.3388E+06 |
| 47.00 | 0.4597E+05 1415 | 0.9627E+08 | 0.4336E+07 | 0.4230E+07 | -0.2787E+06 |
| 47.20 | 0.4623E+05 1588 | 0.9672E+08 | 0.4432E+07 | 0.4260E+07 | -0.2144E+06 |
| 47.40 | 0.4653E+05 1746 | 0.9727E+08 | 0.4532E+07 | 0.4292E+07 | -0.1478E+06 |
| 47.60 | 0.4687E+05 1894 | 0.9794E+08 | 0.4637E+07 | 0.4326E+07 | -0.8077E+05 |
| 47.80 | 0.4723E+05 2028 | 0.9871E+08 | 0.4741E+07 | 0.4362E+07 | -0.1519E+05 |
| 48.00 | 0.4762E+05 2147 | 0.9958E+08 | 0.4845E+07 | 0.4399E+07 | 0.4706E+05 |
| 48.20 | 0.4802E+05 2251 | 0.1005E+09 | 0.4945E+07 | 0.4438E+07 | 0.1042E+06 |
| 48.40 | 0.4842E+05 2339 | 0.1016E+09 | 0.5039E+07 | 0.4478E+07 | 0.1546E+06 |
| 48.60 | 0.4882E+05 2419 | 0.1027E+09 | 0.5126E+07 | 0.4518E+07 | 0.1963E+06 |
| 48.80 | 0.4922E+05 2464 | 0.1038E+09 | 0.5204E+07 | 0.4559E+07 | 0.2296E+06 |
| 49.00 | 0.4962E+05 2495 | 0.1050E+09 | 0.5272E+07 | 0.4600E+07 | 0.2518E+06 |
| 49.20 | 0.5002E+05 2517 | 0.1064E+09 | 0.5329E+07 | 0.4641E+07 | 0.2627E+06 |
| 49.40 | 0.5042E+05 2515 | 0.1077E+09 | 0.5374E+07 | 0.4681E+07 | 0.2619E+06 |
| 49.60 | 0.5082E+05 2495 | 0.1090E+09 | 0.5406E+07 | 0.4721E+07 | 0.2490E+06 |
| 49.80 | 0.5122E+05 2455 | 0.1102E+09 | 0.5425E+07 | 0.4760E+07 | 0.2243E+06 |
| 50.00 | 0.5162E+05 2398 | 0.1115E+09 | 0.5431E+07 | 0.4797E+07 | 0.1883E+06 |

| | | | | | | |
|-------|----------------------|------------|------------|------------|-------------|-----|
| 50.20 | 0.5202E+05 2317. | 0.1125E+09 | 0.5426E+07 | 0.4834E+07 | 0.1419E+06 | 279 |
| 50.40 | 0.5242E+05 2216. | 0.1135E+09 | 0.5409E+07 | 0.4869E+07 | 0.1402E+06 | |
| 50.60 | 0.5282E+05 2100. | 0.1144E+09 | 0.5382E+07 | 0.4902E+07 | 0.1235E+06 | |
| 50.80 | 0.5322E+05 1963. | 0.1152E+09 | 0.5346E+07 | 0.4933E+07 | -0.4733E+05 | |
| 51.00 | 0.5362E+05 1807. | 0.1160E+09 | 0.5304E+07 | 0.4961E+07 | -0.1209E+06 | |
| 51.20 | 0.5400E+05 1632. | 0.1166E+09 | 0.5257E+07 | 0.4987E+07 | -0.1959E+06 | |
| 51.40 | 0.5434E+05 1440. | 0.1170E+09 | 0.5208E+07 | 0.5010E+07 | -0.2696E+06 | |
| 51.60 | 0.5465E+05 1231. | 0.1174E+09 | 0.5160E+07 | 0.5030E+07 | -0.3397E+06 | |
| 51.80 | 0.5492E+05 1006. | 0.1176E+09 | 0.5114E+07 | 0.5046E+07 | -0.4027E+06 | |
| 52.00 | 0.5514E+05 766.2 | 0.1178E+09 | 0.5074E+07 | 0.5059E+07 | -0.4557E+06 | |
| 52.20 | 0.5532E+05 515.3 | 0.1179E+09 | 0.5043E+07 | 0.5067E+07 | -0.4959E+06 | |
| 52.40 | 0.5545E+05 258.1 | 0.1179E+09 | 0.5022E+07 | 0.5071E+07 | -0.5207E+06 | |
| 52.60 | 0.5553E+05 8.107 | 0.1179E+09 | 0.5015E+07 | 0.5072E+07 | -0.5290E+06 | |
| 52.80 | 0.5555E+05 -38.28 | 0.1179E+09 | 0.5016E+07 | 0.5072E+07 | -0.5273E+06 | |
| 53.00 | 0.5556E+05 -38.39 | 0.1179E+09 | 0.5019E+07 | 0.5072E+07 | -0.5251E+06 | |
| 53.20 | 0.5557E+05 -37.53 | 0.1179E+09 | 0.5021E+07 | 0.5073E+07 | -0.5229E+06 | |
| 53.40 | 0.5557E+05 -36.66 | 0.1179E+09 | 0.5024E+07 | 0.5073E+07 | -0.5209E+06 | |
| 53.60 | 0.5558E+05 -36.57 | 0.1179E+09 | 0.5027E+07 | 0.5074E+07 | -0.5188E+06 | |
| 53.80 | 0.5559E+05 -37.17 | 0.1179E+09 | 0.5029E+07 | 0.5074E+07 | -0.5168E+06 | |
| 54.00 | 0.5560E+05 -38.06 | 0.1179E+09 | 0.5032E+07 | 0.5075E+07 | -0.5147E+06 | |
| 54.20 | 0.5560E+05 -38.95 | 0.1179E+09 | 0.5035E+07 | 0.5076E+07 | -0.5125E+06 | |
| 54.40 | 0.5561E+05 -39.73 | 0.1179E+09 | 0.5038E+07 | 0.5077E+07 | -0.5101E+06 | |
| 54.60 | 0.5562E+05 -40.34 | 0.1179E+09 | 0.5041E+07 | 0.5077E+07 | -0.5077E+06 | |
| 54.80 | 0.5563E+05 -40.74 | 0.1179E+09 | 0.5045E+07 | 0.5078E+07 | -0.5052E+06 | |
| 55.00 | 0.5564E+05 -40.94 | 0.1179E+09 | 0.5048E+07 | 0.5079E+07 | -0.5027E+06 | |
| 55.20 | 0.5564E+05 -40.92 | 0.1179E+09 | 0.5051E+07 | 0.5080E+07 | -0.5002E+06 | |
| 55.40 | 0.5565E+05 -40.70 | 0.1179E+09 | 0.5055E+07 | 0.5081E+07 | -0.4977E+06 | |
| 55.60 | 0.5566E+05 -40.26 | 0.1179E+09 | 0.5058E+07 | 0.5081E+07 | -0.4953E+06 | |
| 55.80 | 0.5567E+05 -223.2 | 0.1179E+09 | 0.5068E+07 | 0.5086E+07 | -0.4891E+06 | |
| 56.00 | 0.5570E+05 -420.8 | 0.1179E+09 | 0.5093E+07 | 0.5095E+07 | -0.4733E+06 | |
| 56.20 | 0.5576E+05 -623.7 | 0.1180E+09 | 0.5133E+07 | 0.5108E+07 | -0.4470E+06 | |
| 56.40 | 0.5586E+05 -623.9 | 0.1181E+09 | 0.5186E+07 | 0.5124E+07 | -0.4106E+06 | |
| 56.60 | 0.5601E+05 -100 | 0.1182E+09 | 0.5251E+07 | 0.5145E+07 | -0.3653E+06 | |
| 56.80 | 0.5617E+05 -100 | 0.1183E+09 | 0.5328E+07 | 0.5171E+07 | -0.3205E+06 | |

| | | | | | | |
|-------|---------------------|------------|------------|------------|-------------|----|
| 56.80 | 0.5619E+05 -1211 | 0.1185E+09 | 0.5330E+07 | 0.5168E+07 | -0.2117E+06 | 28 |
| 57.00 | 0.5642E+05 -1392 | 0.1189E+09 | 0.5417E+07 | 0.5195E+07 | -0.2533E+06 | |
| 57.20 | 0.5668E+05 -1561 | 0.1193E+09 | 0.5511E+07 | 0.5224E+07 | -0.1900E+06 | |
| 57.40 | 0.5697E+05 -1723 | 0.1198E+09 | 0.5611E+07 | 0.5256E+07 | -0.1244E+06 | |
| 57.60 | 0.5730E+05 -1870 | 0.1205E+09 | 0.5713E+07 | 0.5289E+07 | -0.5826E+05 | |
| 57.80 | 0.5766E+05 -2004 | 0.1212E+09 | 0.5817E+07 | 0.5325E+07 | 6480 | |
| 58.00 | 0.5805E+05 -2123 | 0.1221E+09 | 0.5919E+07 | 0.5362E+07 | 0.679E+05 | |
| 58.20 | 0.5845E+05 -2227 | 0.1230E+09 | 0.6017E+07 | 0.5401E+07 | 0.124E+06 | |
| 58.40 | 0.5885E+05 -2315 | 0.1241E+09 | 0.6111E+07 | 0.5440E+07 | 0.174E+06 | |
| 58.60 | 0.5925E+05 -2386 | 0.1252E+09 | 0.6197E+07 | 0.5480E+07 | 0.216E+06 | |
| 58.80 | 0.5965E+05 -2439 | 0.1263E+09 | 0.6275E+07 | 0.5521E+07 | 0.248E+06 | |
| 59.00 | 0.6005E+05 -2475 | 0.1276E+09 | 0.6342E+07 | 0.5561E+07 | 0.270E+06 | |
| 59.20 | 0.6045E+05 -2492 | 0.1288E+09 | 0.6398E+07 | 0.5602E+07 | 0.281E+06 | |
| 59.40 | 0.6085E+05 -2491 | 0.1300E+09 | 0.6442E+07 | 0.5642E+07 | 0.280E+06 | |
| 59.60 | 0.6125E+05 -2470 | 0.1313E+09 | 0.6474E+07 | 0.5681E+07 | 0.267E+06 | |
| 59.80 | 0.6165E+05 -2430 | 0.1325E+09 | 0.6493E+07 | 0.5720E+07 | 0.242E+06 | |
| 60.00 | 0.6205E+05 -2371 | 0.1336E+09 | 0.6499E+07 | 0.5757E+07 | 0.207E+06 | |
| | 0.6245E+05 | | | | | |

B I B L I O G R A F I A

- 1 AICHER, J.O. AND LEMMERS, E.: Abstracts of IES. Conference Paper on Light Sources. Illuminating Engr. Soc. Sept. 1.957 Pag. 450.
- 2 AICHER, J.O. AND LEMMERS, E.: Illum. Engr. Vol. 52 Pag. 597.1957
- 3 American Standard Specification for Fluorescent Lamp Reference Ballasts C82-3-1962.
- 4 Aplicaciones del Tiristor Bt. 100A. Miniwat. 1972.
- 5 BEKEFI, G.: "Radiation Processes in Plasma". New York. John Wiley and Sons Inc. Pag. 73. 1966.
- 6 BERGMAN, R.S.; HAMMER, E.E.; AND ROBERTS, V.D.: Journal of IES April 1.976. Pag. 131.
- 7 BIONDI, M.A.: Phys Rev. Vol. '90, Pag. 730. 1953.
- 8 BROOKS, W.W.: "Circuits for Fluorescent Lamp Ballasts". Illuminating Eng. Soc. August. 1947. Pag. 397.
- 9 BROWN, S.C.: "Basic Data of Plasma Physics". Cambridge. Mass. M. I.T. Press. 1959.
- 10 BURNHAN, R.D.: Illuminating Engr. Soc. July 1959. Pag. 419.
- 11 CAMPBELL, J.H.: "Elements of High Frequency Fluorescent Lighting" Illuminating Engr. Soc. July 1957. Pag. 337.

- 12 CAMPBELL, J.H.; KERSKAW, D.D.; SCHULTZ, H.E.: "Characteristics - and Applications of High Frequency Fluorescent Lighting" Illum. Engr. February 1. 1953. Pag. 95.
- 13 CATES, J.: Paper nº 1459. Utilization Section. Research Laboratories of the General Electric Company. 1953.
- 14 CAYLESS, M.A.: "Excitation and ionization rates of mercury in discharge plasmas". Britis Journal of Applied Physis Vol. 10. April 1959. Pag. 186.
- 15 CAYLESS, M.A. AND OTHERS: "The Emission from oxide cathodos in low pressure discharges". The General Electric Company Limited. Hirts Reserch Centre. Weusbley Middlesex. 196.
- 16 CAYLESS, M.A.: Proc. V International Conference on Ionization Phenomena in Gases, Munich 1962.
- 17 CAYLESS, M.A. B. Sc., A.R.C.S., A. Inst. P.: "The emission from oxide cathodes in low pressure discharges". The British Thomson-Houston Co. Ltd. Ruyby. 1975.
- 18 CAYLESS, M.A. AND WATT, BRIT, B.N.: J. Appl. Phys. 7, p. 351. 1956.
- 19 C.E.I. 82: "Ballasts for tubular fluorescent lamps. 1973.
- 20 CORDERO, J.A.: "Sistemas de Encendido y Regulación para Lámpans de Descarga Gaseosa. Universidad de Valladolid. 1976.
- 21 COVINGTON, E.J.: "Life Prediction of Fluorescent Lamps". Paper 10-4, IES National Tecnical. Conference 1970. Illum. - Engr. Vol. 65. Pag. 553. 1970.

- 22 CUYLESS, M.A.: Proceeding V International Conference on Ionization Processes in Gases. Munich. 1962.
- 23 CHANIN, L.M. AND BIONDI, M.A.: Bull Ann. Phys. Soc. Vol. 2 Pag. 262. 1957.
- 24 CRISP, V.H.C.: "Preliminary Study of Automatic Daylight Control of Artificial Lighting". Lighting Research and Technology Vol. 9, n° 1, Pag. 31. 1977.
- 25 DEB, S. AND GOSWAMI, S.N.: "Breakdown in high frequency electrodeless discharge at low pressure in the presence of a steady transverse magnetic field". Brit. J. Appl. Phys, 1964. Vol. 15.
- 26 EASLEY, M.A.: J. Appl. Phys Vol. 22 Pag. 590. 1951.
- 27 EASLEY, M.A.: J. Appl. Phys Vol. 22 Pag. 950. 1962.
- 28 EDWARDS, E.F.: "Discharge Lamps: Some aspects of research and development". Lighting Research and Technology. Vol. 4 - n° 3. 1972. Pag. 117.
- 29 ELENBAAS, W.: "Light Sources". Philips Technical. Library 1972.
- 30 ELENBAAS, W.: "Fluorescent Lamps". Philips Technical. Library - 1.972.
- 31 ELMS, R.T.; ENGEL, J.C. AND SALETTA, G.: "Restriking hot metal vapor lamps characteristic and circuit requirements". Journal of IES. October 1.975. Pag. 26.
- 32 FORSYTHE, W.: "Fluorescent and other gaseous discharge lamps". Murray Hill Books. INC. New York. TORONTO.

- 33 FRANCIS, V.J.: "Fundamentals of discharge tube circuits". 1948 Methuen and Co. LTD. London.
- 34 GARCIA ROSA, R.: "Estructura de un simulador de calculadora - analogica" (CAN). Revista de Informática y Automática: nº 37. 1978.
- 35 GUNGLER, W.C.; WAYMOUTH, J.F. AND HOMER, H.H.: Illum. Engr. Vol. 52. Pag. 262. 1957.
- 36 HAUS, G.A. AND THOMAS, R.E.: Journal Appl. Phys. Vol. 38 Pag. 3969. 1967.
- 37 HAYDON: "Discharge and Plasma Physics". 1964. University of England Armidale. N.S.W. Australia.
- 38 HENDERSON, S.T. AND MARSDEN, M.: General Editors: Lamps and Lighting". Second Edition 1.972.
- 39 HENDERSON, S.T. AND MARSDEN, A.M.: "Lamp and Lighting". pat. 1.972.
- 40 HENDERSON, S.T. AND MARSDEN, A.M.: "Lamp and Lighting". Second Edition 1972. Part. II.
- 41 HERRMANN, G. AND WAGENER, H.: "The Oside Cathode". Vol. 2, London. Chapman and Hall Ltd. Pag. 171. 1.951.
- 42 HIROSHI B.O. AND KAZUYOSHI, M. : "Analysis of operating circuits for discharge lamps by the simulation method". Journal of IES Pag. 92. January 1.976.
- 43 HOLMES, A.J.T.: "A. Theoretical model of the mercury and copper vapour arcs". J. Phys D. Appl. Phys. Vol. 7. 1974. Pag. 1412.

- 44 HOLSTEIN, T.: Phys Rev. Vol. 72. Pag. 1212. 1947.
- 45 HOLSTEIN, T.; ALPERT, D. AND Mc. CONBREY, A.D.: Phys Rev. Vol. 85, Pag. 985. 1952.
- 46 HOLSTEIN, T. : Phys Rev. Vol. 33, Pag. 1159. 1951.
- 47 HOOG, F.J. DE: "Doubly Charged ions in decaging plasmas in neon and argon". J. Appl. Phys. Vol. 44. n° 8. August. 1973. Pag. 3496.
- 48 HOWATSON, A.M.: "An Introduction to gas discharges". Pergamon - Press Ltd. London. 1965.
- 49 HUGHES, R.C. COPPOLA, P.P. AND EVANS, H.T.: J. Appl. Phys 23 - Pag. 635. 1952.
- 50 I.E.S. Lighting Handbook. Fifth Edition 1.972.
- 51 I.E.S. Approved Method form "Life Performance Testing of Fluorescent Lamps". Journal of IES. October 1972. Pag. 66.
- 52 INOUE, A. AND OTHERS: J. Light and Vis Env. Vol. 1 n° 1. 1977.
- 53 ISAO KANEDA: "An Investigation of minimized ballast upon every-half-cycle ignited discharge lamp operating system - with analogue computer simulation". J. Light and Vis. Env. Vol. n° 1, Pag. 29. 1977.
- 54 JENKINS, H.G. : General Electric Company Journal Vol. 13, 1945. Pag. 185.
- 55 JEROME, C.W.: Illum. Engr. Vol. 51. Pag. 205. 1956.
- 56 KAUFMAN, J.E. ED IES: Lighting Handbook, Fourth Edition. New York. Illuminating Engineering Society. p. 2.4. 1966.

- 57 KAZUYOSHI MASUMI AND HIROSHI BO: "Application of the lamp model equation to HID lamps with various voltage". J. Light an Vis. Env. Vol. n° 1. Pag. 18. 1977.
- 58 KENTY, C.: J. Appl. Phys. Vol. 21, Pag. 1309. 1950.
- 59 KENTY, C.: J. Appl. Phys. Vol. 21. Pag. 1310. 1950.
- 60 KENTY, C.: "Production of 2537 Radiation ant the Role of Me-taestable Atoms in Argon-Mercury Discharge". J. App. 1. Phys Vol. 21, Pag. 1309. 1950.
- 61 KIMBLIN, C.W. AND LOWKE, J.J.: "Decay and Thermal Reignition - of low-current cylindrical ares. J. Appl. Phys. Vol. 44, n° 10. October. 1973.
- 62 KLINE, L.E. AND DEUES, L.J.: "Investigations of glow discharge formation with colume preionization". Journal of Appl. Phys. Vol. 46, n° 4, April 1.975. Pag. 1567.
- 63 KNUDSEN, C.P.: "Thyristor control of incandescent traffic-signal lamps". AN-4537. RCA. Solid state division Pag. 414.
- 64 KUSKO, A. AND WROBLESWSKI, T.P.: "Computer Design of Magnetic - circuits". Research Monograph n° 55. Cambridge Mass. M.I.T. Press. 1969.
- 65 KUSKI, A. AND WROBLESWSKI: "Magnetic Circuits. Cap. 4 y 5. Solid State Power Circuits". Designer's Handbook R.C.A. 197 Pag. 409.
- 66 KUSKO, A. AND WROBLESWSKI, T.: "Computer-Aided Design of Magne-tic Circuits". 1969.

- 67 LAWRENCE Berkeley Laboratory. University of California/Berkeley
June 1.978.
- 68 LEVIN, R.E.; PEURS, G.R.S.: "Ultraviolet radiation considerations
in interior lighting design". Part. I Journal of IES .
January 1.977. Pag. 80.
- 69 LOOSJES, R. AND VINK H.J.: Appl. Phys. Vol. 20. Pag. 884. 1949.
- 70 LOWKE, J.J. AND ZOLLWEG, R.J.: "Theoretical prediction of a.c.
characteristics of mercury arc. lamps". Journal of IES
July 1.975. Pag. 253.
- 71 LOWKE, J.J.; ZOLLWEG, R.J. AND LIEBERMAUN, R.W.: "Theoretical
description of a.c. arcs in mercury and argon". Journal
of Applied Physics. Vol. 46, n° 4, April 1.975. Pag. 650.
- 72 LOWKE, J.J., VOSHALL, R.E. AND LUDWIG, H.C.: "Decay of electrical
conductance and temperature of arc plasmas". J. Appl. -
Phys. Vol. 44 n° 8, August 1.973.
- 73 LOWRY, E.F. GUNGLER, W.C. AND JEROME, C.W.: "Some Problems Invol-
ved in the Design of Fluorescent Lamps". IES National -
Technical Conference, 1954.
- 74 LOWRY, E.F.: "The Physical Basis for Some Aspects of Fluorescent
Lamp Behavior". IES National Technical Conference 1.952.
- 75 LOWRY, E.F.: Illum. Engr. Vol. 46. Pag. 288. 1951.
- 76 LUKE, T.; PARASCANDOLA, L.J.: Ultraviolet Emission from Light -
sources used as general illuminants. Illum. Engng. Pag.
674. December 1.967.

- 77 MAXTED, R. AND HULL, J.N.: Transactions of the Illuminating Engineering Soc. Vol. 10. 1945. Pag. 199.
- 78 McAFEE, K.B. Jr., EDELSON, D. AND SIPLER, D.: Phys. Rev. 160, 130. 1967.
- 79 McCONNELL, J.C. AND MOISEWITSCH, B.L. : Proc. Phys. Soc. Vol. 1, Pag. 406. 1968.
- 80 McPHERSON, J.W.: "Electronics and modern discharge lighting". Electronic Engineering. Pag. 77. november 1.978.
- 81 MEDICUS, G.: Journal Appl. Phys. Vol. 27, Pag. 1242. 1956.
- 82 MEYERS, G.A. STROSNY, F.M.W.: "Design of Fluorescent Lamps for High Frequency Service". Illuminating Engr. Society. January 1.959. Pag. 65.
- 83 MOERKENS, J.C.: "Dimming Fluorescent lamps". Philips Technical review vol. 27, n° 9/10. Pag. 265. 1966.
- 84 NASSER, E.: "Fundamentals of Gaseous Ionization and Plasma Electronics". Wiley-Interscience, New York 1.971, Chapter 13.
- 85 PEEK, S.C.: "A Differential Equation for the fluorescent Lamp. 1968.
- 86 PENNING, F.M.: "Electrical Discharges in Gases". Pag. 56. 1965.
- 87 PENNING, F.M.: "Electrical Discharges in Gases". 1965. Pag. 36.
- 88 POWER Semiconductor Applications Vol. II, Equipment and Systems IEE. PRESS= New York. 1977.

- 89 PROPUESTA de norma para balastos, para lámparas fluorescentes con cebador. Instituto de Automática Industrial. 1974.
- 90 RAMIREZ VAZQUEZ, J.: "Lámparas electricas". Monografias CEAC - de Electricidad. 1974.
- 91 REGULATIONS for the Electrical Equipment of Buildings. Twelfth Edition. (I.E.E. 1950). Regulation 807.
- 92 RICHARD, N.T. AND BENTLEY T. BARNES: "The Basis of High Efficiency in Fluorescent Lamps". J.O.S.A. Vol. 29 Pag. 131. March 1.939.
- 93 RIECK, J.: Manual Práctico de electrotecnia. Tomo VI. Pag. 58 1.972.
- 94 RILEY, J.R.: "Neutral particle density modulation undepositive column of a low-pressure mercury discharge modulated a low frequencies". J. Phys. D. Appl. Phys. 1970. Vol. 3.
- 95 ROCHE, W.J. AND MILKE, H.W.: Journal of the illuminating engr. Soc. Vol. 4, nº 1. October 1.974. Pag. 29.
- 96 ROSATTI, S.: L'Electrotecnica, Vol. 56, nº 8. Agosto 1969. Pag. 453.
- 97 RUTLEDGE, W.V. AND RILTNER, E.S.: Journal Appl. Phys. Vol. 28 Pag. 167. 1957.
- 98 SENICHIRO, N. AND HIMEI; T.: "Computer-aided desing of discharge lamp operating circuits by the use of a criterion - function". J. Light and Vis. Env. Vol. 2 nº 1. Pag. 16 1.978.

- 99 SPEROS, D.M. AND BUCILLI, P.R.: Electrochem. Soc. Vol. 109.
Pag. 940. 1962.
- 100 STUART, R.V. AND WEHNER, G.K.: J. Appl. Phys. Vol. 33. Pag.
2345. 1962.
- 101 TAYLOR, L.H. AND ARNOTT, E.G.F.: Journal of IES April 1.976.
Pag. 137.
- 102 TERRY, R.; GOWAM, MC.: "Sources-Today and Tomorrow". Lighting
Design and Application. January 1.974. Pag. 23.
- 103 USA STANDARD C82-1969: "Specifications for Fluorescent Lamp
Ballasts",
- 104 USA STANDARD: For dimensional and Electrical characteristics
of Fluorescent Lamps. USA C-78 Fluorescent Lamps (1969
edition).
- 105 VERBEEK, T.G. AND DROP, P.C.: J. Phys D. Appl. Phys V. 7. 197.
Pag. 1677.
- 106 VERDERBER, R. SELKOWITZ, S. AND BERMAN, S.: "Energy Efficiency
and Performance of solid state Ballasts".
- 107 VERWEIJ, W.: Physica. Vol. 25. Pag. 980. 1950.
- 108 VON ENGLE, A.: Ionized Gases, Clarendon Press, Oxford, United
Kingdom of Great Britain 1.955. Chapter, 8.
- 109 VRENKEN, L.E.: "Real Energy Saving Fluorescent Lamps". Journa
of IES Pag. 154. April 1.978.
- 110 WALSH, P.J.: Phys Rev. Vol. 107. Pag. 338. 1957.
- 111 WAYMOUTH, J.F.: Electric Discharge Lamps the M.I.T. Press. 1971

- 112 WAYMOUTH, J.F. AND BITTER, F.: J. Appl. Phys. Vol. 27 Pag. 122
1.956.
- 113 WAYMOUTH, J.F.; BITTER, F. AND LOWRY, E.F.: Illum. Engr. Vol.
52. Pag. 257. 1957.
- 114 WAYMOUTH, J.F.: Journal. Appl. Phys. Vol. 30. Pag. 1404. 1959.
- 115 WAYMOUTH, J.F.: Sylvania Technologist. Vol. 13. Pag. 2. 1.960.
- 116 WAYMOUTH, J.F.: Phys Fluids. Vol. 7, Pag. 1843. 1964.
- 117 WERWEIJ, W.: Philips Research. Reporte Supplements nº 2. 1961.

