

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE BALASTOS

PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LAMPARAS DE DESCARGA"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACION : POTENCIA

PRESENTADA POR :

IGNACIO NAPOLEON MEZA AULESTIA

GUAYAQUIL — ECUADOR

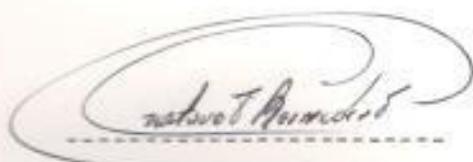
1986

AGRADECIMIENTO

AL ING. ALBERTO HANZE B.
DIRECTOR DE TESIS, POR SU
AYUDA Y COLABORACION PARA
LA REALIZACION DE ESTE TRA-
BAJO

DEDICATORIA

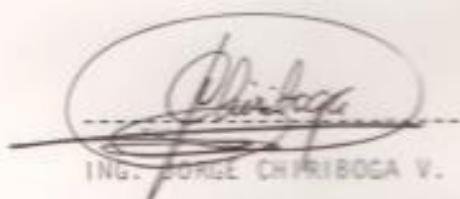
- A MIS PADRES
- A MIS HERMANOS



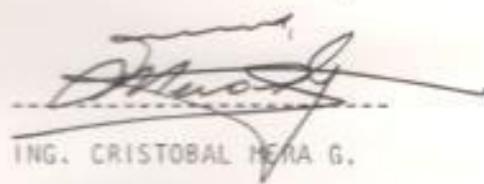
ING. GUSTAVO BERMUDEZ F.
SUB-DECANO



ING. ALBERTO HANZE B.
DIRECTOR DE TESIS



ING. JORGE CHIRIBOGA V.
MIEMBRO TRIBUNAL



ING. CRISTOBAL HERRERA G.
MIEMBRO TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE, Y EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la E.S.P.O.L.)



IGNACIO NAPOLEON MEZA ALESTIA.

RESUMEN

El presente trabajo está dirigido al desarrollo de la industria de los balastos en el Ecuador y se ha creído conveniente presentar en los primeros capítulos una descripción general de las lámparas de descarga y del funcionamiento de los balastos en este tipo de luminarias.

Los diseños de los balastos se realizan en base a las características eléctricas de las lámparas de descarga, y de las curvas $\bar{B} - \bar{H}$ del metal ferromagnético apropiado para el uso en el núcleo de estos elementos. Tomando como referencia las especificaciones para el diseño y construcción de balastos determinadas por las normas A.N.S. I. se procede a calcular las dimensiones del núcleo y la bobina para una determinada potencia de lámpara, para lo cual se parte del peso, el volumen en bruto del núcleo, y de algunas consideraciones para el diseño. El número de espiras para la bobina se determina en base de la ley de Ampere, las curvas $\bar{B} - \bar{H}$, las dimensiones de las ventanas del núcleo y la selección del calibre del conductor para la bobina - se la realiza mediante el cálculo de la máxima corriente, y con una adecuada densidad de la misma.

Para facilitar el cálculo de los parámetros del balastos se utiliza el circuito equivalente del mismo, indicando además el comportamiento de dichos parámetros desde el arranque hasta el estado estable del sistema.

Por último se hace una descripción de los pasos a seguir en el proceso básico de construcción de los balastos, para después determinar la calidad de dichos productos mediante pruebas de laboratorio, incluyendo diagramas y tablas correspondientes de las mismas.

INDICE GENERAL

| | PAG |
|---|-----|
| RESUMEN _____ | VI |
| INDICE GENERAL _____ | VII |
| SIMBOLOGIA _____ | XI |
| INTRODUCCION _____ | 14 |
| CAPITULO I. | |
| LAMPARAS DE DESCARGA ELECTRICA _____ | 15 |
| 1.1. GENERALIDADES SOBRE LAS LAMPARAS DE DESCARGA _____ | 15 |
| 1.2. LUZ DE DESCARGA ELECTRICA EN EL SENO DE UN GAS _____ | 16 |
| 1.3. DURACION MEDIA Y UTIL DE UNA LAMPARA _____ | 17 |
| 1.4. LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESION _____ | 18 |
| 1.4.1. CONSTITUCION DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESION _____ | 19 |
| 1.4.2. FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESION _____ | 21 |
| 1.5. LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION _____ | 25 |
| 1.5.1. CONSTITUCION DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION _____ | 25 |
| 1.5.2. FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION _____ | 26 |
| 1.5.3. LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESION _____ | 28 |
| CAPITULO II. | |
| EL BALASTO _____ | 30 |
| 2.1. EL BALASTO COMO ELEMENTO FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONA- MIENTO DE LAS LAMPARAS DE DESCARGA ELECTRICA _____ | 30 |
| 2.2. FUNCIONES DEL BALASTO _____ | 31 |
| 2.3. TIPO DE BALASTOS _____ | 33 |
| 2.4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE ALUMBRADO | 36 |

| CAPITULO III | PAG. |
|---|------|
| MATERIALES FERROMAGNETICOS Y FERROMAGNETISMO _____ | 39 |
| 3.1. MATERIALES FERROMAGNETICOS, SUS APLICACIONES _____ | 39 |
| 3.2 FERROMAGNETISMO _____ | 40 |
| 3.3. CURVAS ($\vec{B} - \vec{H}$) PARA LOS METALES FERROMAGNETICOS _____ | 43 |
| 3.4. DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LAS CURVAS (B - H) _____ | 44 |
| 3.5. COMPORTAMIENTO DEL FLUJO MAGNETICO EN LOS NUCLEOS DEL HIERRO Y EN LAS INMEDIACIONES DE LOS MISMOS _____ | 48 |
| CAPITULO IV | |
| NORMAS A.N.S.I. _____ | 52 |
| 4.1. ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE BALASTOS PARA LAMPARAS DE DESCARGA _____ | 52 |
| 4.2. NORMAS A.N.S.I. C 82-1-1977 _____ | 52 |
| 4.2.1. DEFINICIONES _____ | 52 |
| 4.2.2. CARACTERISTICAS DE LOS BALASTOS _____ | 55 |
| 4.2.3. FUNCIONAMIENTO DE LOS BALASTOS _____ | 57 |
| 4.2.4. VOLTAJES DE DISEÑO PARA LOS BALASTOS _____ | 59 |
| 4.2.5. REQUERIMIENTOS QUE TIENE QUE CUMPLIR UN DISEÑO _____ | 59 |
| 4.3. NORMAS A.N.S.I. C 82-2-1983 _____ | 60 |
| 4.3.1. CORRIENTE DE ARRANQUE _____ | 60 |
| 4.3.2. CORRIENTE DE PRECALENTAMIENTO _____ | 60 |
| 4.3.3. REGULACION DE LOS BALASTOS _____ | 62 |
| 4.3.4. CORRIENTE EN LA LAMPARA _____ | 62 |
| 4.3.5. FORMA DE ONDA DE LA CORRIENTE _____ | 63 |
| 4.3.6. CIRCUITOS _____ | 64 |
| 4.3.7. CALENTAMIENTO DE LOS BALASTOS _____ | 65 |
| 4.3.8. CORRIENTES DE FUGA _____ | 65 |
| 4.3.9. TENSION DE CHOQUE _____ | 66 |

| | PAG. |
|--|------|
| 4.4. NORMAS A.N.S.I. C-82-3-1983 _____ | 66 |
| 4.4.1. CARACTERISTICAS DE DISEÑO _____ | 66 |
| 4.4.2. CARACTERISTICAS DE OPERACION _____ | 68 |
| CAPITULO V. | |
| DISEÑO Y CONSTRUCCION DE BALASTOS _____ | 69 |
| 5.1. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE BALASTOS PARA LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESION, PARA 125 VATIOS, 175 VATIOS, 250 VATIOS Y 400 VATIOS _____ | 69 |
| 5.1.1. DISEÑO DE UN BALASTO PARA ENERGIZAR UNA LAMPARA DE VAPOR DE MERCURIO DE ALTA PRESION DE 125 VATIOS _____ | 70 |
| 5.1.1.1 CORRIENTES DE ARRANQUE Y DE OPERACION _____ | 70 |
| 5.1.1.2 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL NÚCLEO FERROMAGNE- TICO Y LA BOBINA DEL BALASTO _____ | 71 |
| 5.1.1.3 DISEÑO DE LAS VENTANAS PARA EL NÚCLEO FERROMAGNETICO _____ | 79 |
| 5.1.1.4 CÁLCULO DEL ENTRENTERRO PARA EL CIRCUITO MAGNETICO _____ | 83 |
| 5.1.1.5 FACTOR DE SACUDIMIENTO o APILAMIENTO _____ | 86 |
| 5.1.1.6 DIMENSIONES DEL NÚCLEO _____ | 87 |
| 5.1.1.7 CURVAS $(\bar{B} - \bar{H})$ DEL METAL FERROMAGNETICO UTILIZADO _____ | 90 |
| 5.1.1.8 CÁLCULO DEL NUMERO DE ESPIRAS PARA LA BOBINA _____ | 91 |
| 5.1.1.9 CÁLCULO DE LOS PARAMETROS DEL BALASTO _____ | 96 |
| 5.1.1.10 CIRCUITO EQUIVALENTE SIMPLIFICADO DEL BALASTO _____ | 101 |
| 5.1.1.11 DIAGRAMA FASORIAL PARA LAS CONDICIONES DE ARRANQUE Y DE ESTADO ESTABLE _____ | 105 |
| 5.1.1.12 DIAGRAMA DEL LUGAR GEOMETRICO PARA EL VECTOR TENSION DE LINEA _____ | 107 |
| 5.1.2 DISEÑO DE UN BALASTO PARA ENERGIZAR UNA LAMPARA DE VAPOR DE MERCURIO DE 175 VATIOS _____ | 109 |

| | PAG. |
|--|------|
| 5.1.3. DISEÑO DE UN BALASTO PARA ENERGIZAR UNA LAMPARA DE VAPOR DE MERCURIO DE 250 VATIOS | 142 |
| 5.1.4. DISEÑO DE UN BALASTO PARA ENERGIZAR UNA LAMPARA DE VAPOR DE MERCURIO DE 400 VATIOS | 172 |
| 5.2. PROCESO DE CONSTRUCCION DE LOS BALASTOS _____ | 198 |
| 5.2.1. MATERIA PRIMA _____ | 199 |
| 5.2.2. PROCESOS BASICOS _____ | 205 |
| 5.2.3. CONTROL DE CALIDAD _____ | 209 |
| 5.3. RESULTADOS _____ | 212 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____ | 221 |
| ANEXOS _____ | 224 |
| BIBLIOGRAFIA _____ | 265 |

INTRODUCCION

El crecimiento acelerado de la dependencia del hombre en el campo de la luminotecnia, hace que se generalice el uso de las lámparas de descarga, tanto en alumbrado residencial como en alumbrado público e industrial. Esto obedece a la necesidad de desplazar en lo posible a la tradicional fuente de luz incandescente, puesto que el rendimiento luminoso es un factor que adquiere importancia día a día, y esto conlleva al deseo de optimizar el diseño de los sistemas de alumbrado en el cálculo de los elementos auxiliares requeridos para las lámparas de descarga.

CAPITULO I

LAMPARAS DE DESCARGA ELECTRICA

1.1. GENERALIDADES SOBRE LAS LAMPARAS DE DESCARGA ELECTRICA

La luminiscencia es el fenómeno que se presenta cuando ciertas partículas de los átomos o moléculas de la materia, es decir sus electrones son forzados a producir ondas electromagnéticas.

Si desde el exterior se suministra a los átomos una determinada cantidad de energía, es decir se "excitan" los electrones más externos del átomo son desplazados de su órbita normal a la siguiente o a otra más externa lo cual significa que dichos átomos han absorbido ó emitido la cantidad de energía suministrada, ascendiendo a un rango superior de energía (nivel de energía) tras un brevísimo tiempo de permanencia en este nivel los electrones saltan de nuevo a su posición inicial, cediendo la cantidad de energía absorbida en un principio (emisión) y que la mayoría de las veces se transforma en radiaciones electromagnéticas.

Las lámparas fluorescentes son fuentes de descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión en las que la luz se genera por el fenómeno de la fluorescencia en determinadas sustancias luminiscentes, al ser excitadas por la radiación ultravioleta de onda corta (253,7 m.μ) del vapor de mercurio a baja presión. En las lámparas de vapor de mercurio a alta presión, la producción de luz se basa en el principio de la luminiscencia obtenida por la descarga eléctrica en el seno de mercurio gasificado.

1.2 LUZ DE LA DESCARGA ELÉCTRICA EN EL SEÑO DE UN GAS

En todos los gases, principalmente en los que contienen las lámparas de descarga, además de los átomos de gas neutral, se encuentran siempre algunas cargas eléctricas libres (electrones) bien sea por naturaleza o desprendidas del cátodo. En un tubo de descarga, al alcanzar un electrón una determinada velocidad, posee ya una energía cinética suficiente para excitar un átomo de gas. Si la velocidad del electrón al chocar con el átomo de gas es aún mayor, el impacto puede provocar incluso el desprendimiento de un electrón de la corteza atómica con lo cual se tiene que el átomo queda con un electrón menos en su configuración es decir que se obtiene un ión positivo, a este fenómeno se lo denomina ionización por choque, de esta manera aumenta aún más el número de electrones libres.

Tales estos fenómenos tienen lugar dentro de un volumen comprendido entre los dos electrodos que queda limitado por la pared del recipiente de descarga.

Las condiciones de la descarga eléctrica en el seno de un gas para la producción de luz dependen de la presión del gas o vapor que exista en el interior del tubo de descarga, de ahí se distinguen tres tipos de descargas.

1) Descarga a baja presión

(entre 0.01 m.m. de Hg hasta 1 m.m. de Hg.)

2) Descarga de alta presión

(entre 10 m.m. de Hg. hasta 1.000 m.m. de Hg.)

3) Descarga a muy alta presión

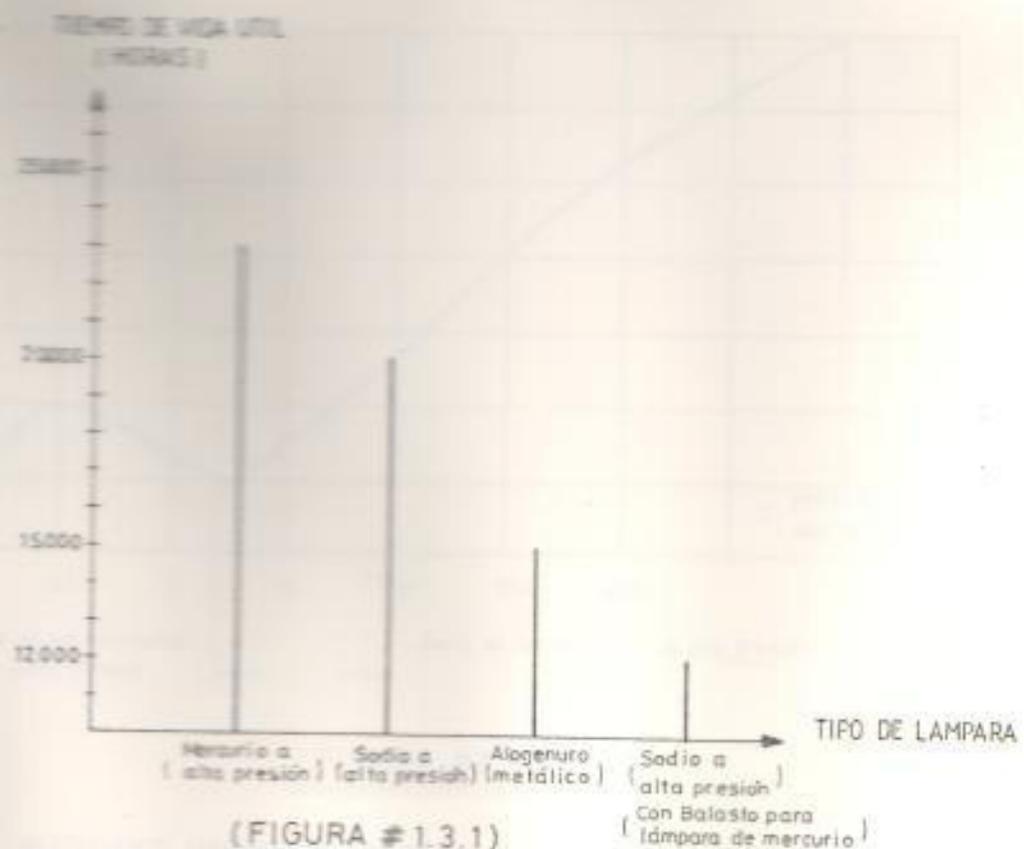
(entre 1.000 m.m. de Hg. hasta 10.000 ó más m.m. de Hg.)

Cuanto más elevada es la presión, las líneas espectrales se ensanchan formando bandas cada vez mayores, con lo cual se mejora el espectro cromático como ocurre en los espectros de las lámparas de sodio a baja presión y a alta presión (Las presiones más altas necesitan mayores tensiones de encendido)

En las lámparas de vapor metálico se requiere que se evapore primeramente el metal, que en frío se encuentra en estado sólido ó líquido, por eso se llenan con un gas noble que es el que primero se inflama al energizar la lámpara, suministrando el calor necesario para la vaporización del metal (MERCURIO O SODIO SEGUN EL CASO)

1.3 DURACION MEDIA Y UTIL DE LA LAMPARA
.....

La duración media es un concepto estadístico que representa la media aritmética de la duración en horas de cada una de las fuentes de un grupo suficientemente representativo del mismo modelo y tipo.



(FIGURA # 1.3.1)

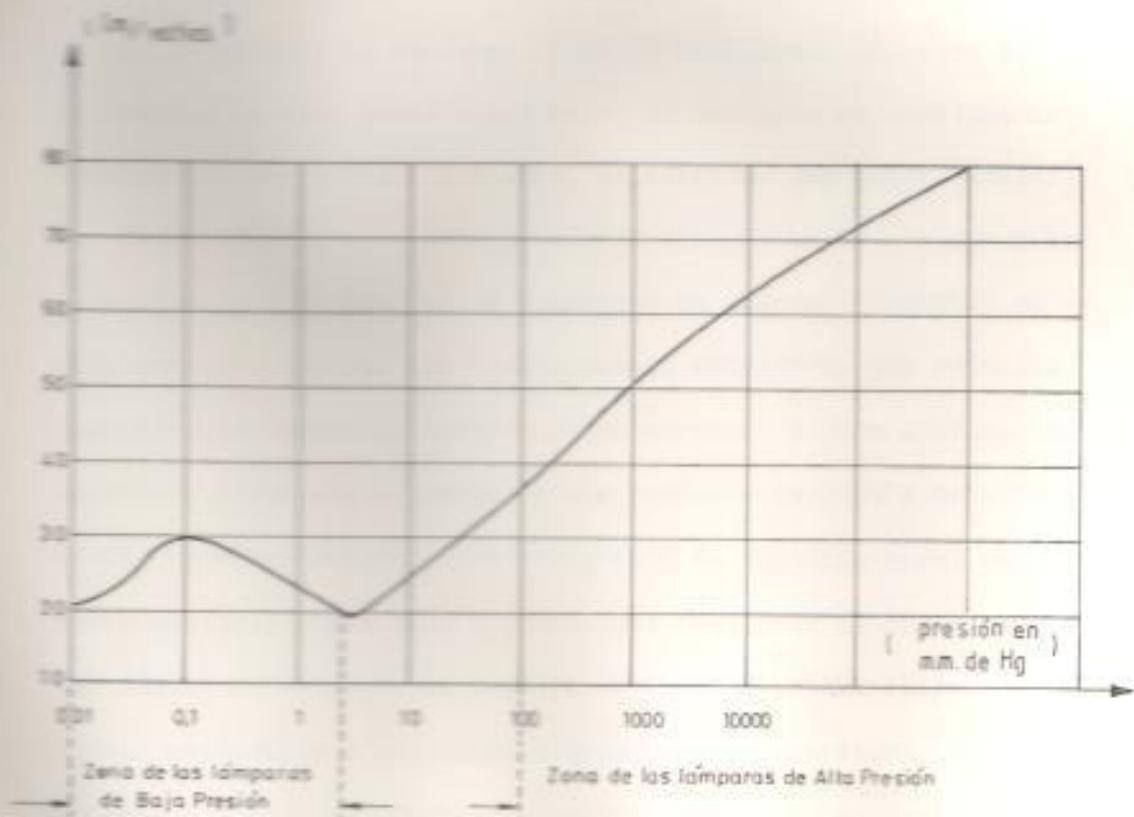
COMPARACION DE VIDA UTIL PARA LAMPARAS DE DESCARGA ELECTRICA DE ALTA PRESION - 400 W

La duración útil es una magnitud referida a la práctica, dada igualmente en horas, a la cual el flujo luminoso (Φ_L) de una determinada instalación de alumbrado ha descendido a un valor mínimo para el que la fuente de luz no es rentable aunque sigue funcionando con un flujo luminoso reducido al 50% APROXIMADAMENTE.

En la figura # 1.3.1 se indica la comparación del tiempo de vida útil de las lámparas de descarga eléctrica para 400 VATTIOS NOMINALES DE POTENCIA.

1.4 LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESION

La luz en las lámparas de vapor de mercurio se origina por la descarga eléctrica en el seno de mercurio gasificado (PRINCIPIO DE LUMINISCENCIA).



(FIGURA #1.4)

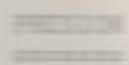
RENDIMIENTO LUMINOSO PARA LAMPARAS DE MERCURIO EN FUNCION DE LA PRESION EN mm. de Hg.

El rendimiento luminoso de la descarga es función de la presión del VAPOR de mercurio, en la figura # 1.4 se representa el rendimiento luminoso en función de la presión en m.m. de mercurio.

Puede observarse en la Figura # 1.4 que a la presión de 0.1 m.m. de Hg en la zona de baja presión se obtiene un rendimiento luminoso máximo de 30 lm/VATIO y que en la zona de alta presión, los rendimientos luminosos aumentan con la presión hasta alcanzar valores superiores a los 60 lm/VATIO.

LA CONSTITUCION DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA

=====

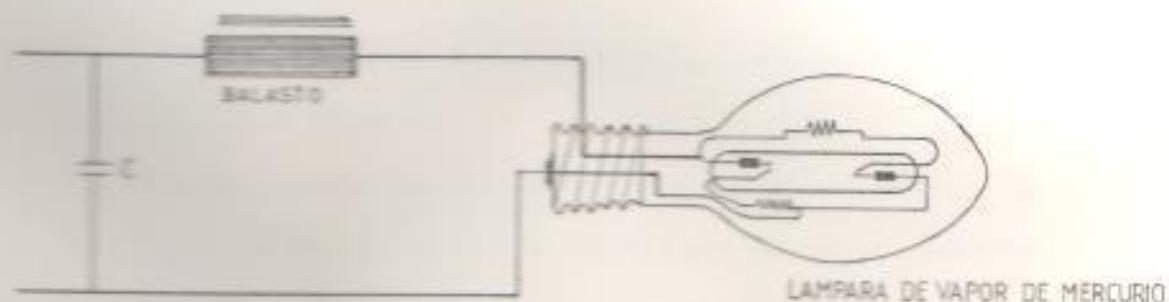


La parte esencial de la lámpara es el tubo de vidrio en el que se produce la descarga (TUBO DE DESCARGA). En este tipo de lámpara la alta presión del vapor de mercurio se consigue aumentando la temperatura del arco, al circular una mayor intensidad de corriente, este tubo de vidrio debe tener un elevado punto de fusión, por lo que se lo construye de cuarzo. FUNDIDOS en cada extremo contiene dos electrodos de WOLFRAMIO, uno principal impregnado de material emisoro de electrones, y otro auxiliar de conexión conectado a través de una resistencia OHMICA de alto VALOR, también contiene unos miligramos de mercurio puro, exactamente medidos, y gas noble 5 ARGON para facilitar la descarga (Ver figura # 1.4.1.) La ampolla exterior de forma elipsoidal y vidrio resistente a los cambios bruscos de temperatura, sirve de soporte al tubo de descarga, proporcionándole un aislamiento térmico, a la vez que evita la oxidación atmosférica de las partes metálicas.

1.4.2. FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A
.....

ALTA PRESION
.....

Al conectar la lámpara a una red de corriente alterna, a través del balasto ó APARATO de alimentación correspondiente, (según el esquema indicado en la figura 1.4.2. a) se produce una descarga entre el electrodo principal y el electrodo auxiliar de encendido que se encuentran muy próximos. Esta descarga ioniza el WU, haciéndolo conductor, a la vez que disminuye la resistencia eléctrica del espacio comprendido entre los dos electrodos principales hasta un valor que permite se establezca una descarga eléctrica entre ellas.



(FIGURA # 1.4.2a)

ESQUEMA DE CONEXION DE LA LAMPARA Y EL BALASTO A LA RED

En ese momento la corriente eléctrica que circula a través de la resistencia de encendido es prácticamente nula. El calor generado por esta descarga vaporiza el mercurio, que posteriormente actúa como conductor principal de la descarga.

A medida que la temperatura va aumentando en el tubo de descarga, aumenta la presión del vapor de mercurio, y al mismo tiempo la potencia y el flujo luminoso hasta alcanzar los valores nominales de régimen al cabo de un tiempo comprendido entre 3.5 minutos hasta 5.5 minutos, dependiendo de la potencia eléctrica de la lámpara (potencia nominal).

En anexos (A-1) se indican las curvas de encendido de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión, donde se indican los valores relativos de servicio en tanto por ciento (%) para la intensidad de corriente en la lámpara (IL); para el flujo luminoso (FL); para la potencia eléctrica absorbida de la lámpara (PL), todos estos valores relativos de servicio en función del tiempo (En minutos).

A estas curvas también se las conoce con el nombre de curvas de arranque de las lámparas.

El arco de descarga en las lámparas de mercurio presenta la característica de un virtual cortocircuito por lo que su conexión a la red debe efectuarse a través de aparatos de alimentación adecuados, estos son los balastos.

La tensión requerida para el arranque de las lámparas normales a temperaturas superiores a los 15°C, es prácticamente inferior a los 200 voltios, por lo que pueden conectarse a la red eléctrica de 220 voltios empleando balastos. (ver figura # 1.4.2.b.).

Una vez apagada la lámpara, no puede encenderse hasta pasado un tiempo de enfriamiento, generalmente igual al de calentamiento con lo que alcanza los valores nominales de régimen, necesario para que la presión en el tubo de descarga descienda al valor correspondiente con el que puede iniciarse nuevamente la descarga.

En ANEXOS A-2, se indican las variaciones de las características eléctricas y luminosas en función de la tensión de la red, en la cual se presentan los valores relativos de servicio en función de la tensión de la red eléctrica, donde se tiene que:

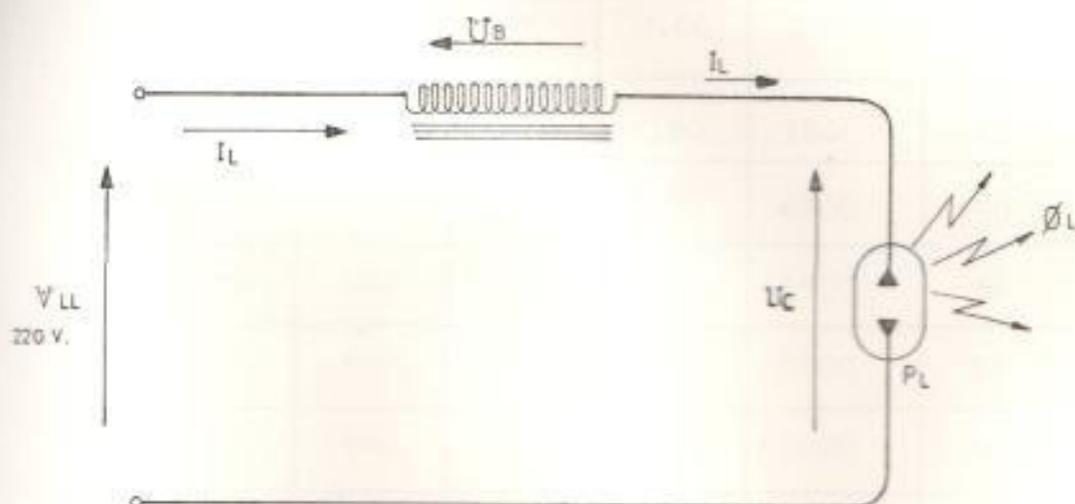
V_c = es la tensión en los terminales de la lámpara

I_L = es la intensidad de corriente en la lámpara.

P_L = es la potencia en la lámpara

ϕ_L = es el flujo luminoso de la lámpara.

Valores que son representados en el siguiente diagrama:



(FIGURA # 1.4.2b)

DIAGRAMA DE TENSIONES Y CORRIENTES
EN EL SISTEMA BALASTO-LAMPARA

En la siguiente tabla se indican las características técnicas más importantes para las lámparas de VAPOR de MERCURIO DE ALTA PRESION.

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO
DE ALTA PRESION

TABLA # 1

| POTENCIA DE LA LAMPARA (Watts) | TENSION DE LA RED (Volts) | TENSION DE ENCENDIDO (Volts) | TENSION DE LA LAMPARA (Volts) | CORRIENTE DE LA LAMPARA (Amperios) | FLUJO LUMINOSO INICIAL (Lumens) | RENDIMIENTO LUMINOSO DE LA LAMPARA (Lum./Wattios) |
|--------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|
| 50 | 270 | 180 | 95 | 0,60 | 2000 | 40 |
| 80 | 270 | 180 | 115 | 0,80 | 3800 | 48 |
| 105 | 270 | 180 | 125 | 1,15 | 6300 | 50 |
| 150 | 270 | 180 | 150 | 1,15 | 13500 | 54 |
| 400 | 270 | 180 | 155 | 1,75 | 23000 | 58 |
| 700 | 420 | 280 | 140 | 5,40 | 40000 | 57 |
| 1000 | 420 | 280 | 145 | 7,50 | 55000 | 55 |
| 1000 | 540 | 340 | 270 | 8,00 | 130000 | 65 |

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS LAMPARAS
DE VAPOR DE MERCURIO DE ALTA PRESION

En el sistema BALASTO - LAMPARA la potencia total suele ser aproximadamente 1,20 (POT.LAMPARA) es decir que los balastos tienen que ser diseñados para una potencia de 20% (POTENCIA-LAMP.), y nunca debe pasar del 20% de dicha potencia.

1.5 LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION

En estas lámparas de descarga eléctrica se produce a través del metal sodio vaporizado a baja presión provocando la radiación ó emisiva visible, el rendimiento de la lámpara es muy elevado alcanzando valores de hasta 178 LM/Vatio.

1.5.1. CONSTITUCIÓN DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION

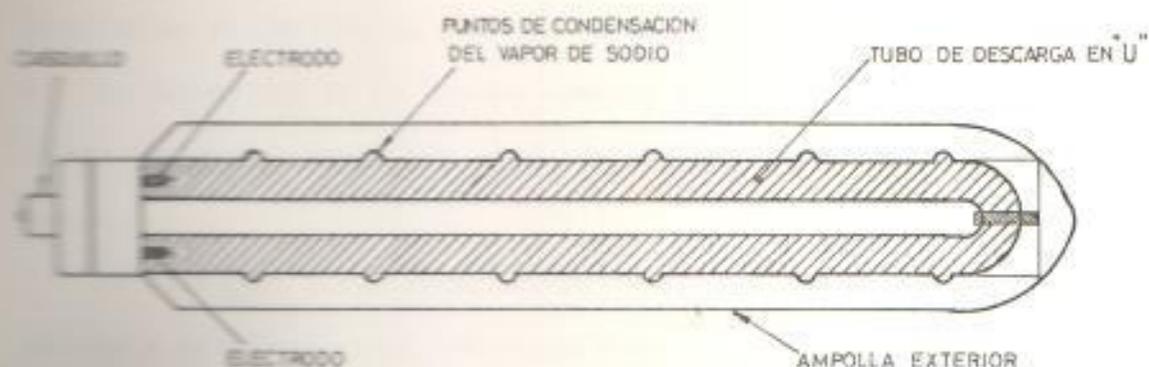
Las lámparas de vapor de sodio a baja presión están constituidas principalmente por un tubo de vidrio en forma de u, en el cual se realiza la descarga, este tubo se encuentra alojado dentro de una ampolla tubular también de vidrio, que le sirve de protección mecánica y térmica, reforzada esta última por el vacío que se hace del espacio interior entre el tubo y la ampolla.

Como el sodio ataca al vidrio ordinario, la pared interior del tubo de descarga se protege con una fina capa de vidrio al BORAX.

En las actuales lámparas de vapor de sodio a baja presión se ha incluido en la pared interna de la ampolla exterior una delgada capa de óxido de estaño o de óxido de indio, la cual refleja más del 90% de las radiaciones infrarrojas emitidas por el tubo de descarga.

En los extremos del tubo de descarga se encuentran dos electrodos formados por un filamento de wolframio en espiral doble ó triple en cuyos intersticios se deposita un material emisor de electrones (generalmente óxido de calcio ó tierras raras).

El interior del tubo contiene además un gas noble el cual generalmente es NEÓN ya que favorece al encendido de la lámpara, además existe una cantidad de sodio en forma de gotas que se depositan de forma regular una vez condensado después de la descarga en unas pequeñas cavidades existentes en la periferia del tubo (ver figura # 1.5.1)



(FIGURA # 1.5.1)

CONSTITUCION DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION

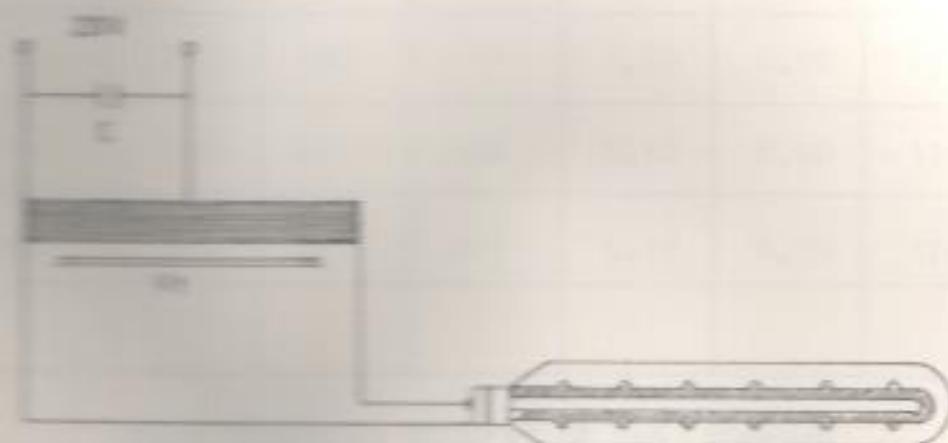
1.5.3. FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION

La tensión de encendido de la lámpara es de 480 Voltios y de 560 Voltios, según las tipos, y como la tensión de la red suele ser de 220 voltios, se necesita de un aparato de alimentación con autotransformador que eleve la tensión de la red al valor necesario para el encendido. Al conectar la lámpara se produce una descarga a través del gas Neón que rellena el tubo, emitiendo una luz rojiza característica de este gas, el calor generado por el paso de corriente en el tubo de descarga vaporiza el sodio progresivamente hasta convertirlo en el soporte principal de la descarga.

En el periodo de arranque, el color de la luz emitida por la descarga va variando paulatinamente del color rojo al amarillo. El flujo luminoso en su principio es muy escaso y aumenta con lentitud. Solamente cuando la descarga se hace a través del vapor de sodio comienza

un rápido incremento del mismo, transcurrido un tiempo de aproximadamente 8 minutos, la lámpara alcanza el 80% de sus valores nominales finalizando el periodo de arranque en unos 8,1 minutos aproximadamente. La intensidad de la lámpara aumenta durante este periodo de tiempo alrededor de un 15%, variando muy poco la potencia eléctrica consumida.

En la figura # 1.5.2. se indica el diagrama de conexión de la lámpara y su balasto tipo autotransformador, y en los Anexos A-3 se indican las curvas de arranque de las lámparas de vapor de SODIO a baja presión.



(FIGURA # 1.5.2)

DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA LAMPARA DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION

El comportamiento de los valores de tensión en los terminales de la lámpara (V_L), intensidad del flujo luminoso (ϕ_L), intensidad de corriente (I_L), y la potencia CONSUMIDA por dicha lámpara (P_L) en función de los cambios de tensión de la red son indicados en el Diagrama de Anexos A-4.

La tabla # 2 indica las características técnicas de las lámparas de VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION.

TABLA # 2

| POTENCIA DE LA LAMPARA (Watt) | TENSION DE LA RED (Volts) | TENSION DE ENCENDIDO (Volts) | TENSION DE LA LAMPARA (Volts) | CORRIENTE DE LA LAMPARA (Amperios) | CORRIENTE DE ARRANQUE (Amperios) | RENDIMIENTO LUMINOSO DE LAMPARA (Lum/Watt) |
|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--|
| 75 | 220 | 480 | 70 | 1.40 | 0.60 | 133 |
| 110 | 220 | 480 | 105 | 1.40 | 0.60 | 140 |
| 150 | 220 | 480 | 115 | 2.10 | 0.90 | 139 |
| 175 | 220 | 660 | 160 | 3.10 | 0.90 | 159 |
| 250 | 220 | 660 | 245 | 3.10 | 0.90 | 178 |
| | | | | | | |

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION

2.5.3. LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESION

Para mejorar el tono de luz, y con ello la reproducción cromática, se desarrollaron las lámparas de vapor de sodio a alta presión que, conservando un alto rendimiento luminoso, su presión de vapor más elevada deja destacar el espectro de otros vapores obteniendo de

esta forma un espectro con cierta continuidad de cuya composición resulta una luz de color blanco dorado que permite distinguir todos los colores de la radiación visible. En el interior de una ampolla de vidrio duro coincidente con su eje longitudinal, se encuentra alojado el tubo de descarga del sodio cuyo material se compone de CERAMICA de OXIDO de ALUMINIO muy resistente al calor para temperaturas de aproximadamente 1000 °C, y a las reacciones químicas con el vapor de sodio, poseyendo a la vez una transmisión de la luz en la zona visible de más del 90%.

En el interior de este tubo se encuentran los componentes SODIO, MERCURIO, y un gas noble (XENON ó ARGON), de los que el sodio es el principal productor de luz.

El mercurio evaporado reduce la conducción del calor de una de descarga y aumenta la tensión del arco, consiguiéndose con ello mayores potencias en tubos de descarga de menor tamaño.

El gas noble se agrega con el fin de obtener un encendido seguro de la lámpara con bajas temperaturas ambiente tanto en interiores como en exteriores.

Al igual que en las lámparas de halogenuros metálicos, y debido a la alta presión a la que se encuentra el gas para el encendido de las lámparas de VAPOR de SODIO a alta PRESION es preciso aplicar altas tensiones de choque del orden de 2,8 KV. a 3 KV, proporcionadas por un aparato de encendido en conexión con el correspondiente BALASTO y con la lámpara.

CAPITULO II

EL BALASTO

2.1. EL BALASTO COMO ELEMENTO FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS DE DESCARGA ELECTRICA.

Cuando la tensión a través del tubo de descarga es lo bastante grande como para iniciar la descarga, la corriente que pasa por el tubo producirá más iones, y estos a su vez originan un aumento en la corriente que alcanzaría pronto un valor peligrosamente alto, para evitar esto hay que utilizar una impedancia en el circuito aunque podría servir una resistencia, se prefiere una bobina o reactancia en los circuitos de corriente alterna debido a que su consumo de energía es mucho menor que una resistencia.

Entre los requerimientos que ha de cumplir una reactancia tenemos los siguientes:

1. Su bobina y su núcleo magnético tienen que ser diseñados de acuerdo a la corriente tomada por la lámpara en el arranque y la máxima potencia que tomará de la red será menor o igual al 20% de la potencia nominal de la lámpara.
2. También hay que considerar el voltaje de la red y voltaje de encendido de la lámpara permitiendo una tolerancia del $\pm 5\%$ en la variación de la tensión en la red para el diseño del balasto.
3. Las dimensiones del reactor tienen que estar de acuerdo con el espacio que ocupará en el sistema de la luminaria de manera que no estorbe.
4. Su funcionamiento tiene que ser lo más silencioso posible - ello implica que sus chapas tienen que estar bien apretadas

5. Conviene diseñar la reactancia de modo tal que la densidad de campo magnético B en el circuito magnético esté en la parte superior del codo de la curva de magnetización cuando la corriente de arranque fluya a la tensión máxima de la red.
6. El circuito magnético del núcleo tiene que ser lo más funcional posible para que así se pueda simplificar el montaje del diseño. Además tiene que ser lo más uniforme posible, y simétrico en su presentación.
7. Se tiene que estimar un espacio mínimo de 2,8 m.m. en las ventanas del núcleo entre la última capa del embobinado, y la pared de la ventana del núcleo con el fin de facilitar la disipación térmica.

2.2. FUNCIONES DEL BALASTO

El balasto realiza algunas funciones, las cuales son importantes para un lámpara de alta intensidad de descarga, entre estas funciones tenemos las siguientes:

2.2.1. LIMITACION DE LA CORRIENTE

La función más básica realizada por un balasto es la de limitar el flujo de corriente a través de la lámpara de descarga.

Cuando la lámpara se enciende, y empieza la operación, esta es en virtual corto circuito. Un balasto o reactor en serie con la lámpara evita para limitar la corriente fluyendo hacia la lámpara para impedir que esta se autodestruya a medida que va tomando potencia.

2.2.2. TRANSFORMACION DE VOLTAJE

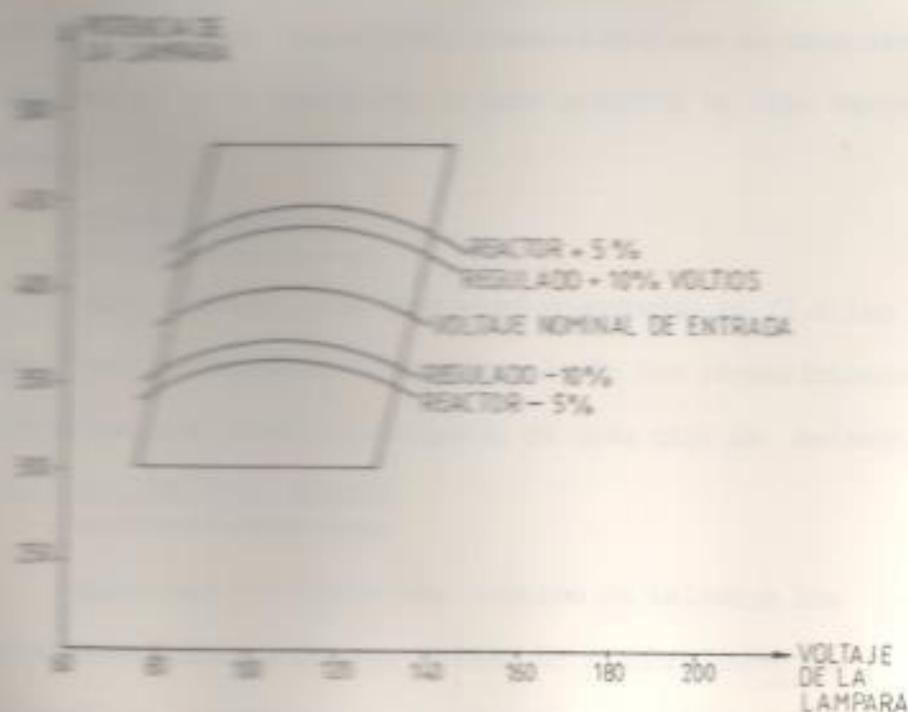
Las lámparas de descarga eléctrica requieren una variedad de voltajes para su encendido o arranque, el voltaje más común requerido para estas lámparas es de 200 voltios, y puesto que muy frecuente

este nivel de voltaje no esta disponible se usan los balastos para transformar y cambiar el voltaje desde el valor de tensión en la red disponible, hasta el requerido por la lámpara para su encendido

2.2.3. REGULACION

Como se mencionó en la parte de operación de las lámparas de descarga, éstas alcanzan su punto de equilibrio o nominal en un período de tiempo de aproximadamente 4 minutos (para las lámparas de mercurio).

Las variaciones que se produzcan en el valor del voltaje de la fuente, afectan significativamente a la temperatura del tubo de arco, y como consecuencia producen variaciones significativas en la potencia y de la luz de salida de las lámparas, y los balastos actúan para reducir esta variación absorbiendo parte del cambio de potencia.



(FIGURA # 2.2.3)

CURVAS TIPO TRAPEZOIDAL PARA UNA LAMPARA DE 400W.

En la figura # 2.2.3. se ilustra una típica curva de operación para una lámpara de vapor de sodio a alta presión, indicando cambios de $\pm 5\%$ del voltaje de entrada para el sistema reactor (balasto-lámpara) así también se indican los cambios de dicha tensión en un $\pm 10\%$, - se puede ver estas variaciones de voltaje para valores sobre el nominal y bajo el nominal.

Un balasto bien diseñado puede regular y controlar la potencia de la lámpara, con respecto al balasto tipo reactor la exacta regulación varía de fabricante a fabricante.

2.2.4. CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

La combinación básica de balasto - lámpara es un sistema - de bajo factor de potencia lo cual es normal debido a la reactancia inductiva del balasto, esto produce un mayor consumo de corriente reactiva (potencia reactiva inductiva). Para compensar esto algunos balastos son diseñados y construidos con un capacitor incorporado de un valor apropiado, y para producir un alto factor de potencia.

2.2. TIPOS DE BALASTOS

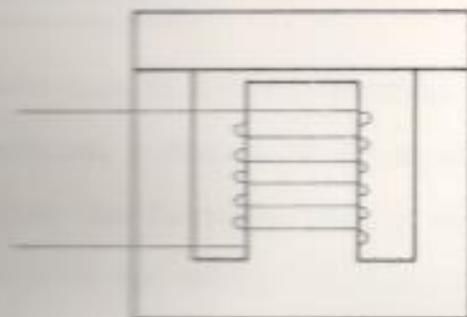
Para conseguir las funciones enumeradas en (2.2.) se utilizan dos tipos de balastos diferentes, según los requerimientos, la siguiente es una ligera descripción de cada tipo de balasto.

2.2.1. BALASTO TIPO REACTOR

Entre los tipos más simples de balastos los cuales consisten esencialmente de una bobina de alambre sobre un núcleo ferromagnético. Fundamentalmente actúan como limitadores de corriente y poseen alguna regulación de potencia de la lámpara.

Los reactores son aparatos de factor de potencia bajos y requieren la adición de un capacitor para una operación de alto factor de potencia. Las unidades se diseñan para tolerar un $\pm 5\%$ de variación

en el voltaje de la red, y regular la potencia de la lámpara dentro de un rango de $\pm 12\%$ de su valor normal; en la figura 2.3.1. se ilustra un esquema del BALASTO TIPO REACTOR.

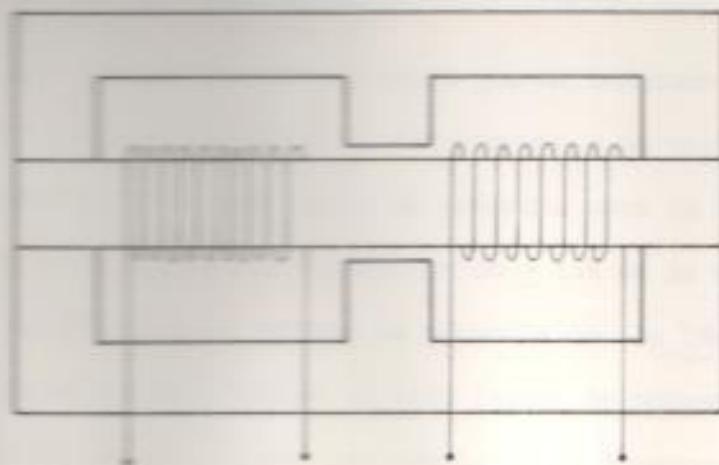


(FIGURA # 2.3.1)

ESQUEMA DE UN BALASTO TIPO REACTOR

2.3.2 BALASTO TIPO AUTOTRANSFORMADOR

Los balastos tipo autotransformador exhiben las mismas características de operación que los reactores. Estos tipos de balastos consisten de dos bobinas sobre un núcleo de hierro magnético, transforman el voltaje de la línea a el valor requerido por la lámpara, y limitan la corriente de arranque.



(FIGURA # 2.3.2)

ESQUEMA DE UN BALASTO TIPO AUTOTRANSFORMADOR

El factor de potencia es bajo, por lo que se requiere de un capacitor para mejorarlo, en la figura # 2.3.2. se indica el esquema de un balasto tipo autotransformador.

2.3.3. BALASTO TIPO AUTOTRANSFORMADOR DE POTENCIA CONSTANTE C.W.A. -
INTERRUPTOR

Este tipo de balasto consiste de dos bobinas sobre un núcleo ferromagnético, y dispone de un capacitor incorporado estos balastos realizan las funciones básicas de limitar la corriente y la transformación del voltaje al requerido por la lámpara, además tienen un alto factor de potencia, y sus corrientes de arranque son menores a la corriente de operación.

Los balastos de potencia constante son diseñados para operar con tolerancias de $\pm 13\%$ de variación en el voltaje de la red eléctrica, entre este rango ellos mantienen la potencia de la lámpara dentro del $\pm 3\%$ del valor nominal de la misma, se recomienda el uso de este tipo de balasto para sistemas de alumbrado de áreas de parques y de recreación.

2.3.4. BALASTO TIPO AUTOTRANSFORMADOR DE POTENCIA CONSTANTE C.W. -
INTERRUPTOR INTERRUPTOR

Este tipo de balasto al igual que el indicado en (2.3.3.) - además de limitar la corriente de arranque y de transformar el voltaje provee la mejor regulación de potencia para la lámpara. Son diseñados para operar con tolerancia de $\pm 13\%$ en la variación del voltaje de línea, y mantienen la potencia de la lámpara dentro del $\pm 3\%$ entre balastos tienen un alto factor de potencia, y corriente de operación estas unidades son similares en construcción a los balastos indicados en (2.3.3.)

2.2.5. BALASTOS DE VOLTAJE CONSTANTE

El estricto control de potencia de las lámparas de sodio de alta presión es difícil de alcanzar, por esto se hace necesario el uso de balastos especiales, como lo son los balastos de voltaje constante.

Entre balastos consisten de tres bobinas aisladas sobre un núcleo ferrimagnético; frecuentemente estos balastos mantienen la potencia de la lámpara dentro de una variación del voltaje del $\pm 10\%$ en la tensión de la red, tienen un alto factor de potencia, y poseen corrientes de arranque más bajas que la de operación.

2.3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE ALUMBRADO

El seleccionar el tipo de balasto para el diseño del sistema de alumbrado se puede facilitar con la información citada en 2.2.3 se selecciona el balasto para la aplicación en particular, y con ese hecho entre los siguientes puntos pueden ser útiles en el desarrollo de los requerimientos de la fuente del sistema de alumbrado.

Los criterios específicos enumerados a continuación pueden variar de un fabricante a otro.

2.3.1. VOLTAJE DE DISEÑO

Los voltajes nominales de diseño para los balastos dependen de la tensión de la red en los siguientes:

120 voltios

220 voltios

240 voltios

277 voltios

480 voltios

2.4.2. INTENSIDAD DE OPERACION

Como regla general la pérdida de potencia en un balasto tipo autotransformador representa el 20% de la potencia nominal de la lámpara por tanto para propósitos de operación el consumo de la potencia de entrada para un sistema (balasto-lámpara) debería ser considerado como el 120% de la potencia nominal de la lámpara.

2.4.3. CORRIENTE DE OPERACION

Los requerimientos de la corriente de operación para el sistema balasto-lámpara, se calculan con la siguiente ecuación:

$$I_{operación} = 1,20 \frac{\text{(Potencia nominal de la lámpara)}}{\text{(Voltsje nominal de la red)} (0,70)}$$

donde el factor (1,2) corresponde a la potencia total consumida por el sistema, y (0,70) es el factor de la potencia de diseño para el sistema (balasto-lámpara.)

2.4.4. TIPO DE REACTOR

Entre las balastaciones que son diseñadas para satisfacer las normas A.S.T.M. (ver normas A.S.T.M.)

0-4011

0-4012

0-4013

0-4014

2.4.5. CORRIENTE DE ARRANQUE

Como regla general la corriente de arranque para los reactores es de dos veces la corriente de operación aproximadamente.

Para los balastos tipo autotransformador, la corriente de arranque se reduce en un factor de $\frac{1}{a}$, donde (a) es la relación de transformación del autotransformador.

2.3.3. OTROS FACTORES DE DISEÑO

Las siguientes consideraciones pueden ser útiles para el diseño de un sistema de alumbrado.

23 La potencia de la lámpara varía de acuerdo con las variaciones de voltaje anticipadas. Ver curvas en Anexo (2-2) y (2-4).

24 La potencia de la lámpara puede también variar sobre la duración o tiempo de vida útil de la lámpara, y dentro de las tolerancias de fabricación.

Las lámparas son fabricadas a voltaje nominal con variaciones de voltaje admisibles de $\pm 10\%$ sobre el valor nominal de la lámpara, estas variaciones producen una variación de potencia de aproximadamente el 10%.

En las lámparas de vapor de sodio de alta presión puede esperarse que varíen en aproximadamente el 20% de la potencia nominal - cuando las tolerancias del balasto y variaciones del voltaje de entrada son considerables.

CAPITULO III

MATERIALES FERROMAGNETICOS Y FERROMAGNETISMO

3.1. MATERIALES FERROMAGNETICOS, SUS APLICACIONES

De todos los elementos químicos, solo el hierro, el níquel y el cobalto tienen permeabilidades relativas que difieren esencialmente de la unidad.

Entre tres elementos y unas cuantas aleaciones especialmente preparadas de otros y estos metales pueden exhibir valores de permeabilidades relativas (μ_r) superiores a los 50.000 M.K.S. en determinadas condiciones de operación.

Los materiales ferromagnéticos que más se usan para los núcleos ferromagnéticos laminados son por lo general de acero al silicio, y especialmente las mejores calidades, con un contenido de silicio de 1,75% al 4,75% de concentración dependiendo de su aplicación.

El acero al silicio de grano orientado viene comercialmente en el estado de laminado y electrolítico.

El permalloy es una aleación con el 80% níquel y hierro. El permalloy es similar al permalloy, pero con una aleación de un 5% de níquel.

Entre las aplicaciones y uso comercial tenemos para dinamos, motores, transformadores, y reactores todos ellos con sus particularidades y características magnéticas, dadas por el fabricante de los mismos ver curvas $B - H$ para los metales ferromagnéticos en anexos (3-4), (3-5), (3-6) (3-7-2).

El núcleo acero eléctrico para chapas de transformador, y

el estado eléctrico allegheny recocido apropiado para dinamos.

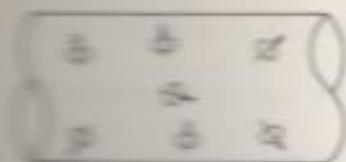
El acero al silicio de grano orientado con una concentración del 2.5% es adecuado para uso en reactores (balastos) puesto que es un material magnéticamente "BLANDO"; comercialmente se presenta en hojas enrolladas formando un gran anillo.

3.1. FERROMAGNETISMO

En el estado no tratado, los materiales ferromagnéticos se componen constituidos por miles de millones de pequeñas espiras de corriente por centímetro cúbico orientadas al azar como se indica en la figura # 3.2.1., éstas espiras de corriente que se deben a corrientes giratorias que no se manifiestan fuera del material, porque las fuerzas magnetomotrices (FMM) producidas se anulan entre sí en lo que respecta a la región que rodea el material, esto es si tomamos cualquier camino a través del material encontraríamos tantas espiras magnéticas de (S) a (S) como de (S) a (N), que de acuerdo con la ley circuital del magnetismo el vector campo magnético \vec{H} o el vector intensidad de campo magnético \vec{H} resultante es nulo.

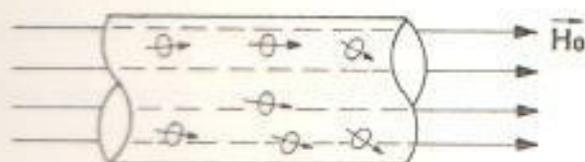
En la mayor parte de los materiales estos dominios magnéticos están equilibrados, sin embargo en el hierro, en el níquel, y en el cobalto estas pequeñas partículas magnéticas no lo están, con el resultado de que las moléculas de estos materiales pueden alinearse en cierto grado con las líneas de fuerzas magnéticas que actúan sobre dichos dominios magnéticos cuando se encuentran en presencia de un campo magnético.

Las pequeñas dominios magnéticos en los materiales ferromagnéticos experimentan fuerzas magnéticas que tienden a alinearlos, de tal modo que las caras de espaldas (sección transversal de sus ejes magnéticos) tienden a ser normales al eje del campo principal, esto es a las líneas magnéticas del campo externo (ver figura # 3.2.2.)



(FIGURA # 3.2.1)

DOMINIOS MAGNÉTICOS AL AZAR



(FIGURA # 3.2.2)

DOMINIOS MAGNÉTICOS ORIENTADOS
CON EL CAMPO EXTERNO H_0

Los estos dominios magnéticos son a su vez fuentes de flujo magnético, los materiales ferromagnéticos introducen una F.M.M. - adicional en los caminos de \vec{H} que los atraviesan, y por consi - guiente aumenta la densidad del flujo magnético para alcanzar un valor superior al que existiría en ese mismo región si el material ferromagnético no hubiera estado presente.

El uso de un núcleo ferromagnético puede reportar los siguientes efectos beneficiosos:

1. Aumento de Inductancia

Con un circuito magnético completo del material ferromagnético este aumento puede llegar a hacer que la inductancia sea decenas veces de veces mayor que con núcleo de aire.

2. Se regula la relación de los VOLT AMPERIOS RESISTIVOS a

VOLT AMPERIOS REACTIVOS, mediante un entrehierro variable de acuerdo a nuestra CONVENIENCIA.

3. ESTABILIDAD MAGNÉTICA

El campo magnético de la bobina está constreñido ó forzado a

seguir el curso del núcleo de alta permeabilidad.

Las limitaciones de los núcleos ferromagnéticos en las bobinas son debidas a ciertas propiedades indeseables de los materiales ferromagnéticos, y entre los más importantes de ellas mencionamos a las siguientes:

1. SATURACION MAGNETICA

La saturación magnética se produce cuando las líneas de fuerza magnética son de 7.000 a 15.000 webers. Estos valores dependen de la clase de material del núcleo ferromagnético, y son valideros para una densidad magnética de 10 OERSTEDS.

2. VARIACION DE LA PERMEABILIDAD

La permeabilidad varía con la intensidad de la corriente con la que se excita la bobina, el voltaje alterno que se aplica en los terminales de la bobina y con otros factores.

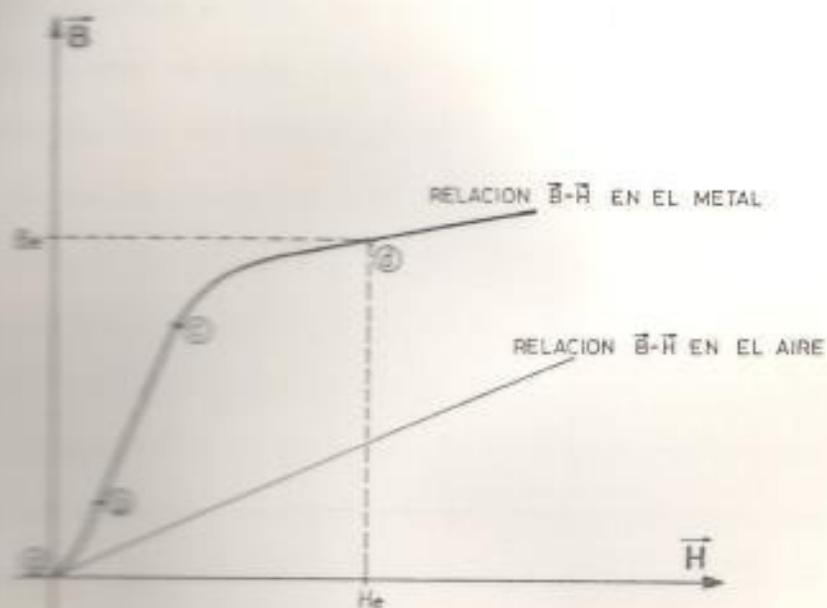
3. PERDIDAS EN EL NÚCLEO MAGNETICO

La cual es una pérdida neta de potencia que se añade a la pérdida en el cobre de la bobina, generalmente el núcleo de frecuencia en que puede ser utilizado cada tipo de material ferromagnético.

La pérdida en el núcleo esta integrada por histéresis y de las corrientes de Foucault. Las pérdidas por histéresis es un efecto magnético debido a la magnetización y desmagnetización del núcleo y es proporcional a la frecuencia, puede ser reducida empleando un material que se magnetice y se desmagnetice fácilmente, es decir que es un material "magnéticamente blando". Las pérdidas por corrientes parásitas es un efecto eléctrico debido a las corrientes inducidas dentro del material del núcleo, y es proporcional al cuadrado de la frecuencia, y puede ser reducida empleando un material de alta resistividad eléctrica, y consistiendo en laminas de chapas delgadas conformando el núcleo.

3.3. CURVAS $\vec{B} - \vec{H}$ PARA LOS METALES FERROMAGNETICOS

Dado que el incremento de la densidad del flujo magnético que se produce por la orientación de los dominios magnéticos en los materiales ferromagnéticos no puede determinarse teóricamente, hay que recurrir a datos experimentales que se presentan generalmente en la forma de una curva de densidad de flujo resultante \vec{B} en función de \vec{H} , que se aplica para producir dicha densidad. Estas curvas se conocen con el nombre de curvas $\vec{B} - \vec{H}$ del metal ferromagnético (cuya forma general se presenta en la figura # 3.3.1)



(FIGURA # 3.3.1)

CURVA ($\vec{B}-\vec{H}$) PARA METALES FERROMAGNETICOS

El punto inferior (①) de la curva ($\vec{B}-\vec{H}$), indica que la orientación de los dominios magnéticos no es tan pronunciada en el caso de valores muy pequeños de \vec{H} , como cuando estos son algo mayores, pues un aumento en dicho valor (\vec{H}) va acompañado por otro rápido, y casi lineal en la densidad de flujo resultante \vec{B} .

La porción media de la curva $\vec{B} - \vec{H}$, en la que \vec{B} aumentó rápidamente para cambios pequeños de \vec{H} , es la que se suele emplear en la práctica, y se la designa con el nombre de parte recta de la curva $\vec{B} - \vec{H}$, aunque por regla general no es tan recta.

Los valores elevados de \vec{H} , y los correspondientemente altos de la corriente de excitación determinan que por lo general no sea rentable emplear este material una vez que el codo superior (c-d) de la curva se ha rebasado.

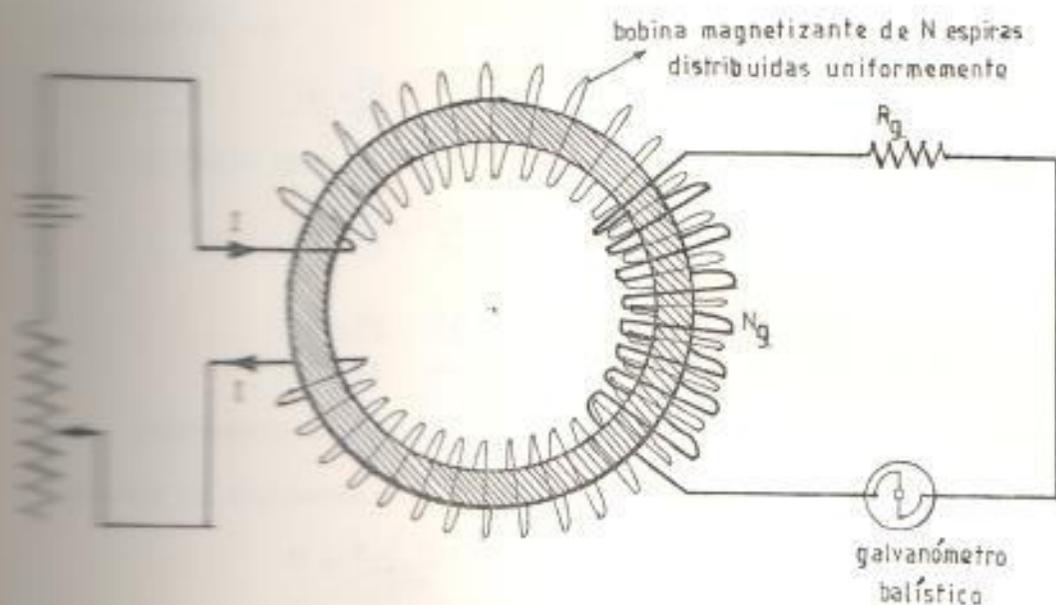
El codo superior (c-d) de la curva nos establece que en las proximidades del extremo inferior de dicho codo, se registra un efecto de saturación. Esto equivale a decir que el material ferromagnético ya no es capaz de proporcionar un nuevo aumento de valor en \vec{B} cuando se incrementa \vec{H} , es decir que los dominios magnéticos que se van a alinear rápidamente bajo la influencia de la fuerza de imantación \vec{H} , ya lo han hecho para el valor de éste que nos proporciona un \vec{B} (máximo); Se comprenderá fácilmente que con los miles de millones de pequeñas partículas magnéticas (dominios magnéticos) que intervienen en este fenómeno el punto de saturación no se defina claramente, pero para todos los fines prácticos el material ferromagnético ha aportado todo el incremento de \vec{B} en el extremo superior del codo Superior de la curva $\vec{B} - \vec{H}$ del que se habla. El punto en el que la saturación se ha completado esencialmente se indica en la figura 3.3.1 y corresponde a la ordenada B_e en el punto (d)

LA DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LAS CURVAS $\vec{B} - \vec{H}$ (METODO DE EPSTEIN)

Existen varios métodos experimentales para obtener la relación de \vec{B} con función de \vec{H} de los materiales ferromagnéticos, uno de estos métodos es el determinado por EPSTEIN, el cual es uno de los más precisos, aunque no se adapta muy bien a la obtención rápida de las curvas $\vec{B} - \vec{H}$

y como es inherentemente muy sencillo los detalles se consideran brevemente.

Las bobinas no están conectadas eléctricamente de ningún modo (ver figura # 3.4.1. y anexo B-1), puesto que un galvanómetro balístico de lecturas directamente proporcionales a la cantidad de carga ($Q_g = I_g \Delta t$) que lo atraviesa este tipo de aparato puede emplearse para medir el cambio de flujo magnético de la siguiente manera:



(FIGURA # 3.4.1)

METODO DE EPSTEIN PARA DETERMINAR
LA CURVA $\vec{B}-\vec{H}$

Cuando la corriente primaria (I) se ha establecido o se reduce a cero en un corto período de tiempo (Δt), la desviación en el galvanómetro (Q) viene dada por la siguiente ecuación:

$$E = K_1 I_g = K_1 I_g \Delta t \quad (\text{Ecuación \# 3.4.1.})$$

En la que K_1 depende únicamente de la construcción del galvanómetro.
El voltaje que se genera en la bobina de N_g espiras debido a la va-
riación del flujo que acompaña a cualquier cambio en la corriente de

$$\text{excitación } I \text{ es } E_g = N_g \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (\text{Ecuación \# 3.4.2.})$$

El cual es un valor medio con respecto al tiempo, por otro lado
el valor medio de la corriente con respecto al tiempo, corriente que
circula por el circuito del galvanómetro que tiene R_g OHMIOS de
resistencia es:

$$I_g = \frac{E_g}{R_g} \quad (\text{Ecuación \# 3.4.3.})$$

es decir que

$$I_g = \frac{N_g}{R_g} \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \text{en virtud de la Ecuación \# 3.4.2.}$$

$$I_g = \frac{N_g}{R_g} \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (\text{Ecuación \# 3.4.4.})$$

utilizando las ecuaciones # 3.4.1. y la ecuación # 3.4.4.

tenemos lo siguiente:

$$E = K_1 \left(\frac{N_g \Delta \Phi}{R_g \Delta t} \right) \Delta t$$

esto es:

$$E = \frac{K_1 N_g^2}{R_g} \Delta \Phi \quad (\text{Ecuación \# 3.4.5.})$$

a la relación de (R_g/N_g^2) la podemos designar con la letra K , la
cual es una constante que indica la sensibilidad del galvanómetro, -
que se puede determinar fácilmente.

El valor medio con respecto al espacio para la densidad de flujo
magnético es el siguiente:

$$B = \frac{E_g}{K} = \frac{E}{K N_g} \quad \text{en virtud de la Ecuación \# 3.4.5.}$$

donde A es el área de la sección de la muestra del material ferromagnético bajo análisis. Por tanto para determinar la curva $\vec{B} - \vec{H}$ de dicho material ferromagnético tenemos que utilizar un circuito similar al indicado en la figura # 3.4.1. y mediante las siguientes ecuaciones:

$$\vec{H} = \frac{N(I)}{2\pi R} \quad (\text{Ecuación \# 3.4.6.})$$

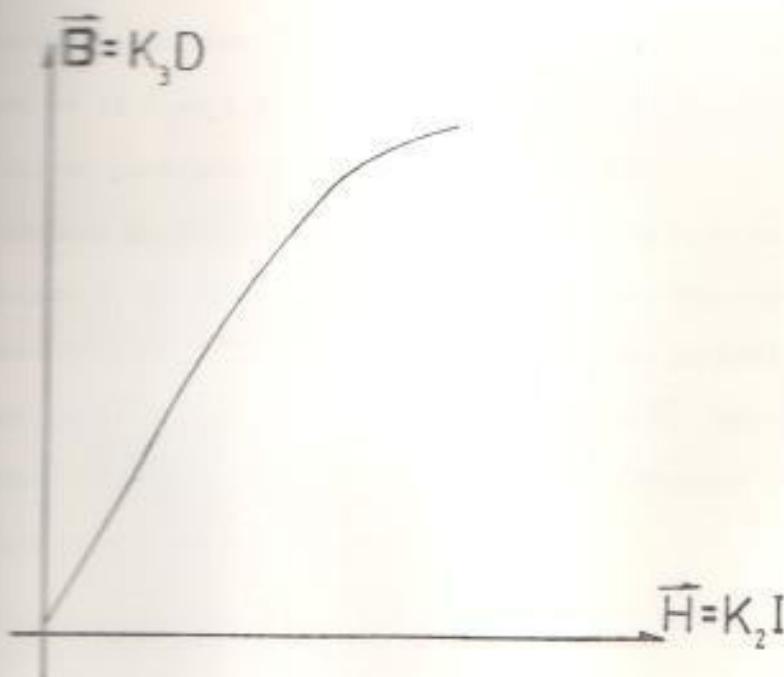
$$\vec{B} = \frac{K(D)}{NgA} \quad (\text{Ecuación \# 3.4.7.})$$

Con las ecuaciones # 3.4.6. y # 3.4.7. las podemos simplificar del modo siguiente:

$$\vec{H} = (K_2) I, \text{ donde } K_2 = \frac{N}{2\pi R} \quad (\text{Constante})$$

$$\vec{B} = (K_3) D, \text{ donde } K_3 = \frac{K}{NgA} \quad (\text{Constante})$$

Podemos elaborar una TABLA PARA LOS VALORES DE H , B , I , y D ; con suficientes puntos proceder a graficar la curva $\vec{B} - \vec{H}$ correspondiente al metal ferromagnético en cuestión VER ANEXOS (B-4) y (B-5) y la figura # 3-4-2



(FIGURA # 3-4-2)

FORMA GENERAL DE LAS CURVAS
 $\vec{B} - \vec{H}$

cuando I la corriente de excitación en el circuito primario medido
mediante un amperímetro B.C. y D es la desviación que indica el
galvanómetro balístico en su escala, para el valor correspondiente
de I .

Segundo el procedimiento anteriormente expuesto se puede de-
terminar la curva $\vec{B} - \vec{H}$ para algunos tipos de metales ferromagnéti-
cos. En sus aplicaciones los encontramos en DINAMOS, MOTORES, GE-
NERADORES, REACTORES, TRANSFORMADORES etc, todos ellos con sus par-
ticularidades y características magnéticas dadas por el fabricante
de los mismos ver anexos (B-6), (B-7-2)

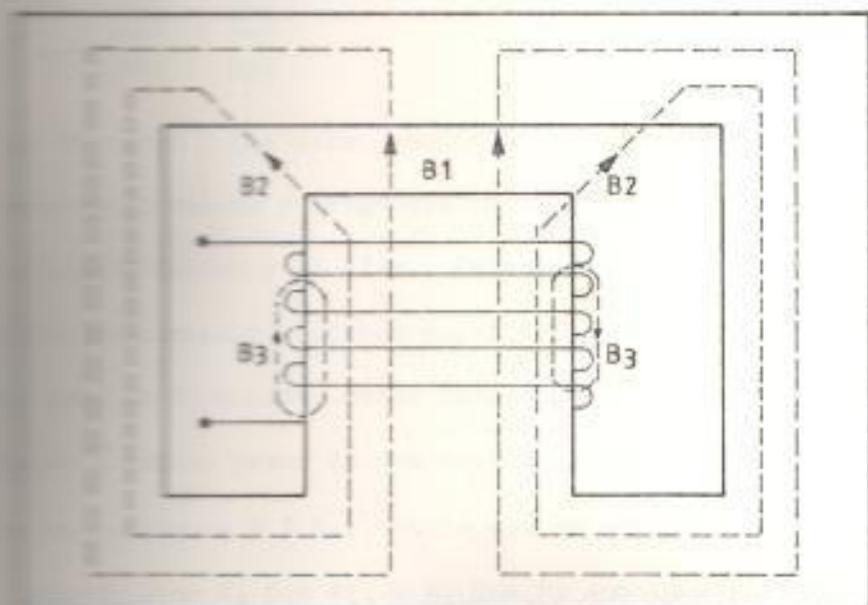
3.5.1. DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO MAGNÉTICO EN LOS NUCLEOS DE HIERRO

CON LAS MEDIACIONES DE LOS MISMOS

Considerando una disposición simétrica del núcleo ferromagné-
tico, y la dirección más adecuada para la bobina, con el fin de -
que la distribución de las líneas de campo magnético sea uniforme
es necesario diseñar los núcleos para los balastos de la for-
ma indicada en la figura # 3.5.1. en la cual se han proyectado tres
casos típicos para las líneas de flujo magnético.

Las líneas magnéticas que cruzan el entrehierro a lo largo -
de las curvas B_1 pueden representarse fácilmente como cruzando el
hiato entre el polo de hierro y el aire en líneas paralelas rectas

En esta región central del polo, los vectores \vec{H} asociados -
experimentan un marcado cambio en magnitud, pero ninguno en direc-
ción, ya que cruzan el hiato perpendicularmente.



(FIGURA # 3.5.1)

COMPORTAMIENTO DEL FLUJO MAGNETICO :
EN LOS NUCLEOS DE HIERRO Y EN LAS INMEDIACIONES DEL MISMO

Del hecho de que la componente normal B_n para la densidad de flujo magnético sea continua conforme cruza la capa límite de una zona de permeabilidad (μ_1) a otro de permeabilidad (μ_2) se deduce que las componentes normales (H_n) para la intensidad de campo magnético tienen que sufrir un cambio de magnitud brusco, - que es inversamente proporcional a la (μ_r) en cada lado de la capa límite, puesto que $B_n = \mu_r H_n$.

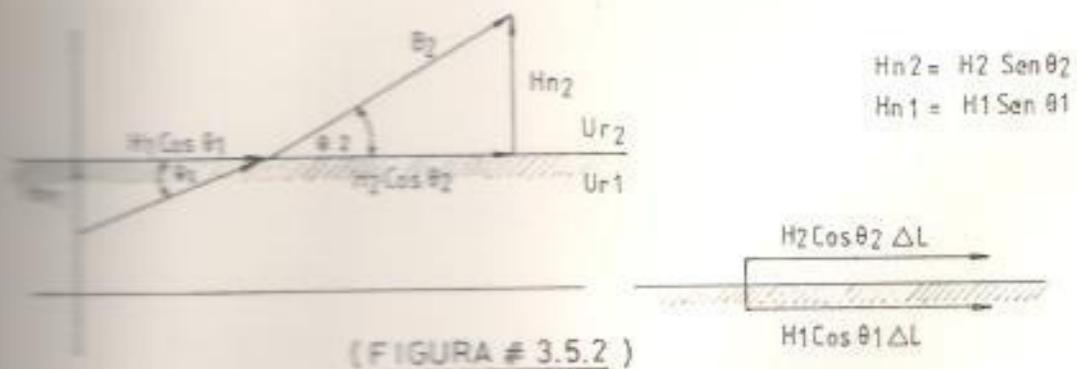
En la figura # 3.5.1, H_n puede incrementarse grandemente al cruzar la capa límite desde el extremo del polo en el hierro (μ_{r1}) al aire (μ_{r2}), puesto que

$$\mu_0 \mu_{r1} H_{n1} = \mu_0 \mu_{r2} H_{n2} = BN$$

esto es en el límite entre el hierro y el aire.

$$\frac{H_{n2}}{H_{n1}} = \frac{\mu_{r1}}{\mu_{r2}}$$

Los vectores \vec{H} que están asociados a los caminos B_2 , tienen componentes normales y tangenciales con respecto a la capa entre el núcleo de hierro y el aire. En este caso cuando cruzan el límite los mencionados vectores experimentan cambios tanto de magnitud como de dirección, estos cambios experimentados por los vectores \vec{H} cuando pasan de una región de (μ_{r1}) a la (μ_{r2}), se indican en la figura # 3.5.1, en la que se supone que los componentes tangenciales $H_1 \cos \theta_1$, y $H_2 \cos \theta_2$ son iguales, ya que la caída del potencial magnético $H \Delta L$, entre dos puntos que se encuentran en la superficie límite es $\oint H_2 \cos \theta_2 \Delta L$, $\oint H_1 \cos \theta_1 \Delta L$ como se indica en la figura # 3.5.2. una interpretación de dicha figura pone de manifiesto que basandonos en que $H_1 \cos \theta_1 = H_2 \cos \theta_2$.



SUPERFICIE LIMITE ENTRE EL HIERRO Y EL AIRE

Se puede establecer lo siguiente:

$$\frac{H_1 \cos \theta_1}{H_2 \cos \theta_2} = \frac{H_1 \text{ Sen } \theta_1}{H_2 \text{ Sen } \theta_2} = \frac{H_{n1}}{H_{n2}} = \frac{\mu_{r2}}{\mu_{r1}}$$

CAPITULO IV

NORMAS A.N.S.I.

4.1. ESPECIFICACIONES PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION DE BALASTOS DE LAMPARAS DE DESCARGA

Los diseños de los balastos para lámparas de descarga eléctrica están sujetos a las normas americanas (AMERICAN NATIONAL STANDARD SPECIFICATION) A.N.S.I., las cuales establecen las medidas necesarias para determinar el correcto funcionamiento de los mismos.

4.2. NORMAS A.N.S.I. C-82-1-1977

4.2.1 DEFINICIONES

Los balastos son aparatos mediante los cuales se limita la corriente de las lámparas al valor requerido para una operación apropiada y también proveen cuando es necesario el voltaje y la corriente de arranque requeridas. Los balastos forman parte del sistema de la luminaria y como elementos auxiliares disponen de capacitores y resistencias, lo cual hace que el conjunto sea un circuito R.L.C.

En las lámparas fluorescentes de rápido arranque los balastos proveen calentamiento para los cátodos de bajo voltaje, los capacitores de supresión de radiointerferencia, los capacitores para corregir el factor de potencia, y los resistores de descarga. Los capacitores en muchos casos pueden ser parte de los balastos.

4.2.1.1 LAMPARA DE DESCARGA DE CATODO FRIO.

La lámpara de descarga eléctrica de cátodo frío es aquella en la cual los electrodos, operando a temperatura menor que la

Normalmente proveen una corriente de electrones por emisión de campo en la cual la caída de voltaje en el cátodo es relativamente baja (de 75 Voltios hasta 150 voltios).

La densidad de corriente en los cátodos es relativamente baja, y los ánodos llegan a ser imprácticos para corrientes de unos cientos de miliamperios.

LÁMPARA DE DESCARGA DE CÁTODO CALIENTE

La lámpara de descarga eléctrica de cátodo caliente es aquella en la cual los electrodos operan a temperaturas incandescentes, y la caída de tensión en el cátodo es relativamente baja (de 20 Voltios hasta 25 Voltios).

La densidad de corriente en los cátodos es relativamente alta, y las lámparas pueden ser diseñadas para portar cualquier corriente desde hasta de varios cientos de miliamperios. La energía para mantener los cátodos en incandescencia puede venir del arco (ARCO DE ENCENDIMIENTO) de los elementos del circuito.

SISTEMAS DE ARRANQUE INSTANTANEO

Los sistemas de arranque instantaneo son aquellos en los cuales una lámpara de descarga eléctrica se arranca mediante la aplicación de un voltaje a la lámpara lo suficientemente alto para desprender electrones desde los electrodos por emisión de campo iniciando el flujo de electrones a través de la lámpara donde se ionizan los gases y arranca una descarga a través de la misma sin calentamiento previo de los electrodos. Las lámparas de arranque instantaneo de cátodo caliente operan bajo las siguientes condiciones:

1) Las lámparas se arrancan con los cátodos calientes a una temperatura suficiente para una adecuada emisión de electrones, y sin necesidad de iluminación local a través de los cátodos.

3) Este calentamiento se alcanza ya sea por medio de bobinas conectadas de bajo voltaje del mismo balasto, o por transformadores de bajo voltaje.

4) Suficiente voltaje se aplica a través de la lámpara y el balasto para iniciar la descarga cuando los cátodos alcanzan una temperatura lo suficientemente alta para una emisión adecuada.

5) El voltaje de calentamiento del cátodo se mantiene aún cuando la lámpara esté en plena operación.

CLASIFICACION DE REFERENCIA

Los balastos son del tipo reactor los cuales se diseñan, para el propósito de proveer los estándares de comparación para uso en pruebas de balastos o lámparas, también son utilizados para seleccionar las lámparas de referencia que se necesitan en el trabajo de pruebas de balastos.

Las lámparas de referencia se caracterizan por tener una impedancia constante dentro de un amplio rango de corriente de operación, y también por poseer características constantes que no se ven afectadas por el tiempo, temperatura y campos magnéticos fluctuantes.

Las especificaciones generales para balastos de referencia están en A.S.I. C-78-3 1977.

Los valores de corriente de referencia, impedancia de referencia, y voltaje de línea para los balastos de referencia a ser usados en cada tamaño y tipo de lámpara se dan en A.S.I. C-78.

Las lámparas de referencia son aquellas que bajo condición estable de operación, y en conjunto con el balasto de referencia es suficiente para a valores de voltaje, potencia, y corriente nominal de un $\pm 2.5\%$ de tolerancia respecto de los

estándar dado en el estándar de lámparas (A.N.S.I. C-78).

Las lámparas de referencia del tipo de arranque rápido, se operan en circuitos en los cuales sus cátodos están continuamente calentados por fuentes apropiadas de bajo voltaje.

ALGUNOS SISTEMAS DE ARRANQUE POR PRECALENTAMIENTO

Los sistemas de arranque por precalentamiento son aquellos en los cuales las lámparas de descarga eléctrica de cátodo caliente se encienden con los cátodos precalentados por medio del uso de un interruptor de arranque, ya sea manual o automático y así de esta manera cuando el interruptor de arranque se cierra conecta los dos cátodos en serie con el balasto, de modo que la corriente fluye para calentar los cátodos a una temperatura de emisión y cuando el interruptor se abre un transiente de voltaje se produce, lo cual indica la ignición. Al volver la corriente de arco fluye a través de los cátodos después que la lámpara está en operación.

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LOS BALASTOS

Los balastos son etiquetados para indicar las características eléctricas dadas por el fabricante y estos son los siguientes:

- Voltaje de alimentación.
- Frecuencia de la red
- Corriente de operación
- La marca de fábrica
- Tipo de balasto
- Potencia nominal de la lámpara
- Diagrama de conexión
- Factor de potencia.

Los balastos que operan con un factor de potencia promedio del 90% o más se los marcará como balastos del tipo de alto factor de potencia.

Los balastos del tipo corregido, y que operan a un factor de potencia menor al 90% indicarán el factor de potencia promedio de operación.

Los balastos del tipo no corregido no necesitan marcación para indicar el factor de potencia.

El voltaje de circuito abierto para el balasto tipo autotransformador, deberá marcarse cuando pase de los 300 voltios.

Todos los balastos que suministran voltajes superiores a los 100 voltios deberán ser marcados para indicar que la carcasa del balasto tiene que ser aterrizada.

Una marcación suplementaria para los balastos tipo autotransformador se incluye los puntos correctos de conexión para varios terminales. Cualquier restricción o condición necesaria que considere la operación del balasto debe ser indicada como parte de la marcación suplementaria.

El código de colores para indicar los terminales de línea de los balastos es el siguiente:

- 1) Los balastos con un solo terminal de línea tal como el reactor serie, el terminal de la línea suele ser negro.
- 2) Los balastos con dos terminales de línea, cuando uno de ellos se conecta al neutro, ese terminal será blanco o color gris natural y el otro será negro (el de la línea).
- 3) Los balastos con 2 terminales de línea los cuales se conectan directamente a la línea no aterrizados, ambos terminales serán negro.

4.2.3. FUNCIONAMIENTO DE LOS BALASTOS
=====

Las medidas necesarias para determinar el funcionamiento de los balastos serán hechos de acuerdo a las normas A.N.S.I. C-82-2-1977.

Para un arranque satisfactorio de la lámpara con el balasto mismo se opera a cualquier voltaje comprendido entre el 90% y el 110% del voltaje nominal de la línea, a frecuencia nominal prevee las características de arranque especificadas en A.N.S.I.C-78.

Los tipos de balastos de arranque instantáneo reúnen los requerimientos para corriente de arranque del modo siguiente:

1) BALASTOS DE UNA SOLA LAMPARA
=====

Con una resistencia de prueba especificado (ver tabla # 4.2.3.1.) conectada al balasto en vez de la lámpara, la corriente R.M.S. a través de la resistencia en cualquier voltaje de línea entre el 90% y el 110% del voltaje nominal no deberá ser menor que el mostrado en dicha tabla.

2) BALASTOS PARA VARIAS LAMPARA
=====

Estos balastos diferentes a los tipos vistos en (1) deberán reunir los siguientes requerimientos los cuales se aplican para cualquier posición de la lámpara.

Con la resistencia de prueba, especificada en la tabla # 4.2.3.1. conectada al balasto en lugar de una de las lámparas, y con las otras posiciones, conectadas a las lámparas de referencia, la corriente R.M.S. a través del resistor, a cualquier voltaje de línea entre el 90% y el 110% del voltaje nominal no debe ser menor que el valor indicado en la tabla # 4.2.3.1.

Además si una o más de las posiciones de las lámparas, es tal que esta pueda arrancar y operar (no necesariamente a la I nominal) y sin lámparas en las otras posiciones la corriente de la resistencia en esta posición también reunirá las especificaciones dadas en la tabla # 4.2.3.1 sin lámparas en los otros circuitos.

(TABLA # 4.2.3.1)

REQUERIMIENTOS PARA CORRIENTE DE ARRANQUE EN BALASTOS DE ARRANQUE INSTANTANEO

| DIMENSIONES DE LAS LAMPARAS | CORRIENTE DE OPERACION (m A.) | RESISTOR DE PRUEBA (OHMIO S) | MINIMA CORRIENTE DE ARRANQUE (m A) |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 42 pulgadas T-6 | 120 | 3000 | 75 |
| | 200 | 3000 | 90 |
| | 300 | 3000 | 100 |
| 64 pulgadas T-6 y | | | |
| 72 pulgadas T-8 | 120 | 4000 | 75 |
| | 200 | 4000 | 90 |
| | 300 | 4000 | 100 |
| 96 pulgadas T-8 | 120 | 5000 | 75 |
| | 200 | 5000 | 90 |
| | 300 | 5000 | 100 |
| 40 W. T-12 15 | 425 | 2750 | 100 |
| 48 pulgadas T-12 | 425 | 2750 | 100 |
| 72 pulgadas T-12 | 425 | 3400 | 100 |
| 96 pulgadas T-12 | 425 | 4000 | 100 |

2.4. VOLTAJES DE DISEÑO PARA BALASTOS
=====

Los siguientes valores de Voltaje corresponden a los establecidos en A.N.S.I./N.F.P.A. No. 70-1975 para Voltajes máximos de diseño para balastos de lámparas de descarga eléctrica.

120 VOLTIOS

208 "

240 "

277 "

480 "

2.5. REQUERIMIENTOS QUE TIENE QUE CUMPLIR UN DISEÑO
=====

1) LIMITE PARA LA TEMPERATURA DE OPERACION

La temperatura de operación en la CARCASA del balasto no tiene que exeder de los 90°C.

2) LIMITES DE LA FUENTE DE VOLTAJE

El Voltaje promedio de la fuente del SISTEMA tendra una variación permitida del $\pm 5\%$ del Voltaje NOMINAL INDICADO EN LA ETIQUETA O MARCACION del BALASTO.

3) BAJO NIVEL DE RUIDO

El ruido es una característica inherente de los dispositivos electromagnéticos, y no se lo puede eliminar completamente, pero se lo podrá minimizar al máximo con una correcta fijación de las láminas del núcleo.

4) ATERRIZAMIENTO DE LA CARCASA

Es conveniente aterrizar la carcasa del BALASTO en caso de que el VOLTAJE de CIRCUITO ABIERTO DEL BALASTO exeda a los 150 VOLTIOS.

4.3. NORMAS A.N.S.I. C-82-2-1982

Estas normas definen los procedimientos a seguirse y las precauciones que hay que tomar en las medidas y pruebas de los balastos para lámparas fluorescentes de cátodo caliente o cátodo frío incluidas en la clasificación de lámparas de cátodo caliente están aquellas designadas para arranque de precalentamiento, arranque rápido (Cátodos calentados continuamente y arranque instantáneo).

4.3.1. CORRIENTE DE ARRANQUE

Estas mediciones serán hechas sólo en balastos para arranque rápido e instantáneo, y algunos tipos de lámpara de arranque rápido los valores especificados de las pruebas de resistencia, incluyen la resistencia interna del amperímetro (el cual para miliamperios será tan alto como 100Ω), y a menos que el resistor utilizado tenga un coeficiente de temperatura muy pequeño, el ajuste final se hace cuando se ha alcanzado la temperatura de equilibrio a la corriente dada.

4.3.2. CORRIENTE DE PRECALENTAMIENTO EN LOS CATODOS

Esta medida que se necesita sólo para balastos de lámparas de arranque precalentado se hace por la lectura de amperímetro del tipo convencional conectado en serie con los cátodos de la lámpara - mientras que la lámpara se mantiene en condiciones de precalentamiento.

Las mediciones de salida del balasto se hacen con una lámpara de referencia operando bajo las condiciones especificadas en lámparas de referencia (ver A.N.S.I. C-82-1984), aunque la temperatura del balasto tiene un efecto sobre la salida del mismo, estos efectos son relativamente pequeños, y se requiere un largo tiempo para alcanzar condiciones estabilizadas del balasto de aquí que para obtener una mejor uniformidad y precisión en las pruebas, los balastos son operados a temperatura ambiente.

En el encendido por precalentamiento y el encendido instantáneo la salida de los balastos está especificada en términos de potencia desarrollada de una lámpara de referencia por el balasto de referencia apropiado. En tal prueba la lámpara será operada alternativamente desde el balasto de prueba, y desde el balasto de referencia.

El circuito será construido de tal forma que la lámpara pueda ser energizada desde un balasto a el otro, sin que sea desplazada la instrumentación y los circuitos y las correcciones para la presencia de los instrumentos se revisan en otras secciones del estándar (ver anexo F.3)

Para los balastos de rápido encendido la salida se especifica en términos de salida luminica relativa de una lámpara de referencia comparada con la salida luminica de la misma lámpara de referencia cuando es operada con el balasto de referencia apropiado.

La lámpara de referencia de encendido rápido será operada primero sobre el balasto de referencia a un voltaje de línea normalizada y frecuencia normalizada. Cuando la lámpara a alcanzado las condiciones de operación estable, la brillantez de la lámpara será medida con precisión, la lámpara entonces será transferida a un balasto de prueba y su brillantez será medida de nuevo, y así será transferida al balasto de referencia para su chequeo.

Cuando se conecta al balasto bajo prueba, la salida luminica puede derivarse a medida que el balasto se calienta, y la lámpara se estabiliza.

Para facilitar la prueba las lecturas se toman dentro de los 30 segundos después de conectar el balasto de prueba

Quando se mide la salida luminica se recomienda una fotocélula del tipo de capa de barrera, dicha célula será montada al menos 5 - pulgadas (127 m.m.) desde la lámpara (más lejos para lámparas más brillantes) y será apantallada de modo tal que no sea afectada por - laves parásitas, la célula leerá la posición central de la lámpara, cubriendo una sección de seis pulgadas (152 m.m.) o más mientras mayor porción de la lámpara se observe la lectura será más representativa, el apantallado no rodeará la lámpara de tal forma que sube la temperatura de operación a causa de la restricción del aire, un fondo de negro mate se colocará detrás de la lámpara opuesto a la fotocélula.

Las lámparas de alta corriente (800 m.a. o más) son más sensibles al movimiento de aire y cambios de temperatura, en comparación con las lámparas de corriente más baja. Para estas lámparas hay que tomar un cuidado extra. Cuando se está midiendo la salida luminica de estas lámparas es deseable además observar todas las precauciones mencionadas anteriormente.

4.3.3. REGULACION DE LOS BALASTOS

La determinación de la regulación de un balasto comprende - sólo la medición de la potencia de entrada de la lámpara o salida luminica al 90% o el 110% del voltaje asignado. Estas medidas pueden hacerse en la misma forma vista en 4.3.2.

4.3.4. CORRIENTE DE LAS LAMPARAS

La medición de la corriente en las lámparas sobre un balasto construido del tipo de arranque rápido requiere de una instrumentación especial para proveer una suma vectorial de las corrientes en los dos conductores a un cátodo en serie con el alambrado principal del balasto, sin embargo será generalmente necesario tener que

utilizar un doble transformador de corriente primario o un amperímetro de suma vectorial (ver anexo F.3) donde se ilustra el método adecuado para la medición de las corrientes de la lámpara de encendido rápido.

El método de suma vectorial para la prueba, usa, un amperímetro con doble cableado, indicando la suma vectorial de las corrientes en el estrobobinado.

Para compensar la perturbación causada por la inserción del instrumento en un circuito de pruebas una segunda medida se toma después de insertar en cada conductor una resistencia adicional igual a aquella que corresponde al circuito del amperímetro.

Sean i_1 e i_2 las lecturas sucesivas de las corrientes medidas, entonces el valor verdadero de i en la lámpara en operación nominal es la siguiente: (Ver anexo F.3)

$$i = i_1 + (i_1 - i_2)$$

Esto es si las condiciones de estabilidad de la fuente de voltaje y frecuencia son consecuentes.

4.3.5. FORMA DE ONDA DE LA CORRIENTE

Las mediciones del pico y del valor eficaz de la corriente, puede ser hecho con instrumentos conectados en un circuito como se ve en el anexo F.3, lo cual depende del tipo del circuito del balastro a ser probado.

El pico de corriente puede ser medido utilizando un voltímetro de lectura de alta impedancia, o un osciloscopio calibrado, en cualquier caso el instrumento de lectura pico se conectara en paralelo con un resistor, el cual está en serie con la lámpara.

El resistor deberá ser del tipo no inductivo, y no tendrá una caída de voltaje que sea mayor de 2% del voltaje nominal de la lámpara.

En general un buen voltímetro de lectura pico dará una lectura más precisa del valor pico con respecto a la medición con un osciloscopio.

El voltímetro de lectura pico deberá calibrarse cuidadosamente de preferencia al hacer las mediciones y definitivamente será un instrumento cuyas lecturas sean proporcionales a los valores pico, y a los valores promedio R.M.S. se tomarán precauciones para asegurar que todas las corrientes que van a la lámpara pasen a través del resistor.

La característica general de la forma de onda puede ser determinada, y en condiciones normales de operación con voltaje de línea nominal aplicado al primario del balasto, la forma de onda de la corriente suministrada a una lámpara de referencia tendrá un factor de cresta como sigue:

es $\frac{V(\text{pico})}{V(\text{RMS})}$, que no exceda los valores indicados en la siguiente tabla 4.3.5: (Ver anexos F.1)

Los medios ciclos sucesivos de corriente mantendrán substancialmente la misma forma de onda cuando se observen en un osciloscopio.

4.3.4. CIRCUITOS

- 1) Circuitos de aterrizamiento (ver anexo F.2 —→ figura 3).
- 2) Circuitos básicos para conexión de instrumentos (ver anexo F.2.5. figuras 3 y 4).
- 3) Circuito para rápido arranque (ver anexo F.2 —→ figura 5).
- 4) Circuito de pruebas (ver anexo F.6 1 y 2 figuras A1, A2, A3, A4).

4.2.7. CALENTAMIENTO DE LOS BALASTOS

PRUEBA NORMAL.- Durante las pruebas normales de temperatura, como también durante las pruebas de temperaturas anormales, el balasto -
esta colocado en un cerramiento en el cual la temperatura ambiental
se mantiene como está especificado y detallado en anexo F-4 Fig.
4.2.

El cerramiento de prueba total, se construirá con láminas de
cemento asbesto blanco de 1" de espesor, el compartimento de prueba
de este tendrá unas dimensiones internas de 24" x 24" x 24", y el -
piso del compartimento medirá 22" x 22". permitiendo un espacio en
aire de 1" alrededor de la plataforma para la circulación del aire
caliente.

Un compartimento de calentamiento de $(3")^2$ se proveerá deba-
jo del piso del área de prueba para los elementos calefactores, una
parte del compartimento de prueba será removible, pero de tal forma
construido que sea ajustado con seguridad al resto del dispositivo
una de las paredes tendrá una abertura cuadrada de 6" x 6" localiza-
da centralmente en el borde inferior del compartimento de prueba, y
el cerramiento será a través de esta abertura, la cual esta recubier-
ta por una lámina de aluminio.

Durante la prueba, la frecuencia de la fuente del circuito será
la nominal del balasto, y el voltaje de la fuente será el voltaje de
potencia nominal máximo del balasto, la temperatura en la prueba debe
ser mantenida a 40°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$ durante la prueba.

4.2.8 CORRIENTES DE FUGA

El cerramiento del balasto o el núcleo de un balasto abierto
deben ser chequeados para ver si existe corriente de fuga, y
estas corrientes desde la cubierta o el núcleo del balasto hacia

el coeficiente de prueba neutral debe ser medido (Ver anexo F.5)

Figura 9).

Un balasto que tenga un cerramiento no metálico tiene que ser probado utilizando una lámina de metal con una área de 4" x 8" en contacto con la superficie del núcleo como un electrodo para pruebas (ver anexo F.5)

4.3.3 TENSION DE CHOQUE

En las lámparas de vapor de sodio a alta presión es preciso aplicar altas tensiones de choque del orden de 2,8 a 5 K.V. proporcionadas por el aparato de encendido en conexión con el correspondiente balasto y con la lámpara según puede verse en la figura 4.3 (Ver Anexo B-11-2)

4.4. NORMAS A.N.S.I. C-82.3 1983

Estas normas describen las características del diseño esencial y las características de operación de los balastos de referencia para las lámparas de descarga.

Los Items especificados son aquellos que han sido necesarios para asegurar resultados precisos y reproducibles cuando son probados los balastos.

Los valores específicos del promedio de voltaje de entrada e impedancia para cada tamaño de lámpara, están tabulados en A.N.S.I. C-78 1.978 y C-78-1A-1.980

4.4.1. CARACTERISTICAS DE DISEÑO

Para un diseño general, un balasto de referencia es un reactor inductivo, ya sea con o sin resistores en serie adicionales, diseñados para dar las características de operación tabuladas en la sección 4.4.2.

4.4.1.1. BALASTO TIPO IMPEDANCIA FIJA

Puesto que este tipo de balasto de referencia sirve como una línea de base permanente como comparación, es de gran importancia que el balasto sea construido para proveer una impedancia permanente bajo condiciones normales de uso y abuso. Una rechequeada a la impedancia del balasto periódicamente dará valores entre el $\pm 1\%$ sobre el valor preestablecido.

4.4.1.2. BALASTO TIPO IMPEDANCIA VARIABLE

Este tipo de balasto de referencia cuando se ajusta a cualquier valor dado de impedancia será capaz de mantener ese ajuste a través de periodos normales de uso. Para este propósito deberán proveerse medios apropiados, para la fijación mecánica del núcleo móvil (u otras partes móviles) en cualquier posición deseada.

4.4.1.3. CERRAMIENTO o BLINDAJE

Un balasto de referencia deberá encerrarse en una caja de acero para protección mecánica. En el caso del balasto del tipo de impedancia ajustable, el resistor en serie no necesita estar en el mismo cerramiento que el reactor.

4.4.1.4. BLINDAJE MAGNETICO

Un balasto de referencia que sea considerado magnéticamente blindado, será diseñado y construido de modo tal que su impedancia a corrientes referenciales no cambie más del $0,2\%$ cuando una placa de acero magnético es ubicada en cualquier cara del blindaje magnético.

En caso de que un balasto de referencia no este blindado magnéticamente se tomaran precauciones para mantener objetos magnéticos lo suficientemente lejos del campo de dispersión del flujo de

manera que la impedancia no sea afectada.

6.6.1.5. INCLUSION DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA CON BOBINAS DE CORRIENTE EN LOS CIRCUITOS DE PRUEBA

Cuando un balasto de referencia del tipo de impedancia ajustable esta siendo utilizado, se deberá escoger si la impedancia de la bobina de corriente del instrumento (Amperímetro ó vatímetro) sea incluida o no como parte de la impedancia del balasto de referencia, cualquiera de los métodos es aceptable, pero los otros aspectos de procedimiento de calibración y también el uso subsecuente del balasto deben ser compatibles con el procedimiento particular que se sigue pero sin embargo para hacer más simple el análisis, los procedimientos descritos en estas normas estan dispuestos para condición de no incluir las impedancias de las bobinas de corriente en la impedancia de los balastos.

En los anexos (F.2) y (F.6.1,y2) se indican los procedimientos y circuitos en los cuales se pone de manifiesto el uso de los instrumentos de medida.

6.6.2. CARACTERISTICAS DE OPERACION

Referirse a los anexos F.6.1 ,y F.6.2

CAPITULO V

DISEÑO DE BALASTOS

5.1. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE BALASTOS PARA ENERGIZAR LAMPARAS DE DESCARGA ELECTRICA EN VAPOR DE MERCURIO.

5.1.1. BALASTO PARA LAMPARA DE MERCURIO DE 125 W.

5.1.2. BALASTO PARA LAMPARA DE MERCURIO DE 175 W.

5.1.3. BALASTO PARA LAMPARA DE MERCURIO DE 250 W.

5.1.4. BALASTO PARA LAMPARA DE MERCURIO DE 400 W.

5.1.1. DISEÑO DE UN BALASTO PARA ENERGIZAR UNA LAMPARA DE VAPOR DE MERCURIO CON LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| <u>TENSION DE LA LAMPARA</u> | <u>130 VOLTIOS</u> |
| <u>POTENCIA DE LA LAMPARA</u> | <u>125 VATIOS</u> |
| <u>TENSION DE LA RED</u> | <u>220 VOLTIOS</u> |
| <u>FRECUENCIA DE LA RED</u> | <u>60 Hz.</u> |

5.1.1.1. CORRIENTES DE ARRANQUE Y DE OPERACION

Considerando una pérdida de potencia en el balasto de aproximadamente el 20% de la potencia nominal de la lámpara, esto es $P_B = (0,20) (125 W) = 25$ vatios donde P_B = Potencia consumida por el balasto, la corriente nominal de operación viene dada por la siguiente fórmula.

$$I(\text{operación}) = \frac{1,2 (\text{Potencia de la lámpara})}{(\text{Tensión de línea}) (\text{factor de potencia nominal})}$$

Estimando un factor de potencia nominal de 0,70 para nuestro diseño, y con las características de la lámpara a energizar, tenemos el siguiente valor para la corriente de operación (nominal)

$$I(\text{operación}) = \frac{1,2 (125 \text{ Vatios})}{(220 \text{ Voltios}) (0,70)} = 0,974 \text{ Amperios}$$

(Ecuación # 5.1.1.1.).

$$I(\text{op}) = 0,974 \text{ Amperios.}$$

Después la corriente de arranque tiene el siguiente valor

$$I(\text{Arr}) = 1,9 \times I(\text{op}) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.2.}).$$

el cual es un valor estimado según las curvas de encendido para las lámparas de vapor de mercurio a alta presión (Ver anexo A-1)

$$I(\text{Arr}) = 1,90 (0,974)$$

$$= 1,85 \text{ Amperios}$$

$$I(\text{Arr}) = 1,85 \text{ Amperios}$$

Si estimamos una densidad de corriente de $j = 2,5 \frac{\text{Amp.}}{\text{m.m.}}$ para el tipo de conductor a usar en este sistema de 60 Hz, tenemos que 2,5 $\frac{\text{Amp.}}{\text{m.m.}}$ corresponde a un conductor cuyos diámetros son los siguientes (ver anexos E-7 y E-4).

Diámetro del conductor desnudo = 0,70 mm

Diámetro del conductor esmaltado = 0,74 mm.

De acuerdo a las tablas de conductores de cobre esmaltado (MIL-CR-10000) Manual de Technical Data para conductores A.I.E.E. el número de alambre recomendado es el # 22 apropiado para su uso en reactores, el tipo de esmalte que recubre a este conductor es de POLIESTER IMIDICO H-180, que cumple con las exigencias de la NORMA NEMA MW-30 y su límite térmico máximo es de 180°C (ver anexos E-2 y E-3).

3.2.3 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL NÚCLEO FERROMAGNETICO Y LA BOBINA DEL BALASTO

El núcleo ferromagnético y la bobina del balasto son dimensiones de acuerdo a los requerimientos electromagnéticos del mismo para energizar la lámpara de vapor de mercurio-125W, además estas dimensiones están determinadas por las exigencias mecánicas y geométricas de la luminaria en conjunto (balasto capacitor, lámpara, y elementos accesorios), esto es el peso requerido y su forma geométrica para que pueda mantenerse en el aparato de alumbrado sin que caiga.

El núcleo ferromagnético será construido con chapas de acero al SILECIO de un espesor de 0,60 mm cuyas curvas características se indican en anexos (B-7-2), (B-8), (B-9), y (B-10), estas curvas han sido obtenidas por el fabricante del metal en flejes, mediante el método de ensayo por EPSTEIN ver anexos (B-1), B-2) (B-3)

El peso del núcleo ferromagnético puede ser determinado

aproximadamente mediante la curva (\vec{B} Vs. W/Kg) en la cual se indica la pérdida de potencia en el núcleo para este tipo de metal de acero al silicio 2,8% de concentración, cuyo peso específico es de $7,85 \text{ gm/cm}^3$.

Trabajando en el codo de la curva ($\vec{B} - \vec{H}$), con una densidad de campo $\vec{B} = 1,28 \text{ tesla}$ o $B = 12.800 \text{ gauses}$, analizando las curvas del metal para este valor de densidad de campo magnético. Los valores de intensidad de campo \vec{H} , permeabilidad relativa del metal (μ_r), potencia (W/Kg) y $V.A/Kg$ pueden ser fácilmente determinados, y así tenemos lo siguiente:

Para $\vec{B} = 12.800 \text{ (Gausces)}$
 =====

Se tiene: $\vec{H} = 520 \text{ (Amp/metro)}$

" $\mu_r = 2000 \text{ u. M.K.S.}$

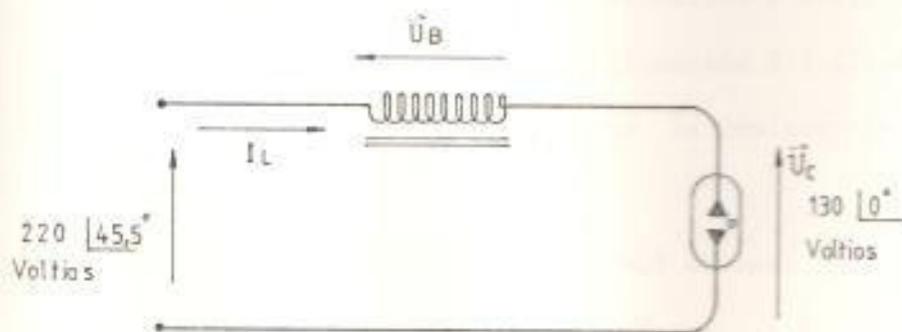
" $P_n = 11,2 \text{ (vatios/kg)}$ (pérdida en el núcleo)

" $S_n = 16,0 \text{ (Vol. Amp/kg)}$ (potencia de excitación para el núcleo.).

La potencia total consumida por el reactor (balasto) puede ser determinado del modo siguiente:

Pérdida en el cobre = $I^2 R_{Cu}$

Pérdida en el núcleo = $(11,2 \text{ W/Kg}) \cdot (\text{peso del núcleo})$



(FIGURA # 5.1.1.2 a)

$\vec{U}_B = \text{CAIDA DE VOLTAJE EN EL BALASTO} = U_B \angle 0^\circ$

Para la condición de estado estable, la potencia consumida por la lámpara es de 125 Vatios, y su caída de voltaje en sus terminales es de 130 $\angle 0^\circ$ Voltios y para el factor de potencia de 0,70 es cosido.

En el cálculo de la corriente de operación, se tiene que la caída de voltaje en el balasto puede ser calculada mediante la ley de Kirchoff aplicada a una malla (ver figura # 5.1.1.2a)

$$220 \angle \beta = U_p \angle \theta + 130 \angle 0^\circ \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.3}).$$

Donde β es el ángulo en el cual la corriente de operación atrasa a la tensión de línea (sin capacitor en el sistema)

$$\beta = \text{Arc cos} (0,70) = 45,5^\circ \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.4}).$$

Por tanto tenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned} U_p \angle \theta &= 220 \angle 45,5^\circ - 130 \angle 0^\circ \\ &= 24 + j 156,9 \\ &= 158 \angle 81,3^\circ \\ &= U_{rs} + jU_L \end{aligned}$$

Esto es:

$$U_{rs} = 24 \text{ voltios}$$

$$jU_L = j 156,9 \text{ voltios}$$

Por:

$$U_{rs} = I(\text{operación}) (R_{cu} + R_f) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.5}).$$

$$jU_L = I(\text{operación}) (jX) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.6}).$$

De la ecuación # 5.1.1.5. se establece que la resistencia del balasto es la siguiente:

$$R_T = (R_f + R_{cu}) = \frac{U_{rs}}{I(\text{oper})} = \frac{24 \text{ voltios}}{0,97 \angle 0^\circ} = 24,7 \text{ ohmios.}$$

Por lo tanto la potencia consumida por el balasto es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 P_B &= (I_{op})^2 (R_T) && \text{(Ecuación \# 5.1.1.7)} \\
 &= (0,97 \text{ Amps.})^2 (24,7 \Omega) \\
 &= 23,2 \text{ vatios.}
 \end{aligned}$$

Lo cual es aproximadamente igual al 20% de la potencia nominal de la lámpara, y es un valor aceptable para nuestro diseño.

El valor de la resistencia del devanado de cobre, puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$R_{cu} = R_T \frac{P_f}{(I_{op})^2} \quad \text{(Ecuación \# 5.1.1.8)}$$

donde P_f es la pérdida de potencia en el circuito magnético (material ferromagnético), lo cual está constituido por las siguientes pérdidas:

- 1) Pérdida por histéresis = P'_H
- 2) Perdidas por corrientes parásitas = P'_e

Ver anexo (D-1-2), y anexo (B-3)

$$P_e = \frac{B_m^2 f^2 t^2 \pi^2}{6 \rho (\text{metal})} \left(\frac{\text{Vatios}}{Kg} \right) \quad \text{(Ecuación \# 5.1.1.9)}$$

donde:

$$B_m = 12.800 \text{ Gauss} = 1,28 \text{ Weber/mt}^2$$

$$f = \text{frecuencia de la red} = 60 \text{ Hz}$$

$$t = \text{espesor de las chapas} = 0,60 \text{ m.m.}$$

$$\rho (\text{acero - silicio}) = 18 \times 10^{-8} \text{ mt}^3 \cdot \Omega$$

por tanto

reemplazando valores en la ecuación \# 5.1.1.9. se tiene lo siguiente:

resultado:

$$\begin{aligned}
 P_e &= \frac{\pi^2 (1,28)^2 (60)^2 (0,60 \times 10^{-3})^2 \frac{\text{Weber}^2}{\text{mt}^4} \frac{\text{Cic}}{\text{seg}^2} \cdot \text{mt}^2}{6 \times 18 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{mt}^3} \\
 &= 19.404,0 \text{ vatios/mt}^3
 \end{aligned}$$

Las pérdidas totales para el núcleo ferromagnético, debido a las corrientes parásitas, puede calcularse del modo siguiente:

$$P'e = (V_B \cdot K) \cdot P_e \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.10})$$

$$= (19.440,0 \text{ vatios/mt}^3) V_N$$

$$P'H = 4 P'e$$

$$= (77.616 \text{ vatios/mt}^3) V_N$$

$$P_f = \text{Pérdidas totales en el hierro (material ferromagnético)}$$

$$= P'e + P'H.$$

donde V_N es el volumen neto del núcleo ferromagnético que a su vez es igual al producto del volumen bruto por el factor de hacinamiento (K).

$$V_N = K V_B \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.11})$$

con peso de 1,24 Kg. para el núcleo ferromagnético de acuerdo a los requerimientos de la luminaria por diseño

El volumen bruto del núcleo puede ser calculado mediante la siguiente fórmula:

$$V_B = \frac{\text{Peso total}}{\text{Peso específico}} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.12})$$

Donde el peso específico del metal ferromagnético dado por el fabricante es de $P(\text{Esp.}) = 7.85 \text{ gm/ctm}^3$.

Por tanto en la ecuación # 5.1.1.12 tenemos lo siguiente:

$$V_B = \frac{1,24 \text{ Kg}}{7.85 \times 10^3 \text{ Kg/mt}^3} = 0,157 \times 10^{-3} \text{ mt}^3$$

$$V_B = 0,157 \times 10^{-3} \text{ mt}^3.$$

Por otro lado se tiene que el volumen neto del núcleo ferromagnético puede determinarse a partir de la ecuación # 5.1.1.11. y con el valor de $k = 0.96$ de acuerdo a la tabla indicada en anexo (B-11-4)

Por tanto

$$V_N = (0,96) (0,157 \times 10^{-3} \text{ mt}^3)$$

$$V_N = 0,15072 \times 10^{-3} \text{ mt}^3$$

Luego en la ecuación # 5.1.1.10. se reemplaza el valor de V_H y se tiene lo siguiente:

$$P'_E = (19404 \text{ Vatios/mt}^3) (0,15072 \times 10^{-3}) = 2,92 \text{ Vatios.}$$

$$P'_H = (77616 \text{ Vatios/mt}^3) (0,15072 \times 10^{-3}) = 11,69 \text{ Vatios}$$

por tanto:

$$P_f = P'_E + P'_H = 13,7 \text{ Vatios.}$$

Las pérdidas en el cobre pueden determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$P_{Cu} = P_B - P_f \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.13})$$

El peso del núcleo ferromagnético se puede calcular también mediante la siguiente formula:

$$W_B = \frac{P_f}{P_n} \text{ Vatios.} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.14})$$

donde:

W_B = es el peso del núcleo del balasto en kg.

P_f = es la pérdida de potencia en el hierro.

P_n = es la pérdida (W/Kg) para el metal ferromagnético ver anexo (B-9)

por tanto

$$W_B = \frac{13,72 \text{ vatios}}{11,0 \text{ W/kg}} = 1,24 \text{ kg.}$$

El volumen bruto (V_B) que tendrá el núcleo del Balasto puede ser calculado mediante el peso específico del metal ferromagnético y el peso total del mismo (como se indicó anteriormente en la ecuación # 5.1.1.12.).

$$V_B = \frac{\text{Peso total}}{\text{Peso específico}} = \frac{1,24 \text{ Kg}}{7,85 \text{ gm/ctm}^3}$$

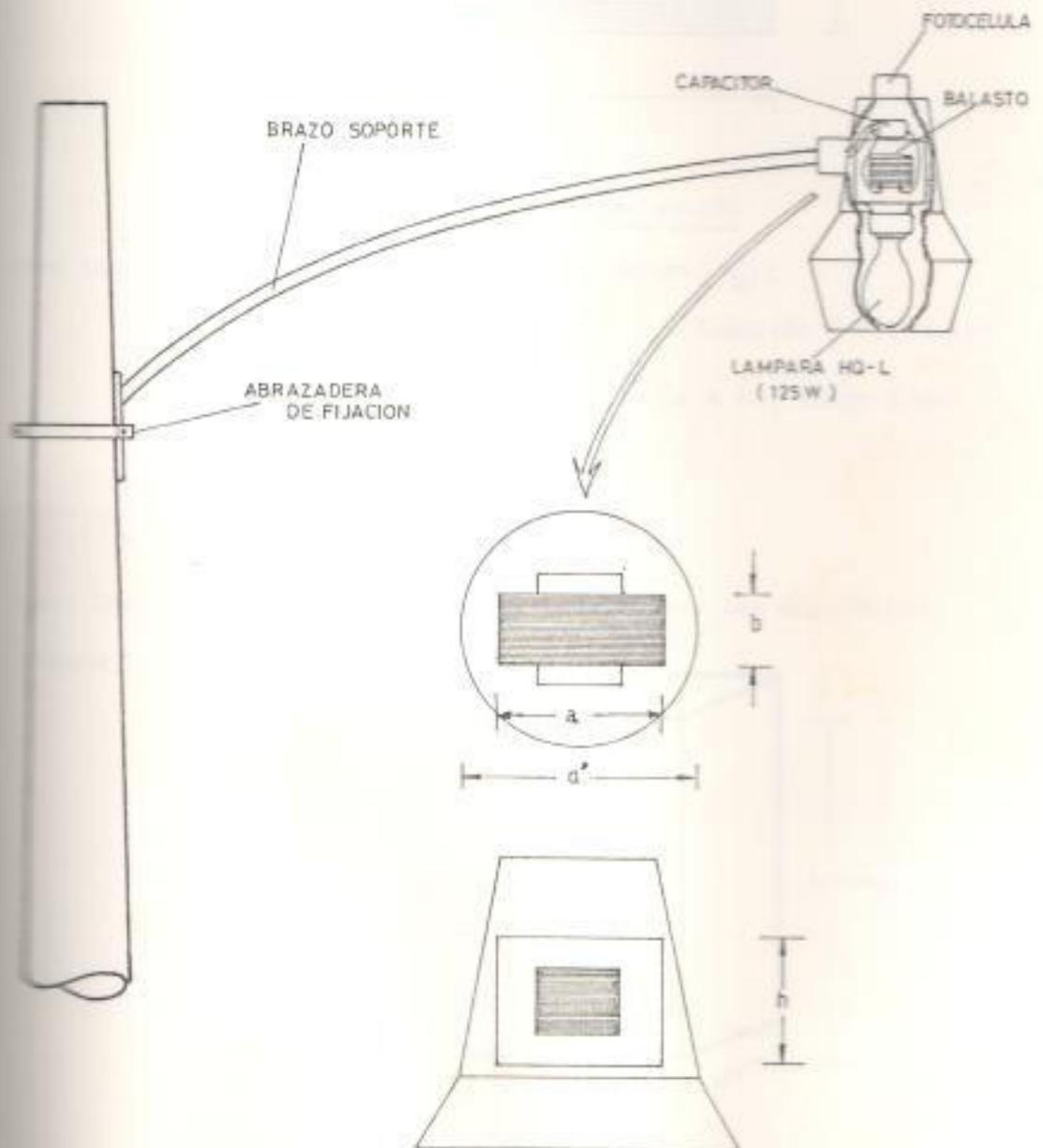
$$V_B = \frac{1,24 \text{ Kg} \times 10^{-3}}{7,85 \text{ Kg mt}^3} = 0,157 \times 10^{-3} \text{ mt}^3$$

$$V_B = 0,157 \times 10^{-3} \text{ mt}^3.$$

Este volumen del núcleo tiene que ajustarse conjuntamente con su bobina en el lugar disponible en la luminaria que para una lámpara de vapor de mercurio (125 vatios), suele ser del tipo vertical, la cual está compuesta por el balasto, la base o socket para la lámpara fijada mecánicamente al balasto, además hay que considerar los accesos necesarios para las conexiones del sistema.

Ver la luminaria en la figura # 5.1.1.2b.

ESPACIO DISPONIBLE PARA EL BALASTO

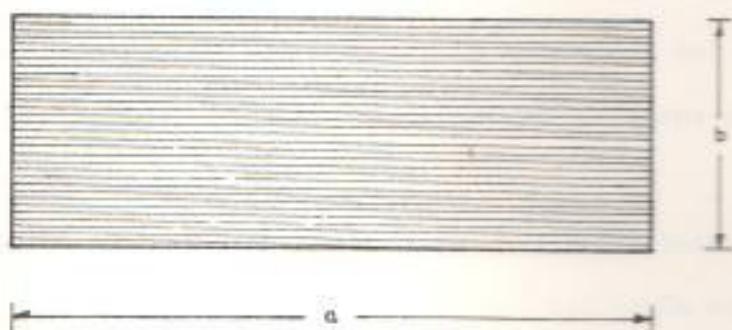


(FIGURA # 5.1.1. 2b)

para las dimensiones para la base del balasto la designamos por a y b.

$$a = 8,5 \text{ ctm.} = 85 \text{ mm.}$$

$$b = 3,0 \text{ ctm.} = 30 \text{ mm.}$$



(FIGURA # 5.1.1.2-C)

DIMENSIONES PARA LA BASE DEL NUCLEO

Por otro lado se tiene el volumen bruto del núcleo (V_B):

$$V_B = (a \times b \times h) \text{ ctm}^3 \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.15})$$

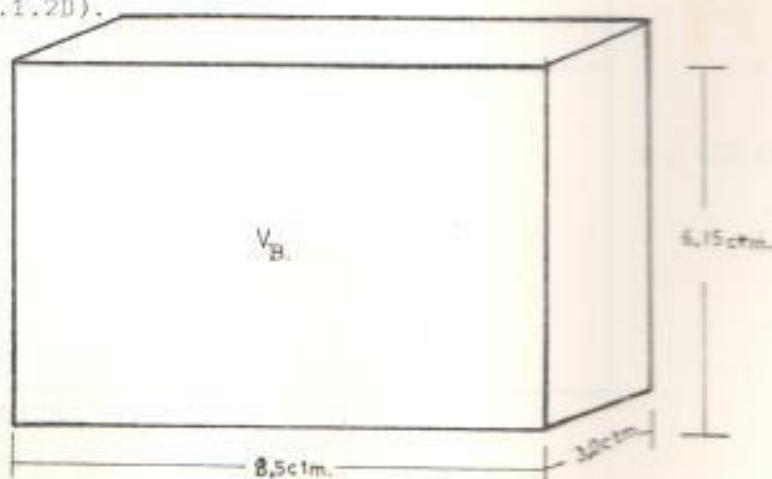
$$0,157 \times 10^{-3} \text{ mts}^3 = (8,5 \text{ ctm} \times 3,0 \text{ ctm} \times h), \text{ luego } h \text{ es:}$$

$$h = \frac{0,157 \times 10^3}{25,50 \text{ ctm}^2} \text{ ctm}^3 = 6,15 \text{ ctm.}$$

$$h = 6,15 \text{ ctm.}$$

Por tanto las dimensiones para el V_B del núcleo son las siguientes:

(Ver figura 5.1.1.2D).



(FIGURA # 5 1 1 2D)

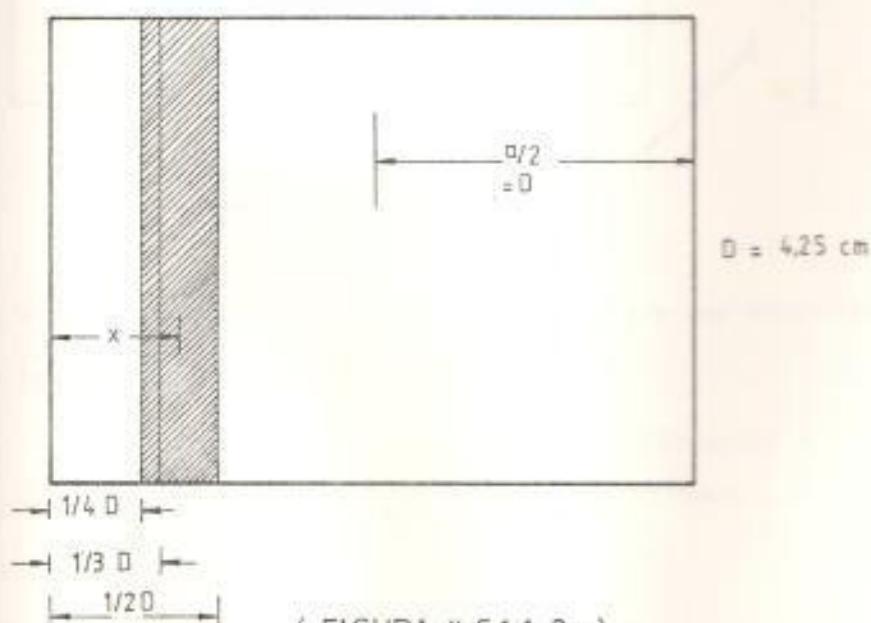
DIMENSIONES DEL V_B DEL NUCLEO

5.1.1.3 DISEÑO DE LAS VENTANAS PARA EL NUCLEO FERROMAGNETICO

Para el diseño de las ventanas del núcleo se tiene que considerar los siguientes puntos

- 1) El circuito magnético tiene que ser lo más funcional posible, para así poder facilitar el montaje del diseño, además dicho circuito tiene que ser uniforme y simétrico en su presentación
- 2) El flujo magnético se dirigirá longitudinalmente a lo largo de las chapas magnéticas por tal razón se usarán chapas magnéticas cortadas en E y en I, conformando una junta a TOPE. La BOBINA OCUPARA la parte central de las estructuras en E
- 3) Las dimensiones de las ventanas son determinadas en base al siguiente criterio (VER FIGURA 5.1.1.3.a)

INTERVALO PARA X



(FIGURA # 5.1.1.3a)

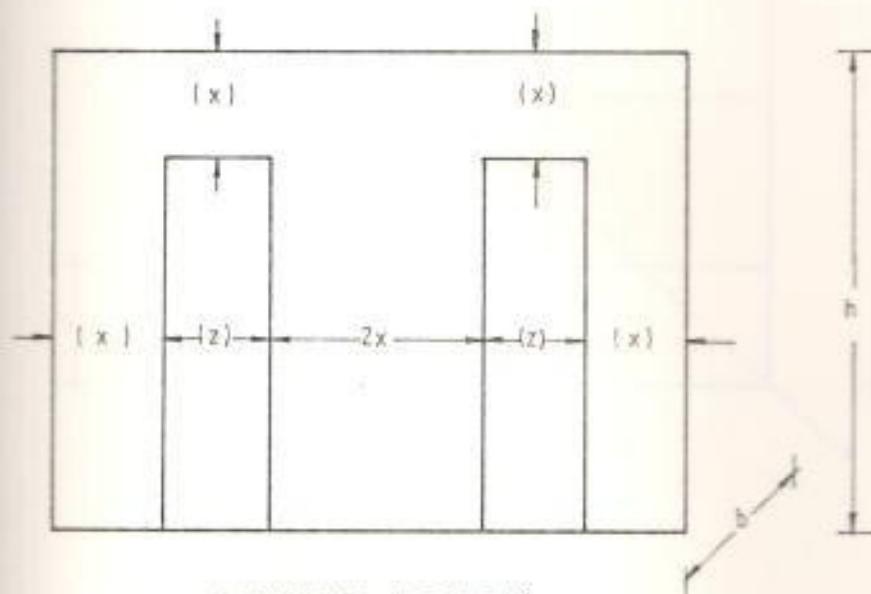
El valor de (x) para el camino magnético está en el intervalo comprendido por $1/4 D$ y $1/2 D$ sin incluir dichos extremos.

$$\frac{1}{4} D < X < \frac{1}{2} D$$

Un valor aceptable es $X = \frac{1}{3} D$ para cumplir con lo expuesto en 1) y 2)

$$\text{tomando a } X = \frac{1}{3} D = 1,41 \text{ ctm.}$$

tenemos el siguiente corte para las chapas E (Ver figura # 5.1.1.3b)



El volumen desalojado por las ventanas puede ser determinado mediante la siguiente ecuación.

$$V_D = 2 \cdot b \cdot (h - x) \cdot Z \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.16})$$

$$\begin{aligned} V_D &= 2 \cdot (3,0 \text{ ctm.} \cdot 4,74 \text{ ctm.} \cdot 1,41 \text{ ctm.}) \\ &= 40,1 \text{ ctm}^3 \end{aligned}$$

Este volumen tiene que ser añadido a las estructuras en E para mantener el peso del núcleo y el volumen bruto inicialmente establecidos.

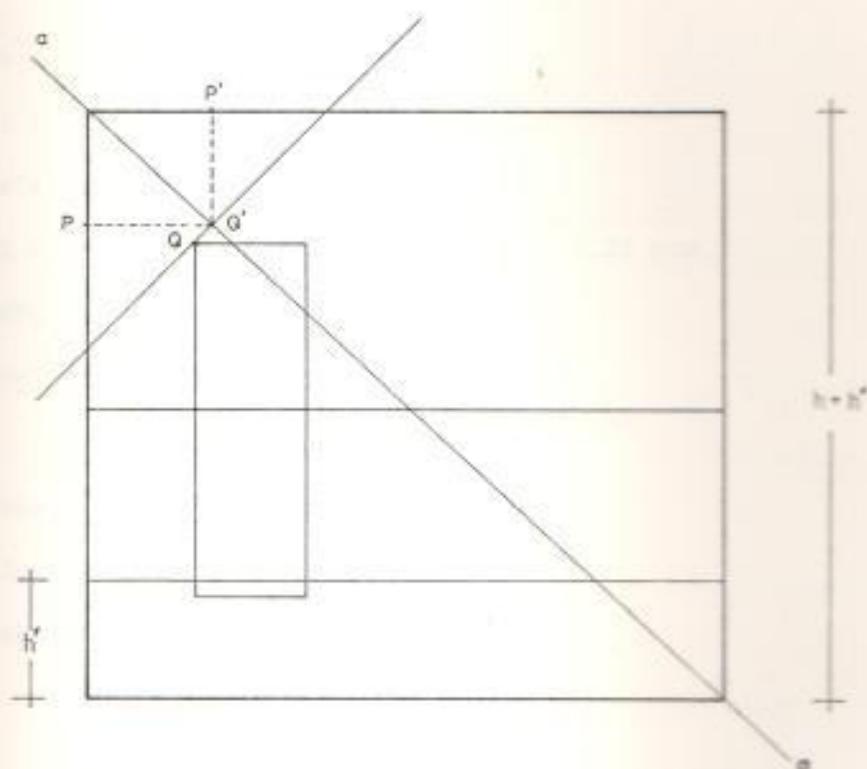
este Volúmen desalojado puede ser expresado del modo siguiente:

(VER FIGURA # 5.1.1.3.c)

$$V_D = (h' \cdot b \cdot a) = 40,1 \text{ ctm}^3$$

POR TANTO

$$h' = \frac{40,1 \text{ ctm}^3}{25,5 \text{ ctm}^2} = 1,57 \text{ ctm} = 15,7 \text{ mm}$$



(FIGURA # 5.1.1.3.c)

RECUPERACION DE VOLUMEN DESALOJADO POR VENTANAS

Centrando las ventanas respecto al lado $(h + h')$, procedemos a DETERMINAR EL VALOR CORRECTO PARA (X) , para lo cual trazamos la diagonal $\overline{a-c}$, y la INTERCEPTAMOS CON LA PERPENDICULAR trazada desde el punto Q para determinar el punto Q' y así obtener las distancias siguientes:

$$\overline{PQ'} = 16,5 \text{ m.m.}$$

$$\overline{PQ''} = 15 \text{ m.m.}$$

De estos valores determinados se escoje para X el Valor inmediatamente superior al anterior designado, esto es $X^* = 15 \text{ mm} = \frac{1}{3} D$, y reemplazando este nuevo Valor de x en la ecuación # 5.1.1.16, se obtiene el volumen desalojado V_D^* calculado mediante la siguiente ecuación:

$$V_D^* = 2 \cdot b \cdot (h - x^*) \cdot z \quad \text{(ECUACION \#5.1.1.17)}$$

DENDÉ

$$b = 3,0 \text{ ctm.}$$

$$h = 6,15 \text{ ctm}$$

$$x^* = 1,5 \text{ ctm}$$

$$z = D - 2x^* = (4,25 \text{ ctm} - 3,0 \text{ ctm}) = 1,25 \text{ ctm.}$$

POR TANTO

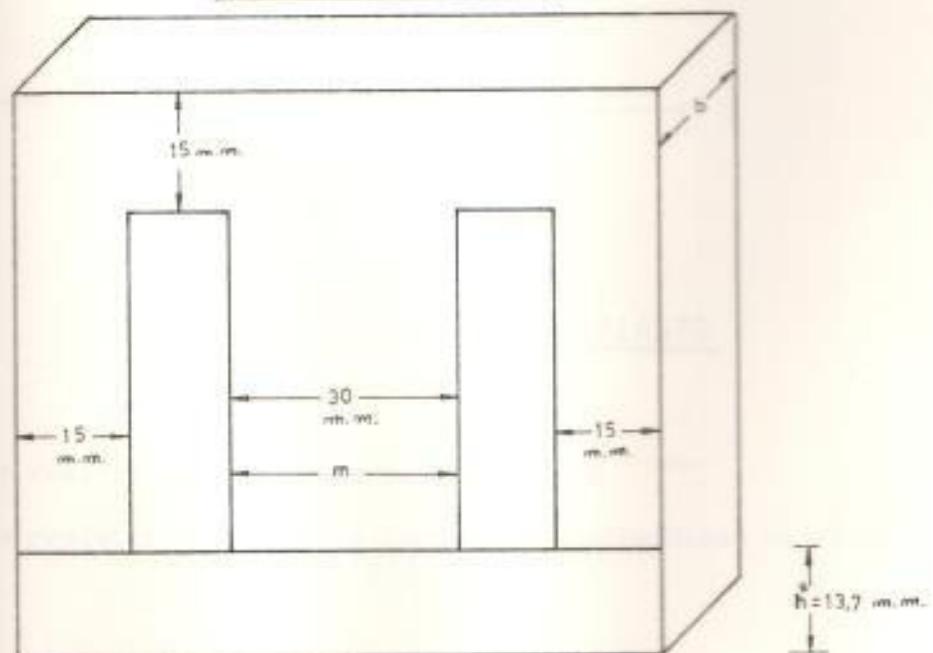
$$\begin{aligned} V_D^* &= 2 \cdot (3,0) \cdot (4,65) \cdot (1,25) \\ &= 34,87 \text{ ctm}^3. \end{aligned}$$

Esto también es igual a $(h^{**} \cdot b \cdot a)$

$$34,87 \text{ ctm}^3 = h^{**} \cdot 3,0 \text{ ctm} \cdot 8,5 \text{ ctm}$$

$$\text{Luego se tiene que } h^{**} = \frac{34,87 \text{ ctm}^3}{25,5 \text{ ctm}^2} = 1,37 \text{ ctm.}$$

(FIGURA # 5.1.1.3-d)



5.1.1.4. CALCULO DEL ENTREHIERRO PARA EL CIRCUITO MAGNETICO
=====

Con el fin de obtener un diseño lo más próximo al óptimo, se hace necesario reducir la inductancia en el reactor, para así obtener la relación de los voltiamperios reactivos respecto de los voltiamperios resistivos, según la siguiente ecuación.:

$$O_p = \frac{V.A. \text{ reactivos}}{V.A. \text{ resistivos}} \approx 1. \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.18}).$$

Por otro lado se tiene que para reducir la inductancia con corriente continua debido a una componente c.c., para así mejorar la permeabilidad para la C.A. la cual es una situación muy diferente a la del requerimiento de un buen óptimo (Op), se hace necesario la introducción de un entrehierro. En el diseño del balasto hay que considerar estas dos situaciones, es decir que hay un compromiso entre ellas.

El óptimo (Op) de un reactor se alcanza para la siguiente condición:

$$X = \sqrt{R_{cu} \cdot R_i} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.18'})$$

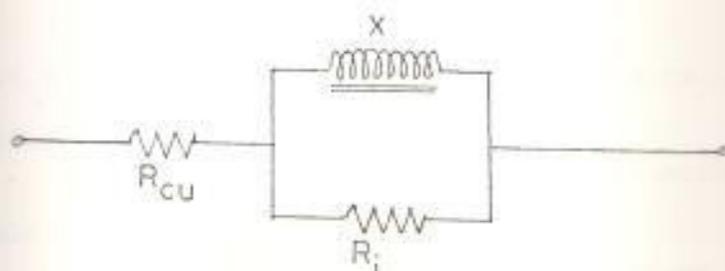


FIGURA # 5.1.1.4
CIRCUITO EQUIVALENTE DEL BALASTO

Donde R_{cu} = resistencia del cobre en el devanado

R_i = resistencia del metal ferromagnético(perdidas en el núcleo)

X = es la reactancia total del balasto en régimen normal de operación.

Un criterio aceptable es el que establece que la longitud del entrehierro (l_g) sea el 5% de la distancia más corta del área transversal para el circuito magnético (se refiere a la columna central de hierro donde se aloja la bobina).

De la figura # 5.1.1.3-d, la distancia más corta del área magnética o sección cruzada es la siguiente $a = 30\text{mm}$, por tanto la longitud del entrehierro adecuada para el balasto es la siguiente:

$$\begin{aligned}l_g &= 0,055 (30 \text{ mm}) && \text{(Ecuación \# 5.1.1.19).} \\ &= 1,65 \text{ mm.} \\ l_g &= 1,65 \text{ m.m.}\end{aligned}$$

El volumen desalojado por el entrehierro puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}V_g &= l_g \cdot m \cdot b && \text{(Ecuación \# 5.1.1.20).} \\ V_g &= 1,65 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm.} \\ &= 1485 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

La cual también puede ser expresada mediante la siguiente ecuación:

$$V_g = a \cdot b \cdot h^{***} \quad \text{(Ecuación \# 5.1.1.21).}$$

de donde

$$\begin{aligned}h^{***} &= \frac{V_g}{a \cdot b} = \frac{1485 \text{ mm}^3}{(8,5 \cdot 3) \text{ cm}^2} = 0,58 \text{ mm} \\ h^{***} &= 0,6 \text{ mm.}\end{aligned}$$

h^{***} es la distancia que tenemos que añadir a $13,7 \text{ mm} = h^{**}$ para recuperar el volumen desalojado por el entrehierro Ver la figura # 5.1.1.3.d.

Finalmente para las dimensiones definitivas del núcleo del balasto el valor apropiado para (X) puede ser determinado mediante la siguiente ecuación:

$$x'' = \frac{x' - (h'' + h''')}{2} + (h'' + h''')$$

(ECUACION # 5.1.1.22)

ENONCE

$$x' = 15 \text{ mm.}$$

$$h'' = 13,7 \text{ mm}$$

$$h''' = 0,6 \text{ mm}$$

POR TANTO

$$x'' = \frac{15 \text{ mm} - 14,3 \text{ mm}}{2} + 14,3$$

$$x'' = 14,6 \text{ mm}$$

El diseño del núcleo ferromagnético quedará fijado con las siguientes medidas:

$$a = 85 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

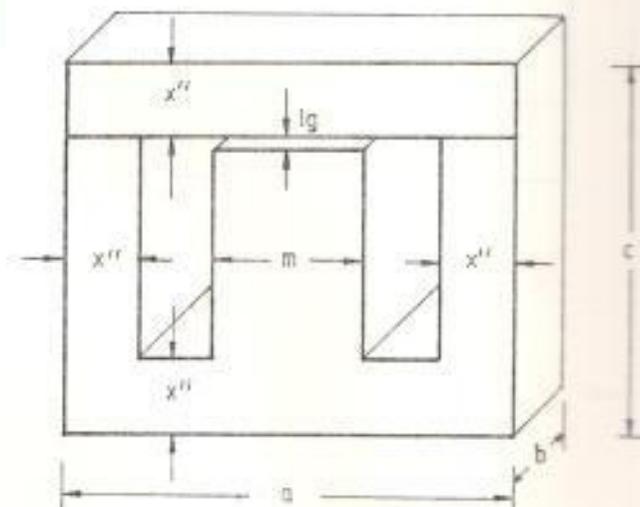
$$c = 75,6 \text{ mm}$$

$$x'' = 14,6 \text{ mm}$$

$$m = 30 \text{ mm}$$

$$lg = 1,65 \text{ mm}$$

En la figura # 5.1.1.3-e se indica el núcleo ferromagnético con sus dimensiones finales.



(FIGURA # 5.1.1.3.e)

DIMENSIONES FINALES DEL NUCLEO PARA EL BALASTO

3.2.1.5 EL FACTOR DE HACINAMIENTO O APILAMIENTO

=====

A causa de la deposición de óxido, o de otro aislante sobre el material de las chapas ferromagnéticas, rugosidad de estas, y de desigualdad en el estampado sobre las mismas (defectos del troquelado) se tiene que área o sección transversal magnéticamente útil del núcleo de chapas no llega nunca al 100% de la sección transversal geométrica..

La relación entre estas dos áreas es lo que se llama factor de hacinamiento.

En la siguiente tabla se indica el factor de hacinamiento (K) para algunos valores de espesor de la chapa magnética.

| FACTOR DE HACINAMIENTO (K) | |
|----------------------------|------------|
| ===== | |
| PARA CHAPAS DE BALASTOS | |
| ===== | |
| ESPESOR (m m) (t) | FACTOR (K) |
| CHAPA DE 0,60 m.m. | 0,960 |
| CHAPA DE 0,50 m.m. | 0,958 |
| CHAPA DE 0,48 m.m. | 0,940 |
| CHAPA DE 0,38 m.m. | 0,920 |
| CHAPA DE 0,15 m.m. | 0,830 |

En este diseño se utilizan chapas de espesor $t = 0,60$ mm, por tanto el factor de hacinamiento correspondiente es $k = 0,96$ (ver figura # 5.1.1.5)

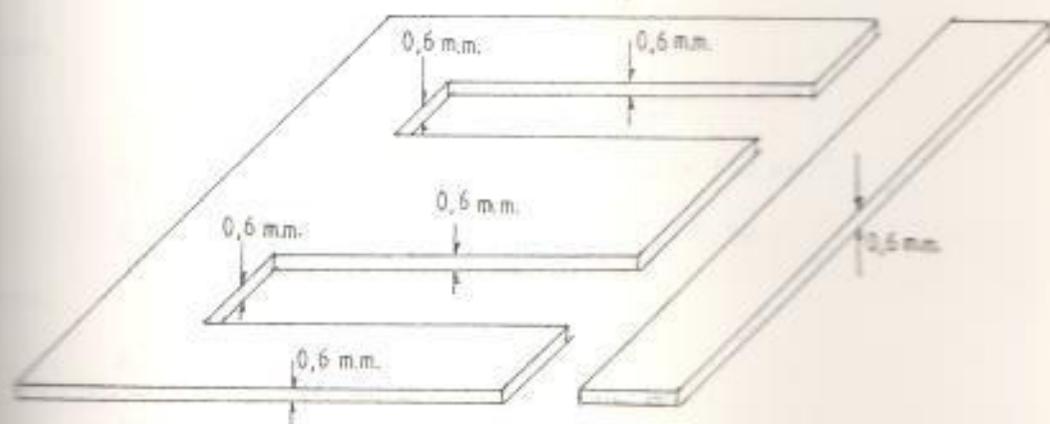


FIGURA # 5.1.1.5
ESPESOR DE LAS CHAPAS MAGNETICAS

5.1.1.5 DIMENSIONES DEL NUCLEO

El número de chapas magnéticas de $t = 0,60$ m.m. necesario para conformar el núcleo ferromagnético del balasto puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$N_{CH} = \frac{b}{t} \cdot k \quad \text{(Ecuación # 5.1.1.23)}$$

donde: N_{CH} = es el número de chapas

b = es el espesor del núcleo = 30 mm.

t = es el espesor de las chapas = 0.6 mm

k = es el factor de hacinamiento = 0,96

$$\frac{30\text{mm}}{0,6\text{ mm}} \times 0,96 = 48 \text{ chapas}$$

Después el núcleo estará conformado por 48 chapas en E y 48 chapas en I constituyendo una juntura a tope.

$$N_{ch} = 48$$

El área neta o efectiva del circuito magnético puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$A_N = A_B \cdot K \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.24})$$

donde:

A_N = es el área magnéticamente útil

A_B = es el área bruta ó geométrica = $(30 \text{ mm})^2$

K = es el factor de hacinamiento = 0,96

por tanto:

$$A_N = (30\text{mm})^2 \cdot 0,96 = 864 \text{ mm}^2$$

$$A_N = 864 \text{ mm}^2$$

El área efectiva del entrehierro puede ser calculada mediante la siguiente ecuación.

$$(A_g)_N = (m+lg)(n+lg) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.25})$$

donde

$(A_g)_N$ = es el área neta o efectiva del entrehierro

m = es el ancho del área geométrica = 30 mm

n = es la profundidad del área geométrica = 30 mm.

lg = es la longitud del entrehierro = 1,65 mm.

por tanto:

$$(A_g)_N = (30 + 1,65)(30 + 1,65) = 1001,7 \text{ mm}^2$$

$$(A_g)_N = 1001,7 \text{ mm}^2$$

La longitud efectiva del entrehierro puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$(lg)_N = \frac{A_B}{(Ag)_N} \times lg \quad \text{(Ecuación \# 5.1.1.26)}$$

donde:

$(lg)_N$ = es la longitud efectiva del entrehierro

A_B = es el área bruto del núcleo = $(30 \text{ mm})^2$

lg = es la longitud geométrica del entrehierro.

lg = 1,65 mm.

por tanto:

$$(lg)_N = \frac{(30 \text{ mm})^2}{1001,7 \text{ mm}^2} \times 1,65 \text{ mm.} = 1,48 \text{ mm.}$$

$$(lg)_N = 1,48 \text{ mm.}$$

La longitud media del circuito magnético en el hierro $(lm)_{fe}$ puede ser determinado de la geometría de la estructura del núcleo (ver figura # 5.1.1.6) de modo que la longitud total del circuito magnético incluyendo el entrehierro puede ser calculado mediante la siguiente ecuación.

$$l_M = (lm)_{fe} + (lg)_N \quad \text{(Ecuación \# 5.1.1.27)}$$

donde:

l_M = longitud media del circuito magnético total.

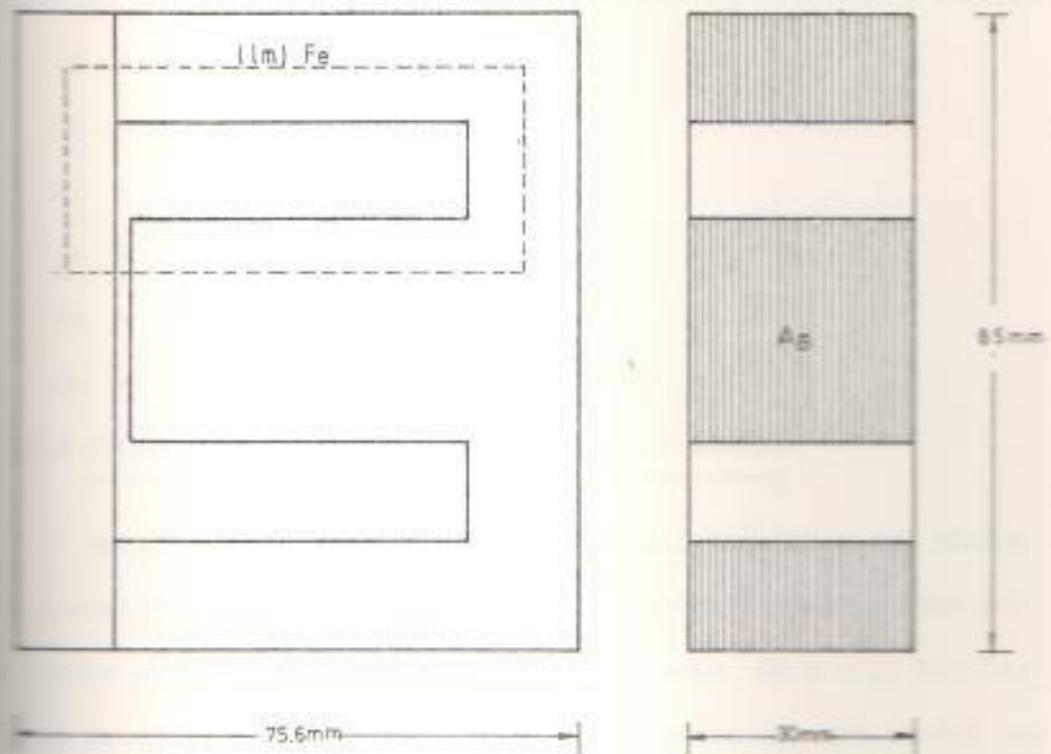
$(lm)_{fe}$ = longitud media en el hierro = 177,5 mm.

$(lg)_N$ = longitud efectiva del entrehierro = 1,48 mm.

por tanto:

$$l_M = (177,5 + 1,48) \text{ mm} = 179 \text{ mm.}$$

$$l_M = 179,0$$



LONGITUD MEDIA DEL CIRCUITO MAGNETICO

(FIGURA # 5.1.1.6)

FIGURA 5.1.1.7. CURVAS $\vec{B} - \vec{H}$ DEL METAL FERROMAGNETICO UTILIZADO

Esta curva relaciona la densidad del campo magnético \vec{B} respecto a la intensidad de campo magnético \vec{H} , y ha sido obtenida mediante ensayos por el método del aparato de Epstein (ver anexo B-1). El metal es de acero al silicio de grano orientado con un 2,3% de concentración, disponible en flejes de 0,6 mm de espesor (t).

Las dimensiones del núcleo ferromagnético, y de la bobina para el ensayo, han sido determinadas para una densidad de campo de 12.800

Otras curvas de utilidad para el diseño, son las curvas (\vec{B} Vs. \vec{H}) y (\vec{B} Vs. VA/Kg.), las cuales son indicadas conjuntamente con las curvas ($\vec{B} - \vec{H}$) en los anexos (B-7-2), (B-8), (B-9), y (B-10).

Para la facilidad del desarrollo de los cálculos necesarios en la determinación del tamaño de la bobina, se incluyen dichas curvas en las

siguientes páginas, de las cuales se obtienen los siguientes valores:

- B = 12.800 Gauss
- H = 500 Amp/mt.
- μ_r = 2.000 M.K.S.
- S_n = 16,0 V.A./Kg.
- P_n = 11,2 W/Kg.
- Q_n = 11,42 Var/Kg.

5.1.1.8 CALCULO DEL NUMERO DE ESPIRAS PARA LA BOBINA

Aplicando la ley de Ampere al circuito magnético del núcleo cuya longitud total media es L_M , y con los valores establecidos por las curvas anteriores para una densidad de campo de $B = 12.800$ Gauss se procede a determinar el número de espiras (N) que tendrá la bobina aproximadamente.

$$\oint H_L \cdot dl = NI \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.28})$$

Esta ley establece que la integral curvilínea de la intensidad de campo magnético a lo largo de un camino cerrado es igual a la suma de Amper-vueltas con los cuales este camino está concatenado - esto es:

$$N \cdot I_{\text{máx}} = H_f \cdot L_f + H_g \cdot (l_g)_N \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.30})$$

La máxima corriente se produce en el arranque o encendido de la lámpara, por tanto $I_{\text{max}} = I(\text{Arranque})$.

Para determinar el valor de H_g podemos considerar que el flujo magnético en el hierro y en el entrehierro son iguales, dado que la misma cantidad de líneas de flujo magnético pasan por ambos circuitos.

por tanto:

$$\beta_f = \beta_g \quad \text{Ver figura \# 5.1.1.8-a)}$$

La densidad del campo magnético en el fierro viene expresado mediante la siguiente ecuación:

$$B_f = \mu_r \cdot H_f = \frac{\phi_f}{AN} \quad (\text{ECUACION \# 5'1'1'31})$$

de donde $\phi_f = AN \cdot B_f$

$$= (864 \text{ mm}^2) (12800 \times 10^{-4} \frac{\text{Weber}}{\text{mt}^2})$$

$$= (8,64 \times 10^{-4} \text{ mt}^2) (1,28 \frac{\text{Weber}}{\text{mt}^2})$$

$$= 1,105 \times 10^{-3} \text{ Webers}$$

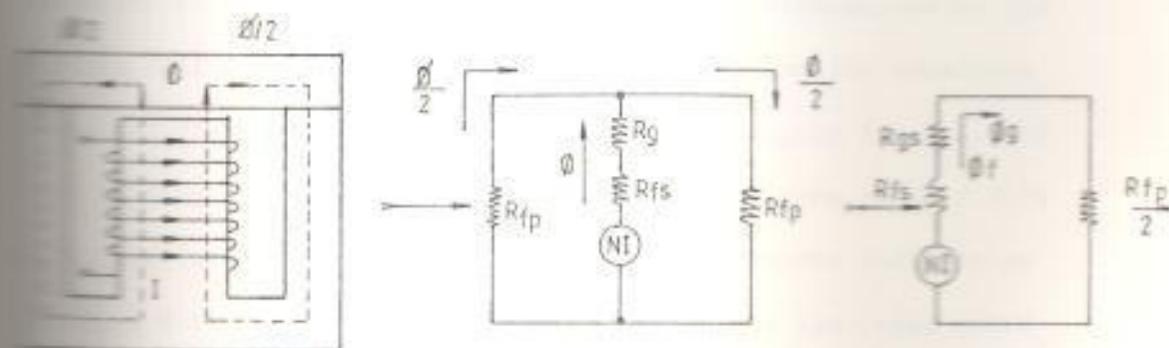
De las consideraciones anteriores se establece que el flujo magnético en el entrehierro es el siguiente:

$$\phi_g = 1,105 \times 10^{-3} \text{ weber}$$

Por otro lado tenemos que $H_g = \frac{B_g}{\mu_0} = \frac{\phi_g}{\mu_0(A_g)N}$

esto es $H_g = \frac{1,105 \times 10^{-3} \text{ weber}}{(4\pi \times 10^{-7})(1001 \text{ mm}^2)} = 0,878 \times 10^5 \frac{\text{Weber}}{\text{mt}^2}$

$$H_g = 878.000 \frac{\text{Weber}}{\text{mt}^2}$$



(FIGURA # 5.1.1.8. a)

DEMOSTRACION GRAFICA PARA $\phi_f = \phi_g$

En la figura # 5.1.1.8a. se indica una demostración grafica para

$\phi_f = \phi_g$ a partir del circuito magnético.

Φ = Flujo magnético

R_{Fe} = Reluctancia serie del hierro

$R_{Fe\parallel}$ = Reluctancia paralelo del hierro

R_{Al} = Reluctancia serie del entrehierro.

Reemplazando los valores correspondientes en la (ecuación # 5.1.1.8.a) se tiene lo siguiente:

$$N (1,85 \text{ Amp}) = (520 \frac{\text{Amp} \cdot \text{Esp}}{\text{MT}}) (177,5 \times 10^{-3} \text{ mt}) + (878 \times 10^3 \frac{\text{Amp} \cdot \text{Esp}}{\text{mt}}) (1,48 \times 10^{-3} \text{ mt})$$

de donde tenemos lo siguiente:

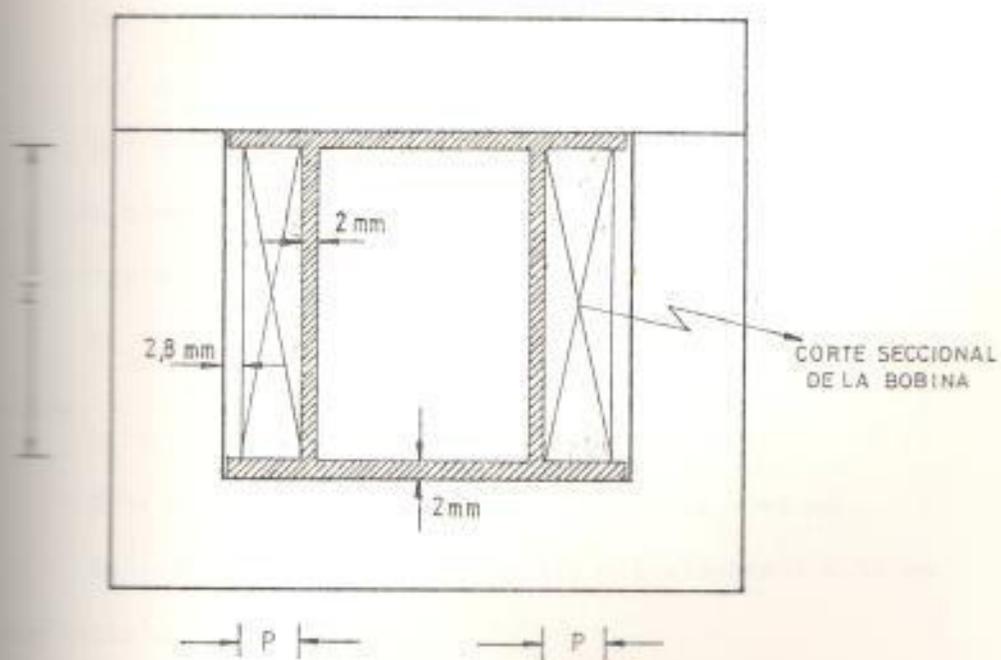
$$N = \frac{92,3 \text{ Amp} \cdot \text{Esp.} + 1.299 \text{ Amp} \cdot \text{Esp.}}{1,85 \text{ Amp.}} = 750$$

$N = 750$ espiras.

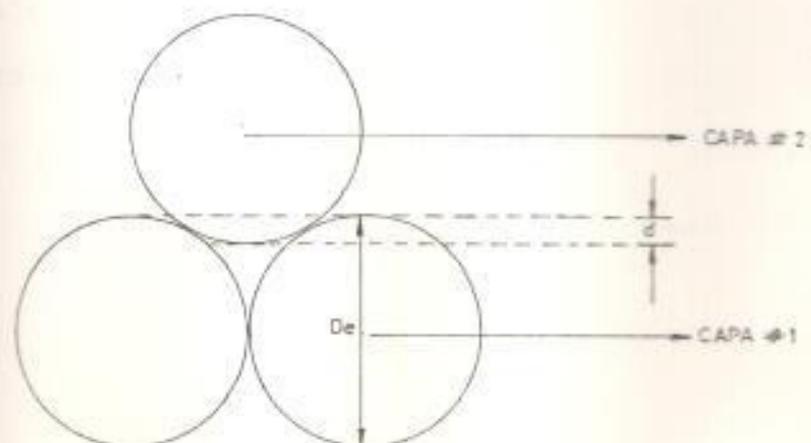
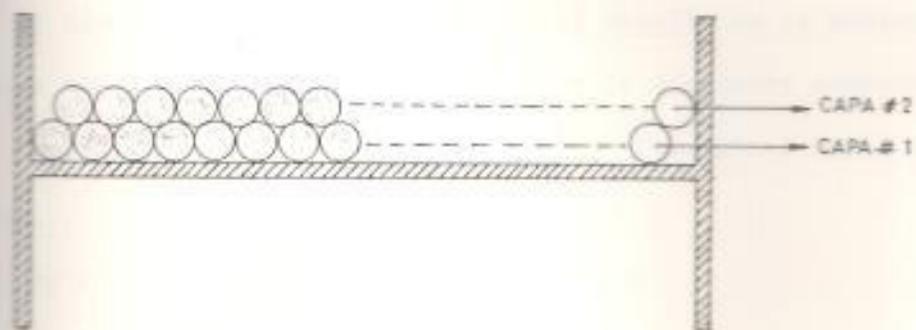
El número del alambre a utilizar en el diseño se lo determinó convenientemente, y es de cobre esmaltado # 22.

El carrete para la bobina tendrá un espesor máximo de 2 m.m. que tiene que considerar un espacio mínimo de 2,8 m.m. entre la última capa del devanado y la superficie de las ventanas. Podemos determinar el número de espiras a partir de las dimensiones de las ventanas, del diámetro del alambre esmaltado, y con las consideraciones del diseño expuestas anteriormente (Ver figura # 5.1.1.8.b)

El diámetro del alambre # 22 de cobre esmaltado es de = 0,74 mm. al realizar el devanado de la bobina de la manera indicada en la figura # 5.1.1.8.c) se tiene que el espesor de las capas subsiguientes a la primera se reducen en un factor $E = (1-T) = 0,87$ (Ver figura # 5.1.1.8.c).



(FIGURA # 5.1.1.8.b)



(FIGURA # 5.1.1.8.c)

$$T = \frac{d}{De} = \frac{4 \text{ m.m.}}{30 \text{ m.m.}} = 0,13$$

Por lo tanto, el espesor real de las capas en el devanado es de:

$$De^* = De (1 - T) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.32}).$$

$$De^* = (0,74 \text{ m.m.})(0,87) = 0,643 \text{ m.m.}$$

$$De^* = 0,643 \text{ mm.}$$

El número de espiras por capa (n_e) puede ser determinado del modo siguiente:

$$n_e = \frac{Z}{De} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.33}).$$

donde:

n_e = es el número de espiras por capa

Z = es la longitud interna del carrete = 43 mm.

De = es el diámetro con esmalte del alambre = 0,74 mm

Por tanto se tiene que:

$$n_e = (43 \text{ mm}) / (0,74 \text{ mm}) = 58$$

$$n_e = 58 \text{ espiras/ capa.}$$

El número de capas disponibles en la sección de la bobina es $n_k = (P/De^*)$, y puede ser determinado por la siguiente ecuación:

$$n_k = P/De^* \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.34}).$$

donde:

n_k = es el número de capas de la bobina

P = es el espesor total de la bobina

De^* = es el espesor real de cada capa

Por tanto tenemos que:

$$n_x = (8,5 \text{ mm}) / (0,64) = 13 \text{ capas}$$

$$n_e = 13 \text{ capas}$$

El número total de espiras (N) de la bobina puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$N = n_x \cdot n_e \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.35})$$

donde:

N = es el número total de espiras para la bobina

n_x = es el número total de capas de la bobina = 13

n_e = es el número de espiras por capa de la bobina = 58

Por tanto:

$$N = 13 \times 58 = 754 \text{ espiras}$$

$$N = 754 \text{ espiras.}$$

5.1.1.9 CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL BALASTO

Los parámetros de un balasto básicamente corresponden a R_{cu} , X_L y X_C . Estos valores sufren cambios durante el período de encendido y hasta que se estabilice la temperatura en el sistema.

La resistencia del conductor de la bobina varía con la temperatura, cosa igual sucede pero en menor grado con la resistencia del hierro en el núcleo; la reactancia inductiva es función de la frecuencia del sistema.

La resistencia del alambre a la c.c. puede ser determinada a partir de la forma geométrica de la bobina y su carrete, y mediante la siguiente ecuación.

$$R_{cu} = \frac{\rho_{cu} \times l}{A} \quad \text{para } 20^\circ \text{ C} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.36})$$

donde:

R_{cu} = es la resistencia del hilo de cobre a la c.c.

ρ_{cu} = es la resistividad del cobre = $1,72 \times 10^{-8}$ ohm - mt.

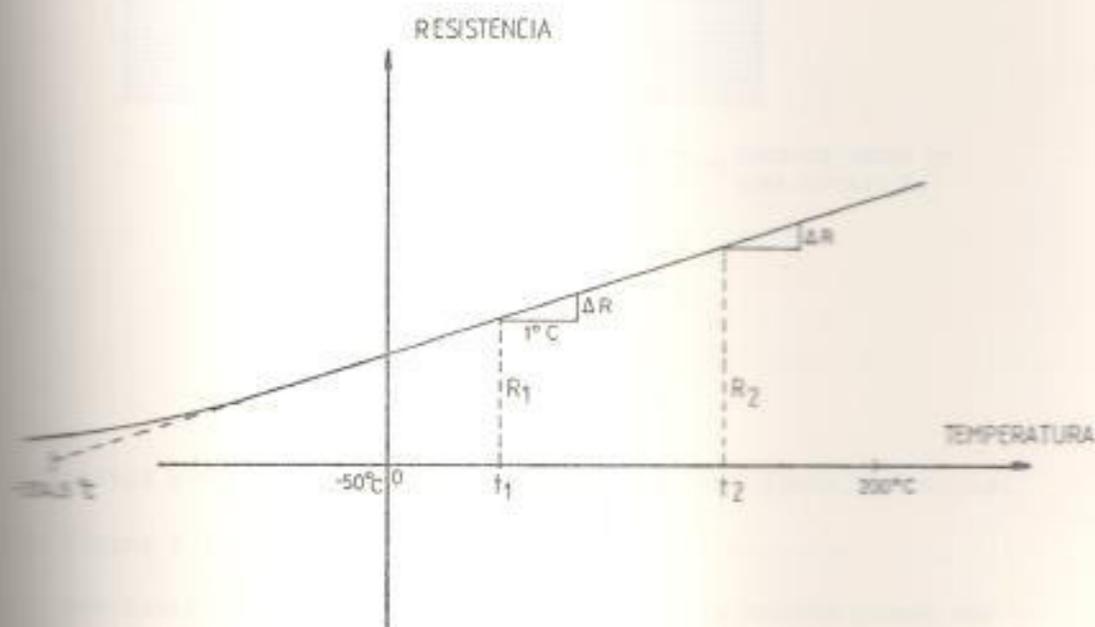
(\bar{l}) = longitud media del conductor de la bobina

(A) = Area de SECCION TRANSVERSAL del conductor = $\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$

$$= \pi \cdot \left(\frac{0,70}{2}\right)^2 = 0,384 \text{ mm}^2$$

$$= 0,384 \times 10^{-6} \text{ mt}^2$$

La fórmula # 5.1.1.36 determina la resistencia del cobre a la temperatura ambiente. La resistividad de un metal puro aumenta al aumentar la temperatura, en la figura # 5.1.1.9-a se indica la relación entre la resistencia y la temperatura de una muestra normal de cobre recocido.



(FIGURA # 5.1.1.9. a)

$\alpha_{t_1} = \frac{\Delta R}{R_1}$ coeficiente de temperatura de la resistencia a t_1 .

$\alpha_{t_2} = \frac{\Delta R}{R_2}$ Coeficiente de temperatura de la resistencia a t_2 .

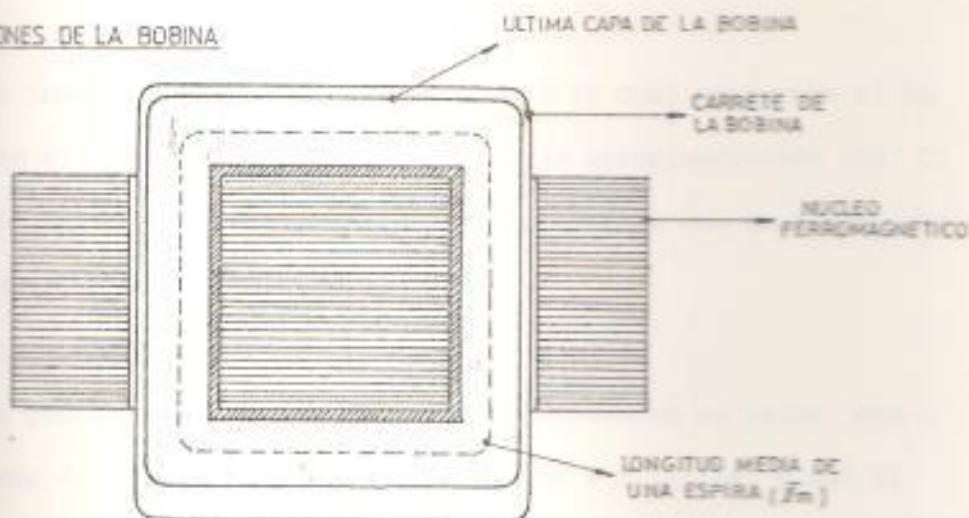
$$\alpha_i = \frac{R_2 - R_1}{(t_2 - t_1)R_1} \quad \text{(ECUACION # 5.1.1.37)}$$

se deduce la siguiente ecuación:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_t(t_2 - t_1)] \quad (\text{ECUACION \# 5.1.1.38})$$

El margen comprendido entre - 50°C y 200°C es casi una línea recta. Si se supone que es así, el incremento de resistencia ΔR correspondiente a un grado centigrado de temperatura para la resistencia es $0,427 \Omega$, lo cual indica que la resistencia en una bobina aumenta casi en un 0,4% por °C pasando de los 20°C.

DIMENSIONES DE LA BOBINA



(FIGURA # 5.1.1.9.b)

LONGITUD MEDIA DE UNA ESPIRA

La longitud media de una espira es $\bar{l}_m = 168 \text{ mm}$ aproximadamente.

(Ver figura # 5.1.1.9-b)

Por tanto la longitud promedio total de la bobina puede ser determinada mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{l} = N \cdot \bar{l}_m \quad (\text{ECUACION \# 5.1.1.39}).$$

Reemplazando Valores se tiene lo siguiente:

$$\bar{l} = (750)(168 \text{ mm}) = 126000 \text{ mm}$$

$$= 126 \text{ metros.}$$

Refiriéndonos a la ecuación 5.1.1.36 y reemplazando los valores correspondientes, se tiene que la resistencia del hilo de cobre que conforma la bobina del balasto a una temperatura ambiente de 20° C es la siguiente:

$$R_{Cu} = (1,72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{mt}) \cdot \frac{126 \text{mt}}{0,384 \times 10^{-6} \text{mt}^2}$$

$$R_{Cu} = 5,64 \Omega \text{ a } 20^\circ \text{C.}$$

La temperatura normal de operación a la cual se somete el balasto en el aparato de la luminaria, es de aproximadamente 105° C.

Por tanto el ΔT ó incremento de temperatura que se tiene para el balasto es de $105^\circ \text{C} - 20^\circ \text{C} = 85^\circ \text{C}$.

$$\Delta T = 85^\circ \text{C.}$$

La resistencia aumenta por efecto térmico en un valor que puede ser determinado mediante la ecuación # 5.1.1.38, y así el valor de la resistencia en la bobina para el estado normal de operación a 105° C es la siguiente:

$$R'_{Cu} = R_{Cu} + \alpha t_1 \cdot R_{Cu} \Delta t. \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.40})$$

$$= 5,64 \Omega + 0,004 (5,64 \Omega) 85^\circ \text{C.}$$

$$R'_{Cu} = 7,55 \Omega \text{ a } 105^\circ \text{C.}$$

De la ecuación # 5.1.1.8, se puede determinar el valor R'_f reemplazando el valor de R'_{Cu} por el de R_{Cu} es decir para el valor de la resistencia del cobre a la temperatura de 105° C.

$$R'_{Cu} = 24,7 \Omega - R'_f$$

de donde

$$R'_f = 24,7 \Omega - 7,55 \Omega = 17,15 \Omega$$

$$R'_f = 17,15 \Omega$$

Con un factor de potencia de 0,70 para el sistema balasto - lámpara, y con las características eléctricas de la lámpara, puede determinarse el valor aproximado de la caída de tensión en el balasto (Ver ecuación # 5.1.1.3)

Ecuación # 5.1.1.3).

Tipo de lámpara = Vapor-merc. 125 Vatios

Tensión normal = 130 Voltios

Frecuencia = 60 Hz

Potencia nominal = 125 Vatios.

Para una tensión de la red de 220 Voltios se tiene que la caída de tensión en los terminales del balasto U_B , viene calculada mediante la siguiente ecuación:

$$U_B = 220 \sqrt{p} - 130 \angle 0^\circ \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.41})$$

$$p = \cos^{-1}(0,70) = 45,5^\circ$$

$$U_B = 220 \cos 45,5^\circ + 220 \operatorname{Sen} 45,5^\circ - 130 \angle 0^\circ \\ = (154,19 - 130 \angle 0^\circ) \text{ Voltios} + j 156,9 \text{ Voltios}$$

$$U_B = 24,19 + j 156,9 = 158,7 \angle 80,9^\circ \text{ Voltios.}$$

La tensión en los terminales del balasto (U_B) puede ser expresado en forma general en la suma de sus dos componentes:

$$U_B = U_{RS} + j U_L \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.42})$$

$$U_{RS} = (I_L) (R + R_f) = 24,19 \text{ Voltios}$$

$$U_L = I_L \cdot X_T = 156,9 \text{ Voltios}$$

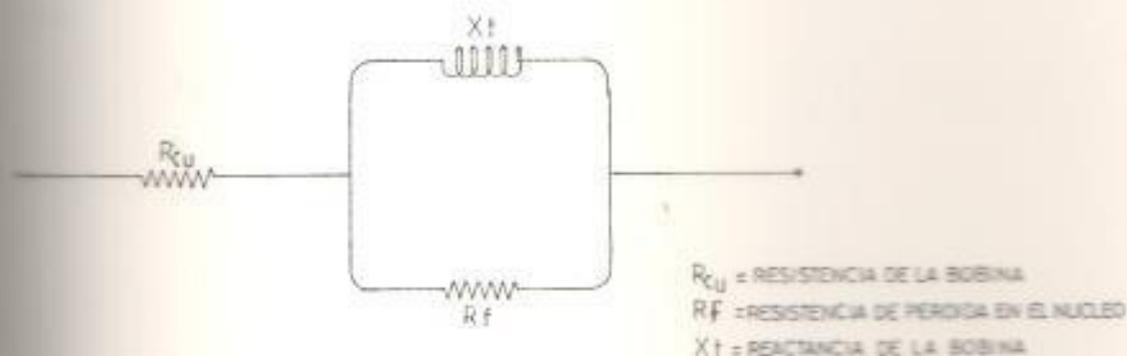
Por tanto la reactancia total X_T del balasto puede ser determinada mediante la siguiente ecuación:

$$X_T = \frac{U_L}{I_L} = \frac{156,9 \text{ Voltios}}{0,97 \text{ Amp.}} = 161,7 \Omega$$

$$X_T = 161,7 \Omega$$

En el estado estable para cuando el balasto se alcanzó la temperatura de 105°C , y se han estabilizado los valores para corriente.

En este caso, y POTENCIA, los PARAMETROS del mismo tendran Valores fijos y el circuito equivalente del BALASTO es el siguiente:



(FIGURA # 5.1.1.9.c)

5.1.1.10 CIRCUITO EQUIVALENTE SIMPLIFICADO DEL BALASTO

Los parámetros determinados para el Balasto en régimen normal de operación y a 105°C son los siguientes:

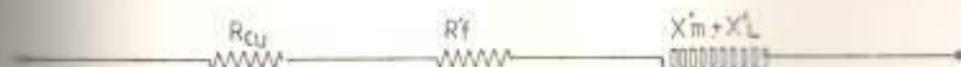
$$\left. \begin{aligned} R_{cu} &= 7,55 \Omega \\ R_f' &= 17,15 \Omega \\ X_t' &= 161,7 \Omega \end{aligned} \right\} \text{ a } 105^\circ\text{C.}$$

La reactancia TOTAL comprende a su vez la de magnetización que es la que impulsa el flujo magnético. y la reactancia inductiva $(X_m' + X_L')$

POR TANTO

$$X_T = X_m' + X_L'$$

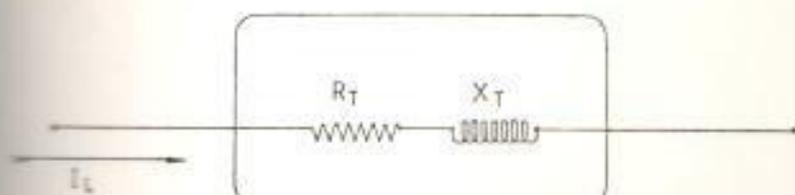
$$X_T = x'm + 2 \pi f L \quad \text{(ECUACION # 5.1.1.43)}$$



Un circuito equivalente simplificado para el balasto puede ser obtenido combinando los parámetros, y simplificando el circuito ante

$$R_T = R_{c\omega} + R_f = 24.6 \Omega$$

$$X_T = X_m + X_L = 161.7 \Omega$$



(FIGURA # 5.1.1.10. a)

CIRCUITO EQUIVALENTE SIMPLIFICADO DEL BALASTO

La inductancia del BALASTO cuyo circuito magnético tiene un en-
ferro puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$L = \frac{4\pi N^2 AK \mu_{avg} \times 10^{-9}}{L_M} \text{ HENRRIOS (ECUACION # 5.1.1.44)}$$

N = es el número de espiras de la bobina = 750

AK = es el área efectiva ó NETA de la sección del CIRCUITO
MAGNETICO y es $A_M = 864 \text{ mm}^2$

μ_{AVE} = es la permeabilidad media del núcleo cuyo valor viene
dado por la siguiente ecuación:

$$\mu_{AVE} = \frac{\mu_{ca}}{1 + \frac{(l_g)N}{L_M} \mu_{ca}} \text{ (ECUACION # 5.1.1.45)}$$

$$\mu_{AVE} = \frac{2000}{1 + \frac{1.48}{179.0} 2000} = 114.04$$

l_m = es la longitud media total del circuito magnético

= 179 mm.

Por tanto

$$L = \frac{4\pi (750)^2 (864 \times 10^{-6} \text{ mt}^2) (114,04) \times 10^{-9}}{179 \times 10^{-3} \text{ mt.}} \text{ Henryrios}$$

$$L = 3,89 \text{ mH auto inductancia.}$$

La reactancia inductiva puede ser determinada mediante la siguiente

ecuación:

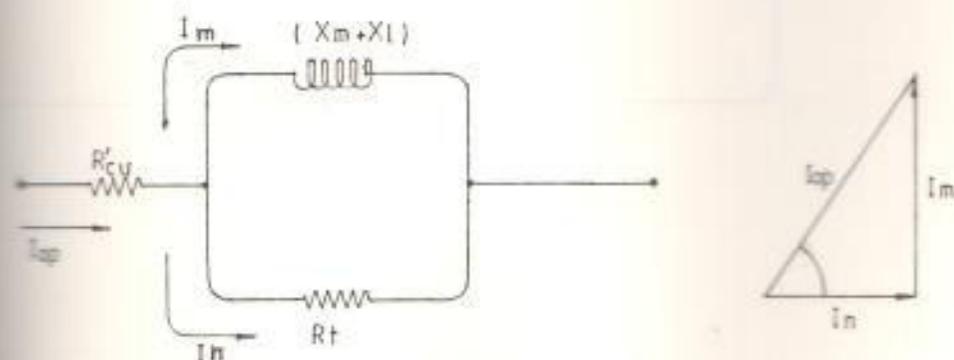
$$\begin{aligned} X'_L &= 2\pi fL = 2\pi (60\text{Hz})(0,389 \times 10^{-2}\text{H}) \\ &= j (1,466) \Omega \end{aligned}$$

$$X'_L = j 1,46 \Omega$$

De la ecuación # 5.1.1.43 determinamos el valor de X'_m

$$\begin{aligned} X'_m &= X_T - X'_L \\ &= j 161,6 \Omega - j 1,46 \Omega \\ &= j 160,24 \Omega \\ X'_m &= j 160,24 \Omega \end{aligned}$$

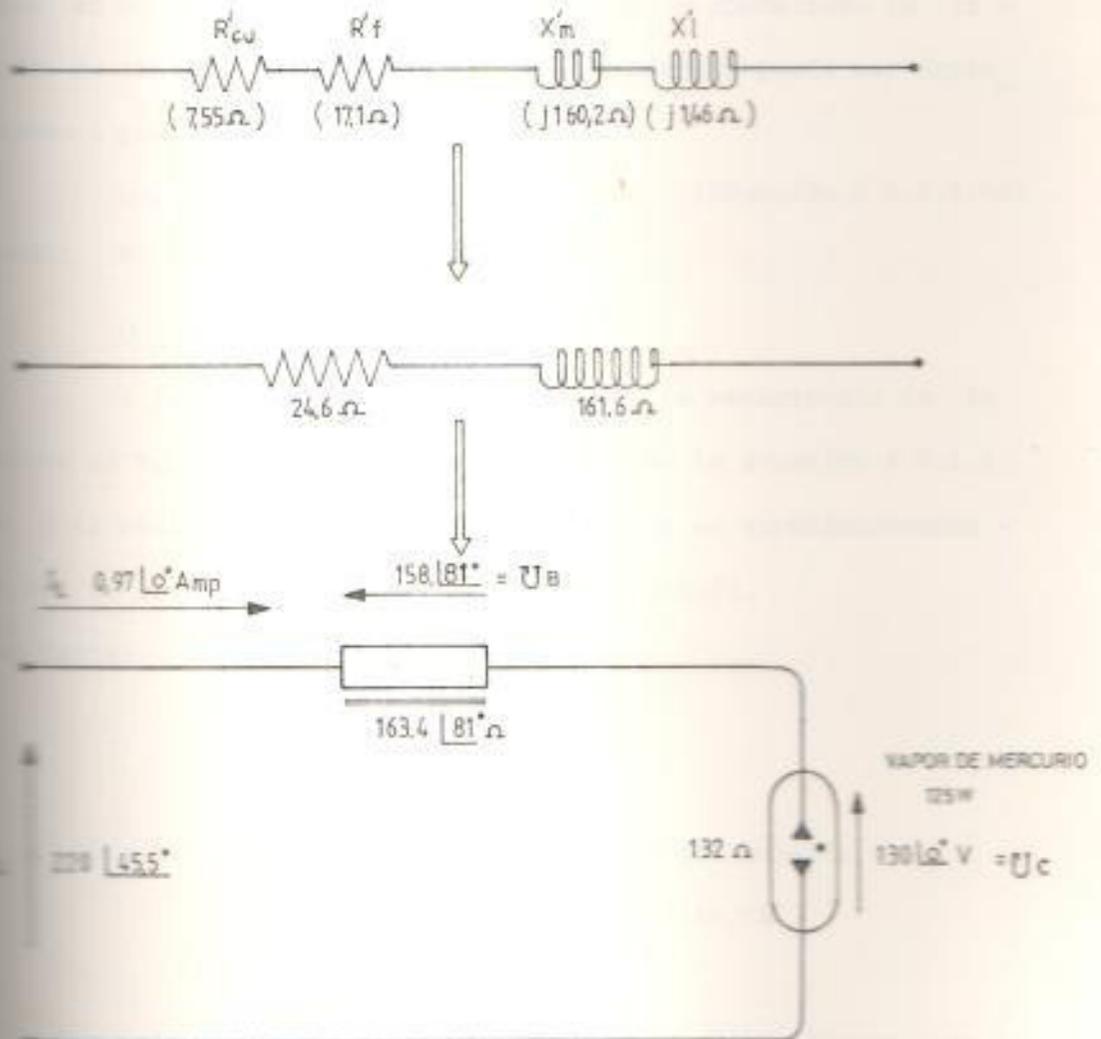
y el circuito equivalente es como sigue:



(FIGURA # 5.1.1.10. D)

CIRCUITO EQUIVALENTE DEL BALASTO

Reduciendo ó simplificando el circuito anterior tenemos que el circuito EQUIVALENTE SIMPLIFICADO es el siguiente:



(FIGURA # 5.1.1.10.e)

ESQUEMA ELECTRICO PARA EL SISTEMA BALASTO-LAMPARA OPERANDO EN

REZIMO ESTABLE CON 105°C DE TEMPERATURA EN LA BOBINA DEL BALASTO

5.1.1.11 DIAGRAMA FASORIAL PARA LAS CONDICIONES DE ARRANQUE Y DE
 ESTADO ESTABLE

En la condición de arranque ó de encendido de la lámpara esta es un virtual cortocircuito, y el valor aproximado de la caída de tensión en las terminales de la lámpara puede ser determinado a partir de la siguiente ecuación.

$$U_{c0} = I (\text{arranque}) \cdot R_c \quad (\text{Ecuación \# 5.1.1.46})$$

$$\text{donde: } R_c = \frac{0,25 (125w)}{I (\text{arr})} = \frac{0,25 (125w)}{1,58 \text{ Amp.}}$$

$$U_{c0} = 19 \text{ Voltios.}$$

A la temperatura ambiente de 20°C la resistencia de la lámpara es $R_{cu} = 5,64 \Omega$ como se determinó según la ecuación # 5.1.1.10, y la resistencia de pérdida en el núcleo es aproximadamente el 50% de la total del balasto (ver anexo D-1-2).

$$\text{por tanto: } 5,64 \longrightarrow 40\%$$

$$R_{f0} \longrightarrow 60\%$$

$$R_{f0} = \frac{5,64 \times 0,6}{0,4} = 8,46$$

La caída de tensión en la parte resistiva del balasto es:

$$I(\text{arra})(R_f + R_{cu}) = (1,85 \text{ amp})(14,1 \Omega)$$

$$U_{rc} = 26 \text{ voltios.}$$

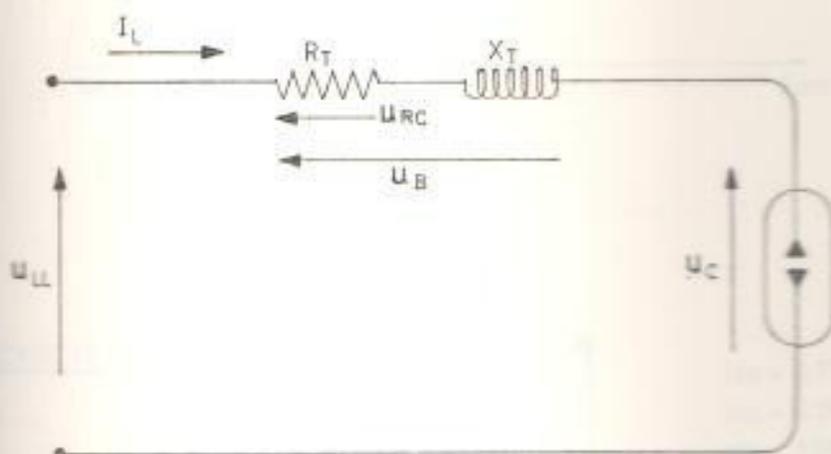
Los valores para las caídas de tensión con la lámpara y en el balasto, y con la tensión aplicada en los terminales del sistema (balasto-lámpara) pueden ser representados en un diagrama fasorial tal como se indica a continuación (ver figura # 5.1.1.11-b)

EN EL ARRANQUE

* Voltaje en los terminales de la lámpara = 19 Voltios (U_{c0})

* Voltaje en los terminales del balasto = $U_B = 217,5 \text{ Volt.}$

- * VOLTAJE EN LA PARTE RESISTIVA $U_{rc} = 26$ VOLTIOS
- * CORRIENTE DE ARRANQUE $I_{ARR.} = 1,85$ Amp.
- EN ESTADO ESTABLE
=====
- * VOLTAJE DE LA RED = 220 VOLTIOS (U_{LL})
- * VOLTAJE EN LOS TERMINALES DE LA LAMPARA = 130 VOLTIOS (U_c)
- * VOLTAJE EN LOS TERMINALES DEL BALASTO = 138 VOLTIOS (U_B)
- * VOLTAJE EN LA PARTE RESISTIVA = 24 VOLTIOS (U_{rc})
- * CORRIENTE NOMINAL DE OPERACION = 0,97 AMPERIOS (I_{op})

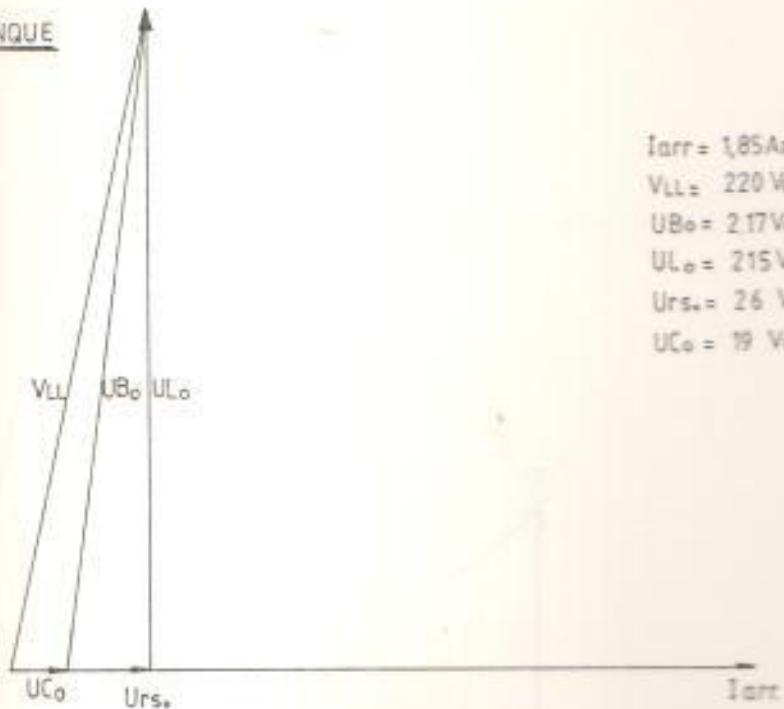


(FIGURA # 5.1.1. 11. a)

CIRCUITO SIMPLIFICADO DEL SISTEMA

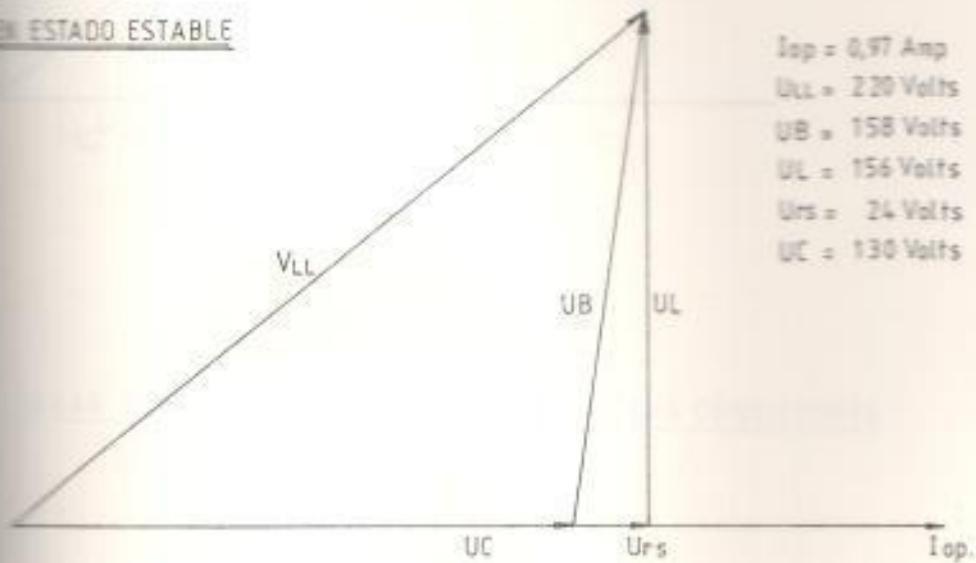
En el tiempo que toma la lámpara en llegar al estado estable (aproximadamente 4 minutos) los valores de tensión tanto para la lámpara y el BALASTO Varian progresivamente de acuerdo a los cambios de corriente en el sistema, pero la tensión en la entrada (tensión de red) se mantiene en 220 Voltios y el lugar geométrico descrito por el vector tensión de línea se indica en la figura # 5.1.1.12.

EN EL ARRANQUE



$I_{arr} = 1,85 \text{ Amp.}$
 $V_{LL} = 220 \text{ Volts}$
 $U_{B0} = 217 \text{ Volts}$
 $U_{L0} = 215 \text{ Volts}$
 $U_{rs} = 26 \text{ Volts}$
 $U_{C0} = 19 \text{ Volts}$

EN ESTADO ESTABLE



$I_{op} = 0,97 \text{ Amp}$
 $U_{Ls} = 220 \text{ Volts}$
 $U_B = 158 \text{ Volts}$
 $U_L = 156 \text{ Volts}$
 $U_{rs} = 24 \text{ Volts}$
 $U_C = 130 \text{ Volts}$

(FIGURA # 5.1.1.11b)

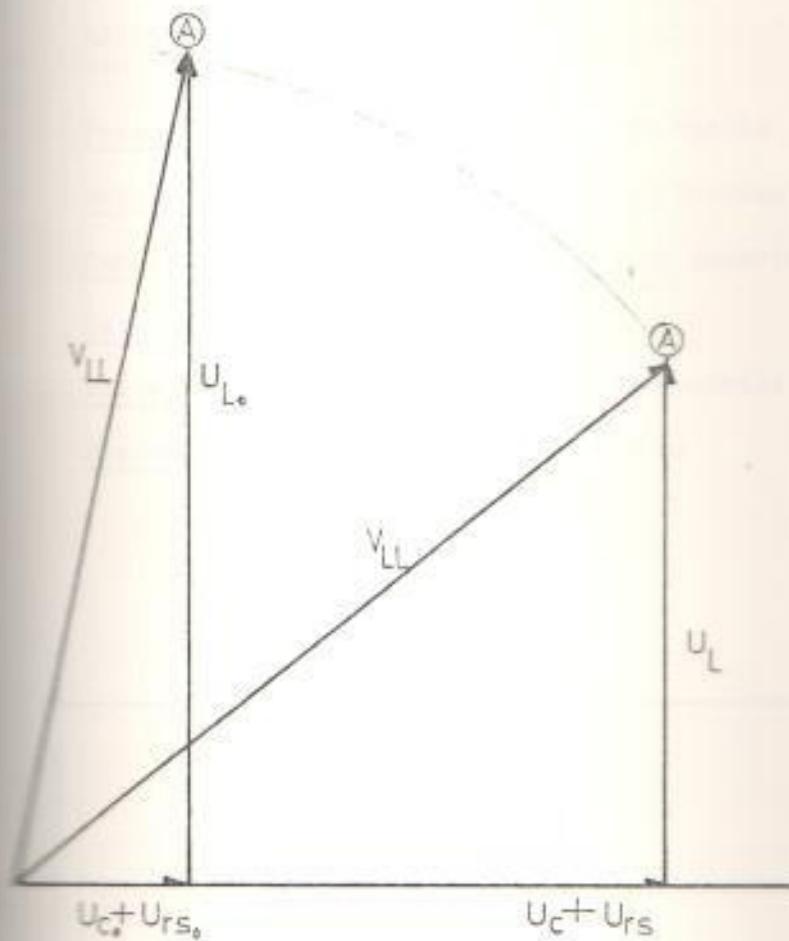


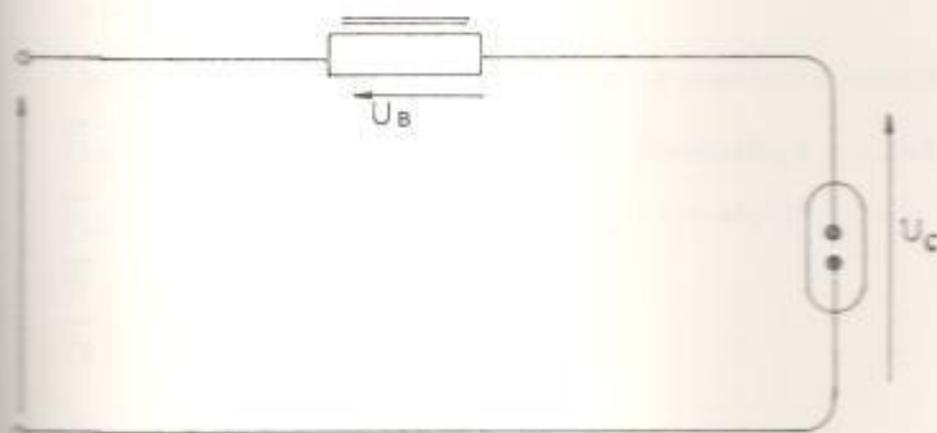
FIGURA # 5-1-1-12

LUGAR GEOMETRICO DEL PUNTO (A) ENTRE LAS CONDICIONES
DE ARRANQUE Y DE ESTADO ESTABLE

5.1.2 DISEÑO DE UN BALASTO PARA ENERGIZAR UNA LAMPARA DE DESCARGA
EN VAPOR DE MERCURIO (175 VATIOS)

DATOS DE LA LAMPARA

| | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| <u>Potencia nominal</u> | 175 Vatios (P_L) |
| <u>Voltaje de operación normal</u> | 135 Voltios (U_c) |
| <u>Corriente de operación normal</u> | 1,36 Amperios(I_{op}) |
| <u>Datos de la red eléctrica</u> | |
| <u>Voltaje de la línea</u> | 220 voltios (V_{LL}) |
| <u>Frecuencia de la red</u> | 60 Hz (f) |



(FIGURA # 5.1.2)
DIAGRAMA DE CONEXION PARA
EL SISTEMA BALASTO LAMPARA

5.1.2.1) CORRIENTE DE OPERACION

$$I_{op} = \frac{1,2 (P_L)}{V_{LL} \text{ f.p.}} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.1})$$

$$I_{op} = \frac{1,2 (175 \text{ vatios})}{(220 \text{ voltios})(0,70)} = 1,36 \text{ amperios}$$

$$I_{op} = 1,36 \text{ amp.}$$

5.1.2.2) CORRIENTE DE ARRANQUE

$$I(\text{arr}) = 1,9 \cdot I(\text{operación}) \quad (\text{ver anexo A-1})$$

$$= 1,9 \cdot (1,36 \text{ Amp})$$

$$= 2,58 \text{ Amperios}$$

$$I(\text{arr}) = 2,58 \text{ Amp.}$$

5.1.2.3) TENSION EN TERMINALES DE BALASTO

De la figura # 5.1.2. determinamos la siguiente ecuación:

$$\vec{V}_{LL} = \vec{U}_B + \vec{U}_c \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.2})$$

$$\vec{V}_{LL} = 220 \angle \beta \quad \beta = \text{Arc cos}(0,70) = 45,75^\circ$$

$$\vec{U}_c = 135 \angle 0^\circ \quad \beta = 45,5^\circ$$

$$\vec{U}_B = \vec{V}_{LL} - \vec{U}_c$$

$$= 220 \angle 45,5^\circ - 135 \angle 0^\circ$$

$$= 220 \cos 45,5^\circ + j 220 \sin 45,5^\circ - 135$$

$$= 154,19 \text{ voltios} + j 156,9 \text{ voltios} - 135 \text{ voltios}$$

$$= 19,19 \text{ voltios} + j 156,9 \text{ voltios}$$

$$= U_{rc} + j U_L \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.3.})$$

$$U_{rc} = 19,19 \text{ voltios}$$

$$U_L = 156,9 \text{ voltios}$$

5.1.2.4) RESISTENCIA TOTAL DEL BALASTO (R_T)

=====

DE LAS ECUACIONES (5.1.2.1.) y (5.1.2.3.) Determinamos la

R_T :

$$R_T = \frac{U_{rc}}{I_{op}} = \frac{19,19 \text{ VOLTIOS}}{1,36 \text{ Amperios}} = 14,11 \Omega \quad (\text{ECUACION \# 5.1.2.4.})$$

$$= (R_{cu} + R_f) = 14,11 \Omega$$

ONDE:

R_{cu} = resistencia del devanado de cobre

R_f = resistencia del NUCLEO de HIERRO

RESISTENCIA DEL DEVANADO DE COBRE A POTENCIA NOMINAL DE LA LAMPARA

$$R_{cu} = R_T - \frac{P_f}{I_{op}^2} \quad (\text{ECUACION \# 5.1.2.5})$$

$$= 14,11 \Omega - \frac{P_f}{(1,36 \text{ Amp})^2}$$

ONDE P_f = PERDIDA de POTENCIA EN EL NUCLEO ferromagnético, la cual está constituida a su vez por P_H y P_e , y expresada mediante la siguiente ecuación:

$$P_f = P_H + P_e \quad (\text{ECUACION \# 5.1.2.6})$$

ONDE

P_H = es la pérdida de potencia por HISTERISIS

P_e = es la pérdida de potencia por corriente parásitas

Ver ANEXOS (D-1-2), y ANEXO (B-3)

La pérdida de POTENCIA por corrientes parásitas en VATIOS por metro cúbico (W/mt^3) viene expresada por siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{\pi^2 B_m^2 f^2 t^2}{6 \rho (\text{METAL})} \quad (\text{ECUACION \# 5.1.2.7})$$

donde:

B_m = es la densidad de flujo magnético máxima para el circuito magnético, y es igual a 1,28 Weber/m².

f = frecuencia de la red = 60 Hz.

t = Espesor de las chapas metálicas = 0,60 mm.

$\rho_{0.60}$ = Resistividad del acero al silicio = 18×10^{-8} mt³ expresada en ohmios por mt³.

Reemplazando valores en la ecuación # 5.1.2.7. se tiene lo siguiente:

donde:

$$P_e = \frac{2(1,28)^2(60)^2(0,60 \times 10^{-3})^2}{E_{18,0} \cdot 10^{-8}}$$

$$P_e = 19,404 \text{ vatios/mt}^3$$

La pérdida total debido a las correcciones parásitas en el núcleo ferromagnético, puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$P_t = (V_B \cdot K) \cdot P_e \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.8})$$

donde:

V_B = es el volumen bruto del núcleo ferromagnético

K = es el factor de hacinamiento correspondiente al espesor de 0,6 m.m. de las chapas del núcleo ferromagnético - (ver anexo B-11-1) cuyo valor es de 0,96.

Con un peso estimado de 1,30 Kg. según los requerimientos del - (ver anexos (D-1-2) y (D-1-3), las pérdidas totales en el núcleo ferromagnético pueden calcularse mediante la siguiente ecuación

$$P_t = (W_B) (P_n) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.9}).$$

donde:

W_B = es el peso del núcleo ferromagnético necesario para el balasto, y es de 1,30 kg

P_n = es la pérdida de potencia en vatios/kg para el metal ferromagnético (ver anexo B-9) y es de 11 vatios/kg. aproximadamente.

Por tanto reemplazando valores en la ecuación # 5.1.2.9 se tiene lo siguiente:

$$P_f = (1,30 \text{ kg}) (11 \text{ vatios/kg})$$

$$P_f = 14,3 \text{ vatios.}$$

Las pérdidas totales del balasto (P_B), esto es pérdidas en el núcleo, y en la bobina tiene que ser menor o igual a 20% de la potencia nominal de la lámpara y dicha potencia puede ser calculada aproximadamente mediante la siguiente ecuación:

$$P_B = I(\text{operación})^2 (R_{\text{total}}) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.10})$$

donde:

$I(\text{operación})$ = es la corriente de operación (nominal) de la lámpara y es igual a 1,36 amperios.

R_{total} = es la resistencia total del balasto que origina la pérdida de potencia en el mismo, y es igual a 14,1 (ver ecuación 5.1.2.4)

Por tanto reemplazando valores en la ecuación # 5.1.2.10, se tiene lo siguiente:

$$P_B = (1,36 \text{ Amp})^2 (14,1)$$

$$= 26,09 \text{ vatios.}$$

La que a su vez puede expresarse también del siguiente modo

$$P_B = P_f + P_{cu}$$

$$P_B = (P'_H + P'_e) + P_{cu} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.11}).$$

$$\begin{aligned}
 P_{Cu} &= P_B - (P_H + P_e) \\
 &= 26,09 \text{ vatios} - 14,3 \text{ vatios} \\
 &= 11,79 \text{ vatios.}
 \end{aligned}$$

La resistencia del devanado de cobre de la bobina para el balasto tendrá una resistencia R_{Cu} del siguiente valor:

$$R_{Cu} = \frac{P_{Cu}}{I(oper)^2} = \frac{11,79 \text{ vatios}}{(1,36 \text{ Amp})^2} = 6,37 \Omega$$

Valor que también puede ser calculado por la ecuación # 5.1.2.5.

$$R_{Cu} = 14,11 - \frac{14,3 \text{ vatios}}{(1,36 \text{ Amp})^2} = 6,37 \Omega$$

La resistencia en el Hierro se determina a partir de la ecuación # 5.1.2.4.

$$\begin{aligned}
 R_F &= 14,11 \Omega - 6,37 \Omega \\
 &= 7,74 \Omega
 \end{aligned}$$

El volúmen bruto del núcleo ferromagnético puede ser calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$V_B = \frac{W_B}{(p)_{esp}} \text{ esp} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.12})$$

W_B = es el peso estimado del núcleo = 1,30 kg.

$(p)_{esp}$ = es el peso específico del metal ferromagnético y es igual a 7,85 grm/ctm³ (ver recuadro en anexo B-7-2)

Por tanto reemplazando valores en la ecuación # 5.1.2.12) se tiene lo siguiente:

$$V_B = \left(\frac{1,30 \text{ Kg}}{7,85 \text{ kg/mt}^3} \right) \times 10^{-3} = 0,165 \times 10^{-3} \text{ mt}^3.$$

$$V_B = 0,165 \times 10^{-3} \text{ mt}^3$$

El volúmen neto del núcleo ferromagnético se lo calcula median te la siguiente ecuación:

$$V_n = (V_B)(K) \quad \text{(Ecuación \# 5.1.2.13)}$$

$$= (0,165 \times 10^{-3} \text{ mt}^3)(0,96)$$

$$V_n = (0,158 \times 10^{-3} \text{ mt}^3)$$

Por tanto las pérdidas totales en el núcleo ferromagnético debidas a las corrientes parásitas pueden ser calculadas reemplazando valores en la ecuación # 5.1.2.8

$$P^*e = (0,158 \times 10^{-3} \text{ mt}^3)(19.404 \text{ vatios/mt}^3)$$

$$= 3,06 \text{ vatios.}$$

Las pérdidas por histerisis se calcula a partir de la ecuación # 5.1.2.9

$$P^*H = P_f - P^*e$$

$$= 14,3 \text{ vatios} - 3,06 \text{ vatios}$$

$$= 11,24 \text{ vatios}$$

Las pérdidas por histerisis, y por corrientes parásitas pueden ser representadas en (%) respecto de la potencia total del balasto

$$P_B = 26,09 \text{ vatios} = 100\%$$

$$P^*H = 11,24 \text{ vatios} = 43\%$$

$$P^*e = 3,06 \text{ vatios} = 12\%$$

$$P_{cv} = 11,79 \text{ vatios} = 45\%$$

representando un diagrama de potencia para el sistema (balasto-lámpara) con los valores anteriores se tiene lo siguiente: (ver figura # 5.1.2.4)

(FIGURA # 51.2.4 .a)

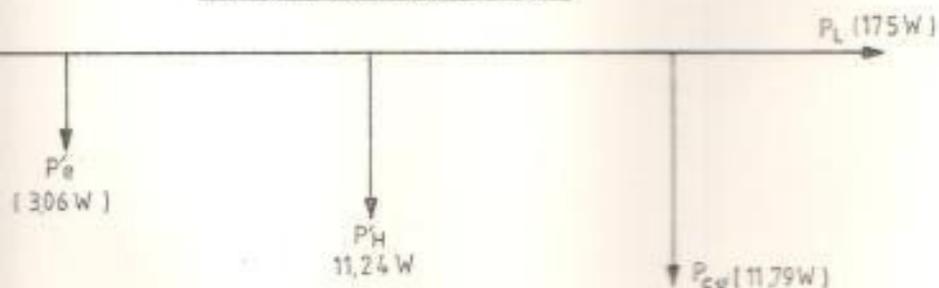
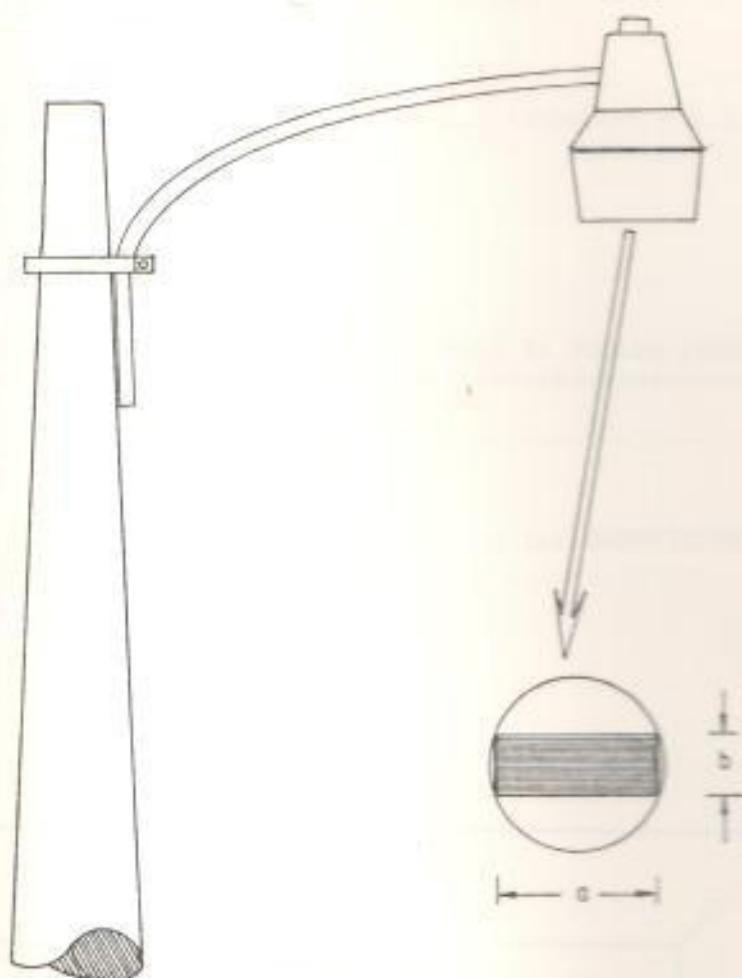


DIAGRAMA DE POTENCIA PARA EL SISTEMA BALASTO-LAMPARA

DIMENSIONES PARA LA BASE DEL NUCLEO REQUERIDAS EN LA LUMINARIA



(FIGURA # 5.1.2.4 b)

Se puede establecer de manera general, que las pérdidas de potencia en el núcleo ferromagnético debido a histerisis más corrientes parásitas son mayores que las pérdidas en el calentamiento del cobre.

Para facilitar el montaje del balasto en la luminaria, en el diseño del núcleo se requiere que las dimensiones de la base del núcleo sean las siguientes: (VER FIGURA 5-1-2-4-b)

$$a = 85,0 \text{ m.m.}$$

$$b = 32,0 \text{ m.m.}$$

La ecuación (5.1.2.12), puede ser expresada también del modo siguiente:

$$V_B = a \times b \times h = 0,165 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ (ECUACION \# 5.1.2.14)}$$

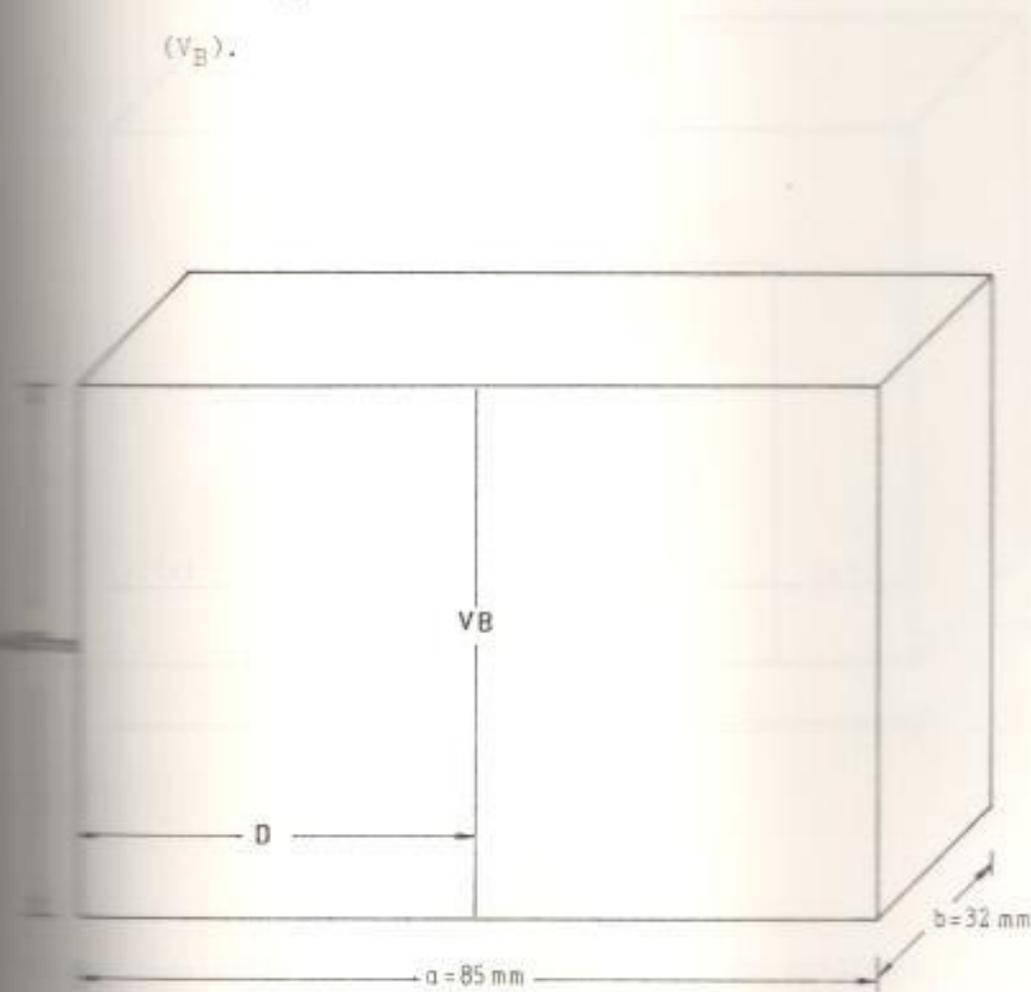
de donde $h = \frac{0,165 \times 10^{-3}}{(85\text{mm})(32 \text{ mm})} = 60,88 \text{ m.m.}$

$$h = 60,88 \text{ m.m.}$$

5.1.2.5) DIMENSIONES DEL VOLUMEN BRUTO PARA EL NUCLEO FERROMAGNETICO.

tico,
====

En la figura # 5.1.2.5) se indican las DIMENSIONES DE (V_B).



(FIGURA # 5.1.2.5)

DIMENSIONES DEL VOLUMEN BRUTO DEL NUCLEO

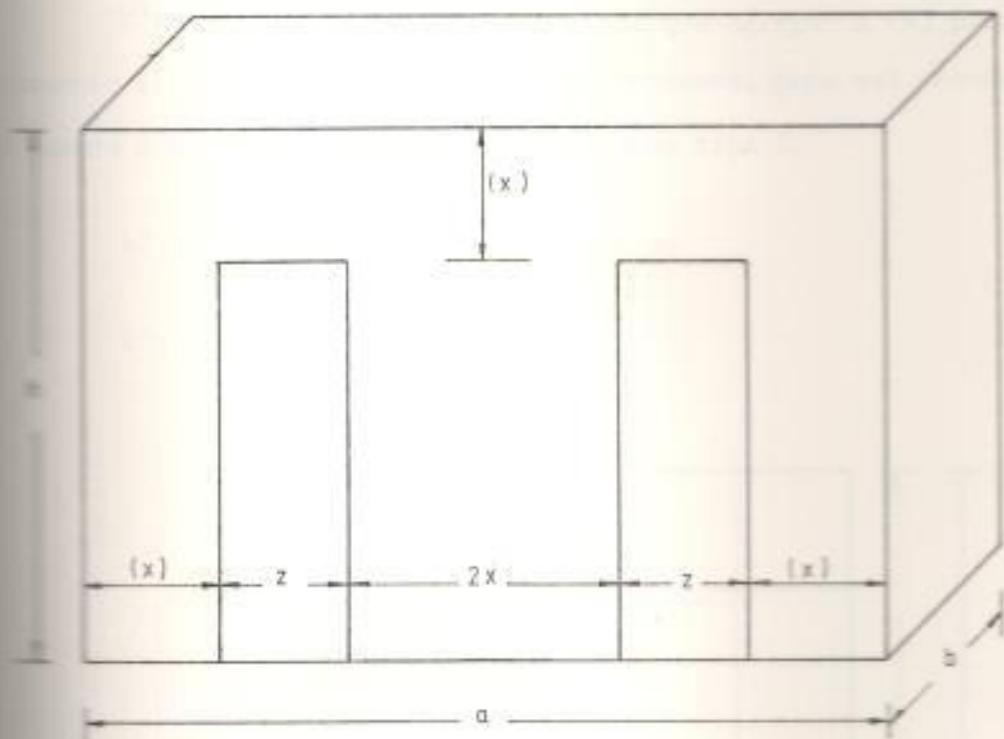
5.1.2.6) DISEÑO DE LAS VENTANAS DEL NÚCLEO

definiendo $x = \frac{1}{2} a$, y con el criterio siguiente:

El ancho de las láminas ferromagnéticas $E - I$ debe estar comprendido en el intervalo $\frac{1}{4} D < X < \frac{1}{2} D$ (ver figura # 5.1.2.5).

tomando a $x = \frac{1}{3} D$ hacemos el diseño preliminar para las ventanas del núcleo.

Ver figura (# 5.1.2.6.a) $x = \frac{1}{3} D = 14,1 \text{ m.m.}$



(FIGURA #5.1.2.6a)

desalojado por las ventanas en el diseño preliminar.

$$V_D = 2Z \cdot b \cdot (h-x) \quad \text{(Ecuación \# 5.1.2.1.15)}$$

pero $Z = X$.

Por tanto

$$\begin{aligned}
 V_D &= (b) (X) (h-X).2 \\
 &= 32 \text{ m.m. } 14,1 \text{ m.m. } (60,88 \text{ m.m.} - 14,1 \text{ m.m.}).2 \\
 &= 2(32 \text{ m.m. } 659,59 \text{ mm}^2) = (21107,13 \text{ mm}^3) 2 \\
 V_D &= 42214,26 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

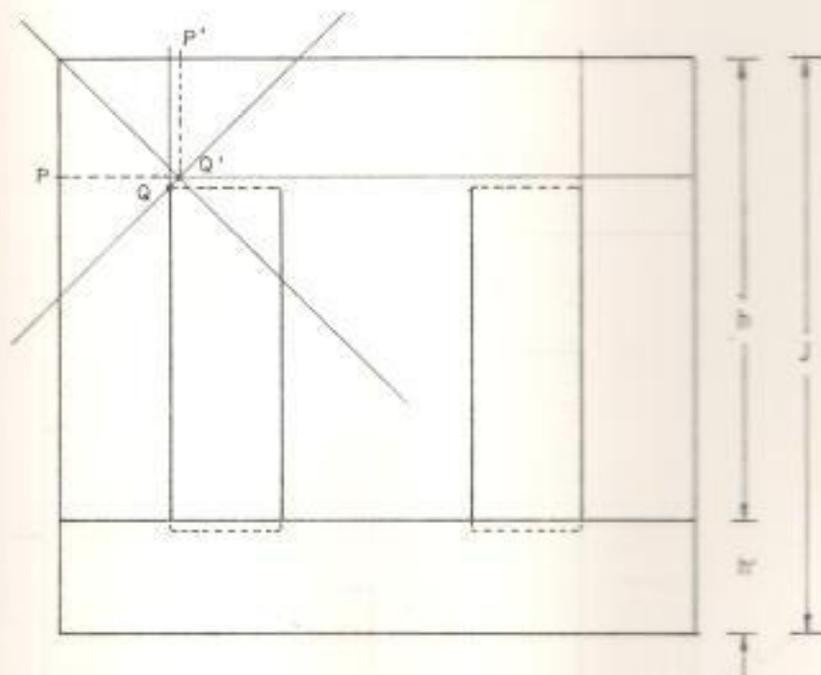
La ecuación (5.1.2.15) se la puede expresar del modo siguiente

$$V_D = a.b.h' \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.16})$$

$h' = \frac{V_D}{a.b}$ es la distancia que hay que agregar a (h) para recuperar el volúmen desalojado por las ventanas, para así obtener el ancho o ancho preliminar para las chapas tipo I.

$$h' = \frac{42.214,26 \text{ m.m.}^3}{85 \text{ m.m.} \times 32 \text{ m.m.}} = 15,519 \text{ m.m.}$$

$$h' = 15,52 \text{ m.m.}$$



(FIGURA # 51.2.6.b)

PROCEDIMIENTO GEOMETRICO PARA DETERMINAR (x')

Entrando la posición de las ventanas para el nuevo valor de altura $J = h + h' = 76,4$ m.m., procedemos a determinar el valor de x' (Ancho de las chapas magnéticas) mediante el procedimiento geométrico indicado en la figura (# 5.1.2.6.b.)

$$J = h + h' = 76,4 \text{ m.m.} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.17})$$

Determinando los puntos P, P' y Q' se hallan las siguientes distancias:

$$PQ = 15,9 \text{ m.m.}$$

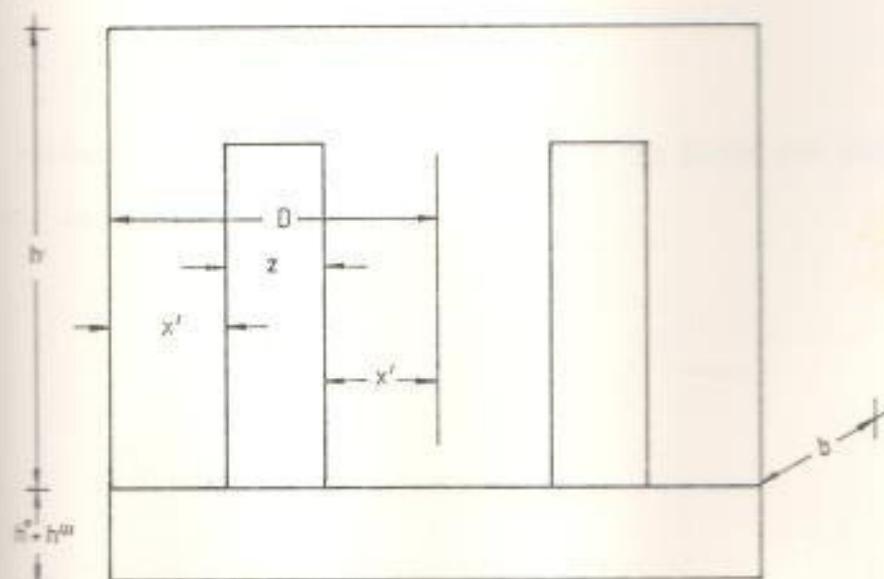
$$P'Q' = 14,5 \text{ m.m.}$$

Como $x = 14,1$ m.m., el valor designado para x' es $P'Q' = 14,5$ m.m. por ser el más próximo al $\frac{1}{3} D$ y de este modo cumplimos con los requerimientos y condiciones establecidas para el diseño del núcleo ferromagnético (Ver anexo D-1-5).

$$X' = 14,5 \text{ m.m.}$$

El nuevo volúmen desalojado por las ventanas V_D será determinado para el nuevo valor de $X' = 14,5$ m.m. (Ver figura # 5.1.2.6.c.)

(FIGURA # 5.1.2.6.c.)



$$\begin{aligned}
 V_D^* &= 2.(z^* - b)(h - x^*) && \text{(Ecuación \# 5.1.2.18)} \\
 &= 2 (D - 2x^*)(b)(h - x^*) \\
 &= (42,5 \text{ mm.} - 29 \text{ mm})(32 \text{ mm})(60,8 \text{ mm} - 14,5 \text{ mm}) \\
 &= (432 \text{ mm}^2)(46,3 \text{ mm}). \\
 V_D^* &= 40.003,2 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Este nuevo volúmen desalojado también puede ser expresado del modo siguiente:

$$V_D^* = a \times b \times h^{**} \quad \text{(Ecuación \#5.1.2.19)}$$

entonces:

$$h^{**} = \frac{V_D^*}{a.b.} = \frac{40003,2 \text{ (mm)}^3}{(85 \text{ m.m.})(32 \text{ mm})}$$

$$h^{**} = 14,7 \text{ m.m.}$$

5.1.2.7) CALCULO DEL ENTREHIERRO PARA EL CIRCUITO MAGNETICO

Tomando al entrehierro como el 5,0% de $2x^*$, ($2x^*$ es la longitud más corta de la sección del circuito magnético), (ver figura # 5.1.2.7)

Con este valor de entrehierro obtenemos un diseño más próximo al valor óptimo (ver anexo D-1-8)

$$l_g = 0,050 (29 \text{ mm}) = 1,50 \text{ m.m.}$$

$$l_g = 1,50 \text{ mm.}$$

El volúmen desalojado por el entrehierro V_g ; puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$V_g = (2x')(b)(lg) = \quad \quad \quad \text{(Ecuación \# 5.1.2.20):}$$

$$= 2(14,5 \text{ m.m.})(32\text{m.m.})(1,5 \text{ m.m.})$$

$$V_g = 1392,0 \text{ mm}^3$$

El valor del volumen V_g también puede ser expresado del modo siguiente:

$$V_g = a.b.h'''' \quad \quad \quad \text{(Ecuación \# 5.1.2.21).}$$

donde $h'''' = \frac{V_g}{a.b.} = \frac{1392,0 \text{ mm}^3}{(85\text{mm})(32\text{mm})}$

$$h'''' = 0,512 \text{ m.m.}$$

h'''' es el valor que se tiene que adicionar a h'' para recuperar el volumen desalojado por el entrehiero, y así mantener el peso correspondiente del núcleo ferromagnético.

La corrección para el valor de (x) puede hacerse mediante la siguiente ecuación:

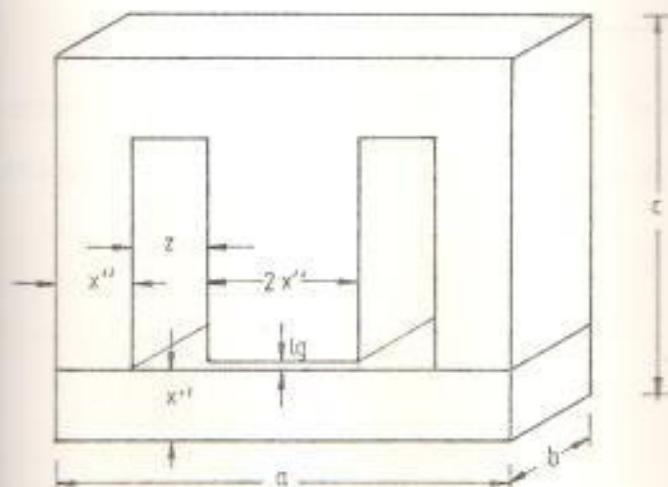
$$x''' = \frac{(h'' + h'''') - x''}{2} + x'' \quad \quad \quad \text{(Ecuación \# 5.1.2.22).}$$

$$= 0,356 \text{ m.m.} + 14,5 \text{ mm} = 14,8$$

$$x''' = 14,8 \text{ m.m.}$$

(Fig. 5.8) DIMENSIONES FINALES PARA EL NUCLO FERROMAGNETICO DEL
 ~~~~~

BALASTO ( FIGURA 5.1.2.8 )  
 ~~~~~



Donde:

$$a = 85 \text{ m.m.}$$

$$b = 32 \text{ m.m.}$$

$$c = 75,6 \text{ m.m.}$$

$$x'' = 14,8 \text{ m.m.}$$

$$Z = (D - 2x'') = 42,5 \text{ m.m.} - 2(14,8 \text{ m.m.}) = 12,9 \text{ m.m.}$$

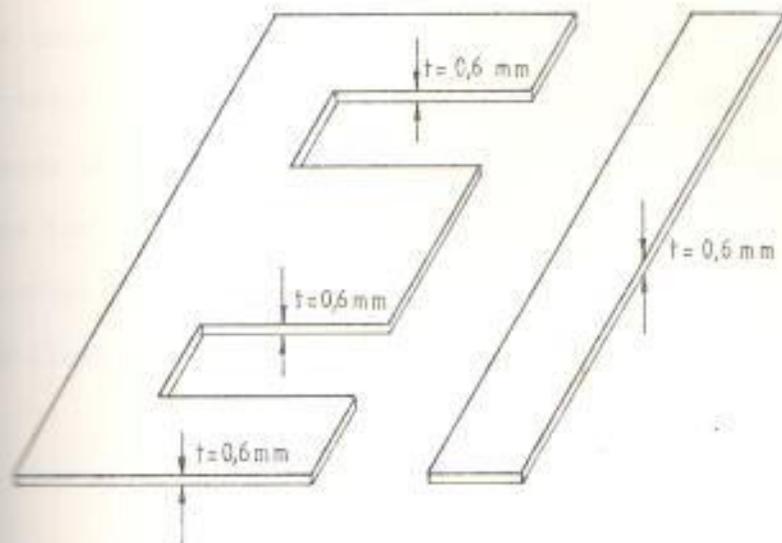
$$lg = 1,5 \text{ m.m.}$$

5.2.2.9) ESPESOR DE LA CHAPA PARA EL NUCLEO

El espesor de las chapas que conforman el núcleo ferromag-
nético es de 0,60 m.m. correspondiéndole un factor de hacinamiento
 $k = 0,96$ según la tabla expuesta a continuación:

| FACTOR DE HACINAMIENTO (K) | | |
|------------------------------------|-----------|------------|
| ***** | | |
| PARA CHAPAS MAGNETICAS DE BALASTOS | | |
| ***** | | |
| ESPESOR DE LA CHAPA | | FACTOR (K) |
| ***** | | ***** |
| ESPESOR | 0,60 m.m. | 0,96 |
| " | 0,50 m.m. | 0,95 |
| " | 0,48 m.m. | 0,94 |
| " | 0,35 m.m. | 0,92 |
| " | 0,15 m.m. | 0,83 |

El corte de las chapas se las realizará en los flejes del metal
magnético, cuyo espesor es de $t = 0,60 \text{ m.m.}$ (ver figura # 5.



(FIGURA # 5.1.2.9)

CORTE DE CHAPAS CON $t = 0,60 \text{ m.m.}$

5.1.2.10) CALCULO DEL NUMERO DE CHAPAS
=====

$$N_{CH} = \left(\frac{b}{t}\right) \cdot K \quad \text{(Ecuación \# 5.1.2.23)}$$

$$= \frac{32 \text{ m.m.}}{0,6 \text{ m.m.}} \times 0,96$$

$$N_{CH} = 52 \text{ chapas}$$

5.1.2.11) AREA NETA DE SECCION TRANSVERSAL PARA EL CIRCUITO MAGNE
=====

TICO
=====

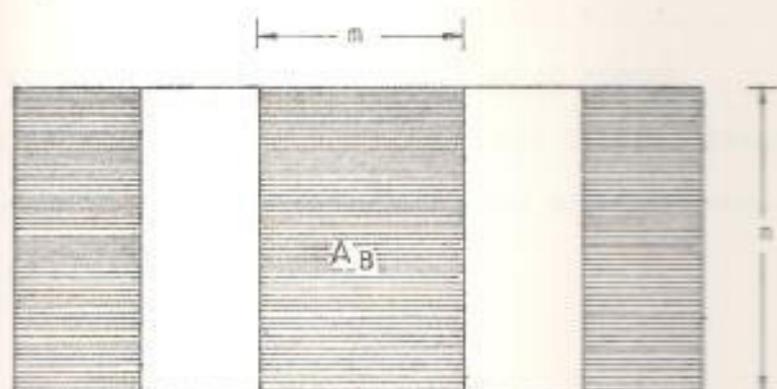
$$A_N = A_B \cdot K \quad \text{(Ecuación \# 5.1.2.24)}$$

$$= (2X)(b) \cdot K$$

$$= 2 \times (14,8 \text{ m.m.}) \times (32 \text{ m.m.}) \times (0,96)$$

$$A_N = 909,31 \text{ m.m.}^2$$

A causa de la deposición de óxido, o de otro aislante sobre el material de las chapas, rugosidad de estas, y desigualdades de empalme sobre las láminas la sección transversal magnéticamente útil de los núcleos de chapa no llegan nunca al 100% de la sección transversal geométrica. La relación entre estas dos áreas es lo que se llama factor de hacinamiento (k)



(FIGURA # 5.1.2.11)

AREA BRUTA DEL CIRCUITO MAGNETICO

5.1.2.12) AREA NETA DEL ENTREHIERRO

De la figura # 5.1.2.11, y con el valor de lg obtenido

en 5.1.2.7 se tiene que el área neta del entrehierro es la siguiente

$$\begin{aligned}
 (A_g)_N &= (m + lg)(n + lg) && \text{(ECUACION \# 5.1.2.26)} \\
 &= (2x^{**} + lg)(b + lg) \\
 &= (29,6 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm}) (32 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm}) \\
 &= (31,1 \text{ mm})(33,5 \text{ m.m}) = 1041,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$(A_g)_N = 1041,8 \text{ m.m.}^2$$

5.1.2.13) LONGITUD EFECTIVA DEL ENTREHIERRO
 =====

$$(lg)_N = \frac{N_B}{(lg)_N} \cdot lg. \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.26})$$

$$= \frac{(2x''') (b) \times lg}{1041,8 \text{ mm}^2} = \frac{1420,8 \text{ mm}^3}{1041,6 \text{ mm}^2} = 1,36 \text{ m.m.}$$

$$(lg)_N = 1,36 \text{ m.m.}$$

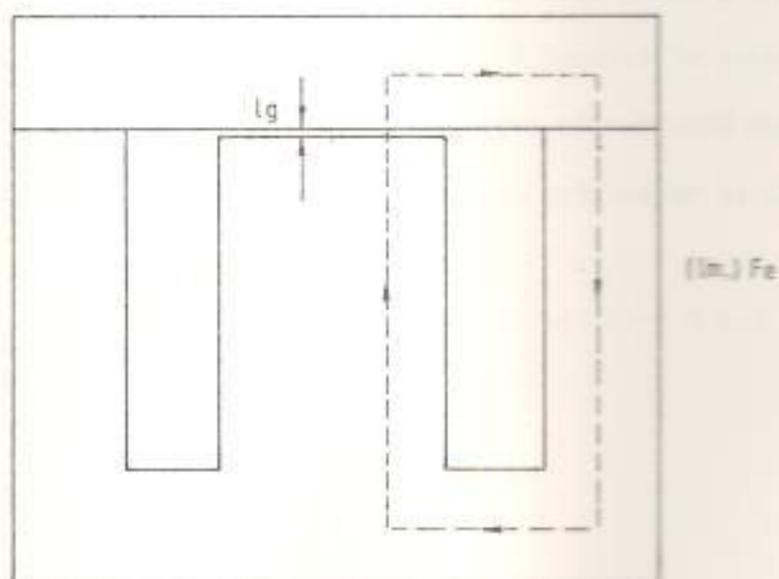
5.1.2.14) LONGITUD MEDIA DEL CIRCUITO MAGNETICO
 =====

$$l_M = (lm)_{Fe}^2 + (lg)_\eta \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.27})$$

donde:

$(lm)_{Fe}$ = es la longitud media en el hierro

En la figura (# 5.1.2.14) se indica con líneas punteadas el camino seguido por el flujo magnético tanto por el hierro como por el entrehierro.



(FIGURA # 5.1.2.14.)

DIMENSIONES PARA (lg) y (lm)-Fe

de la figura # 5.1.2.14, determinamos los valores de $l_{m_{f_0}}$ y l_M

$$(l_m)_{f_0} = 173,56 \text{ mm.}$$

$$(l_g)_M = 1,36 \text{ m.m.}$$

$$l_M = (l_m)_{f_0} + (l_g)_M = 173,56 \text{ m.m.} + 1,36 \text{ m.m.}$$

$$l_M = 174,9 \text{ m.m.}$$

5.1.2.15) CALCULO DEL NUMERO DE ESPIRAS DE LA BOBINA, A PARTIR

DE LA LEY DE AMPERE Y DE LAS DIMENSIONES DEL NUCLEO

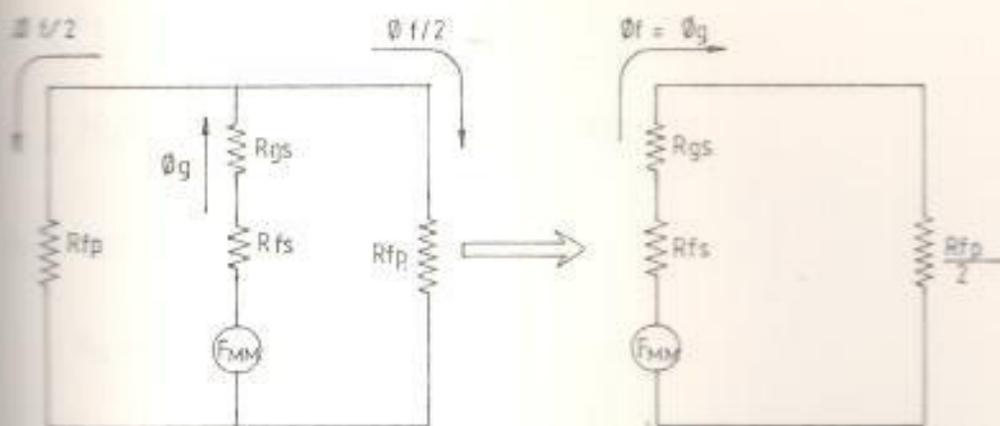
La ley de ampere establece que la integral curvilínea de la intensidad de campo magnético a lo largo de un camino cerrado es igual a la suma de los amper vueltas con los cuales este camino está concatenado.

$$\oint H dl = N I \quad , \text{ aquí } I = \frac{I_{arr} + I_{op}}{2} = 1,97 \text{ Amp.}$$

$$N \cdot I = H_f l_f + H_g (l_g)_{ef} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.28})$$

De las curvas para el metal ferromagnético (ver anexo B-7-2).
 Para una densidad de campo magnético $B_f = 12.800$ Gausses le corresponde una $H_f = 520 \frac{\text{Amp} \cdot \text{Esp}}{\text{mt}}$ y considerando para el circuito magnético que el Φ_f es igual al Φ_g (ver demostración gráfica en la figura # 5.1.2.15)

$$\Phi_f = \Phi_g \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.29})$$



(FIGURA # 5.1.2.15)

DE MOSTRACION GRAFICA DE $\Phi_f = \Phi_g$

$$B_f = \mu_0 H_f = \frac{\Phi_f}{A_n} \quad \text{(Ecuación \# 5.1.2.30)}$$

$$\Phi_f = A_n B_f = \Phi_g \quad \text{(Ecuación \# 5.1.2.31)}$$

Por otro lado se tiene que $H_g = \frac{B_g}{\mu_0} = \frac{\Phi_g}{\mu_0 (A_g)_N}$

$$H_g = \frac{\Phi_f}{\mu_0 (A_g)_N} = \frac{A_n B_f}{\mu_0 (A_g)_N} \quad \text{(Ecuación \# 5.1.2.32)}$$

$$H_g = \frac{(903,16 \text{ mm}^2) (12,8 \times 10^3 \times 10^{-4} \frac{\text{Weber}}{\text{mt}^2})}{(4 \times 10^{-7}) (1041,6 \text{ m.m.}^2)}$$

$$= 0,8832097 \times 10^6$$

$$= 883209,7 \text{ Weber/mt}^2$$

Por tanto que:

$$B_g = \mu_0 H_g = \frac{\Phi_g}{(A_g)_N}$$

$$H_g = \frac{\Phi_g}{\mu_0 (A_g)_N} \text{ Weber/mt}^2 \quad \text{ó} \quad H_g \frac{\text{Amp Esp}}{\text{MT}}$$

Por tanto:

$$H_g = 883209,7 \frac{(\text{Amp. Esp.})}{\text{mt}}$$

Reemplazando valores en la ecuación (# 5.1.2.28) tenemos que el número de espiras para la bobina del balasto es el siguiente:

$$N_m = \frac{H_f l_f + H_g (lg)N}{I (op)}$$

$$N_m = \frac{90,25 (Amp.Esp) + 1201,16 (Amp.Esp).}{1,97 Amp.}$$

$$N_m = 655 \text{ Espiras}$$

$$N_m = 655 \text{ Espiras.}$$

Ahora procederemos a determinar el número de espiras para la bobina a partir de las dimensiones del núcleo ferromagnético (espacio disponible en las ventanas del núcleo) y con el criterio de que tiene que existir un espacio mínimo de 2,8 m.m. desde la última capa del devanado y la pared de la ventana en el núcleo. (ver figura # 5.1.2.15a)

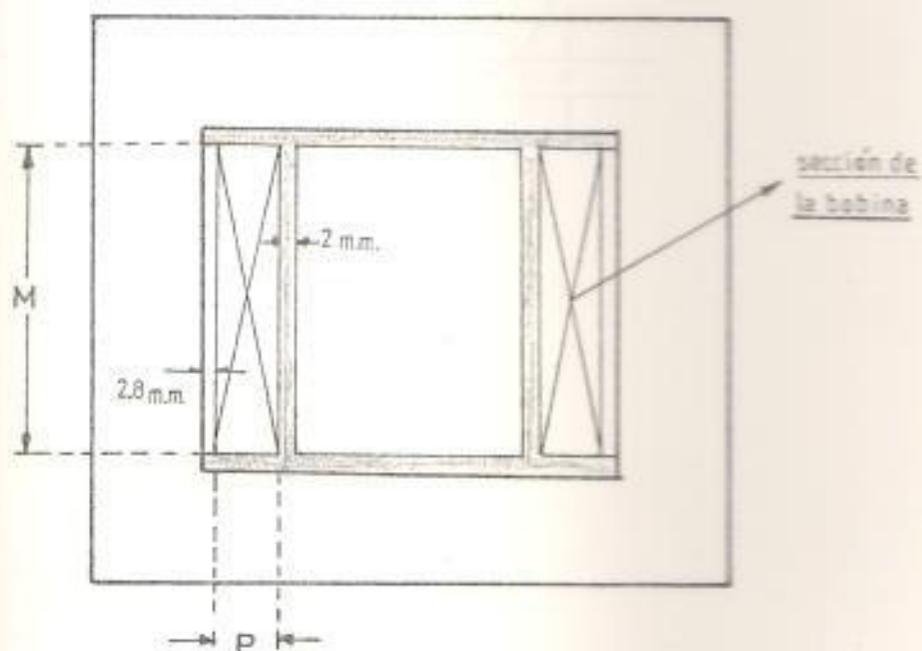


FIGURA # 5.1.2.15 a

SECCIÓN DE LA BOBINA EN EL ESPACIO DISPONIBLE DE LAS VENTANAS DEL NUCLEO FERROMAGNETICO.

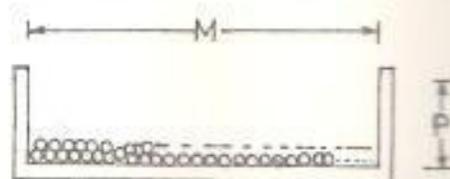
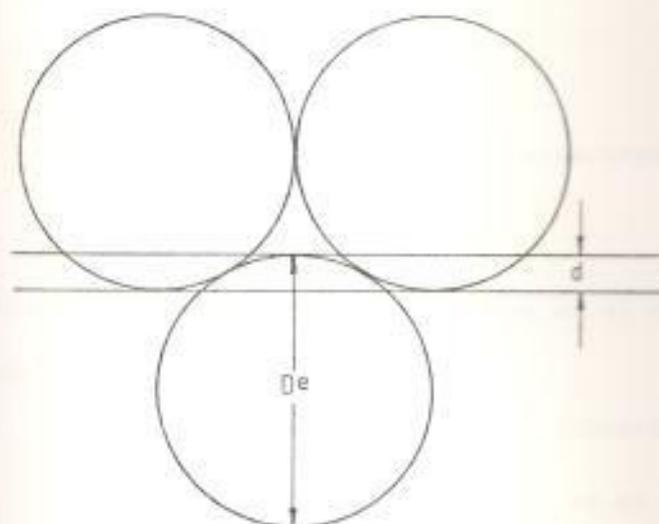


FIGURA # 5.1.2.15 b

DEVANADO DE LA BOBINA

Devanando la bobina como se indica en la figura (# 5.1.2.15-b) el espesor de las capas del devanado se ve reducido en un factor $E = (1-T)$, donde T es la relación de (d) respecto de (De) ver figura (# 5.1.2.15-c).

$T = \frac{d}{De}$, donde (De) es el diámetro del conductor esmaltado y (d) es el valor en que se reduce el espesor de una capa en el devanado.



(FIGURA # 5.1.2.15 c)

FACTOR DE REDUCCION PARA De

$$(T = \frac{d}{De})$$

$$T = \frac{5 \text{ m.m.}}{34 \text{ m.m.}} = 0,15$$

$$E = (1-T) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.33})$$

$$= (1-0,15) = 0,85$$

$$E = 0,85$$

se tiene que

$$D\phi = De (1-T) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.34.})$$

$$= De (E)$$

$$(0,730 \text{ m.m.})(0,85)$$

$$D'e = 0,620 \text{ m.m.}$$

El espesor de la capa para el devanado correspondiente al tipo de conductor (# 21), es igual a $D'e$, y el número de espiras por capa puede ser determinado a partir de la siguiente ecuación.

$$N_e = \frac{M}{D_e} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.35}).$$

donde D_e es el diámetro del conductor, y M es el espacio disponible en el carrate.

Para una capa

Por tanto

$$N_e = \frac{40 \text{ m.m.}}{0,730 \text{ m.m.}} = 55 \text{ espiras/capa.}$$

$$N_e = 55 \text{ esp./ capa.}$$

El número de capas que pueden alojarse en el carrate puede ser determinado por la siguiente ecuación:

$$N_K = \frac{P}{D'e} \quad (\text{Ecuación 5.1.2.36}).$$

donde N_K = es el número de capas

Como se vio anteriormente

Por tanto

$$N_K = \frac{8,0 \text{ m.m.}}{0,620 \text{ m.m.}} = 13,0 \quad (13 \text{ capas})$$

$$N_K = 13 \text{ capas}$$

El número total de espiras que tendrá la bobina para el balas puede ser determinado por la siguiente ecuación:

$$N_m = N_e \cdot N_K \quad (\text{Ecuación 5.1.2.37}).$$

$$N_m = (55 \text{ esp/capa})(13 \text{ capa})$$
$$= 715 \text{ espiras}$$

$$N_m = 715 \text{ espiras}$$

Por tanto el número de espira que tiene que tener la bobina del balasto a construir, es el valor promedio entre N_m y N_n , y esto puede ser determinado mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{N_m + N_n}{2} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.38}).$$

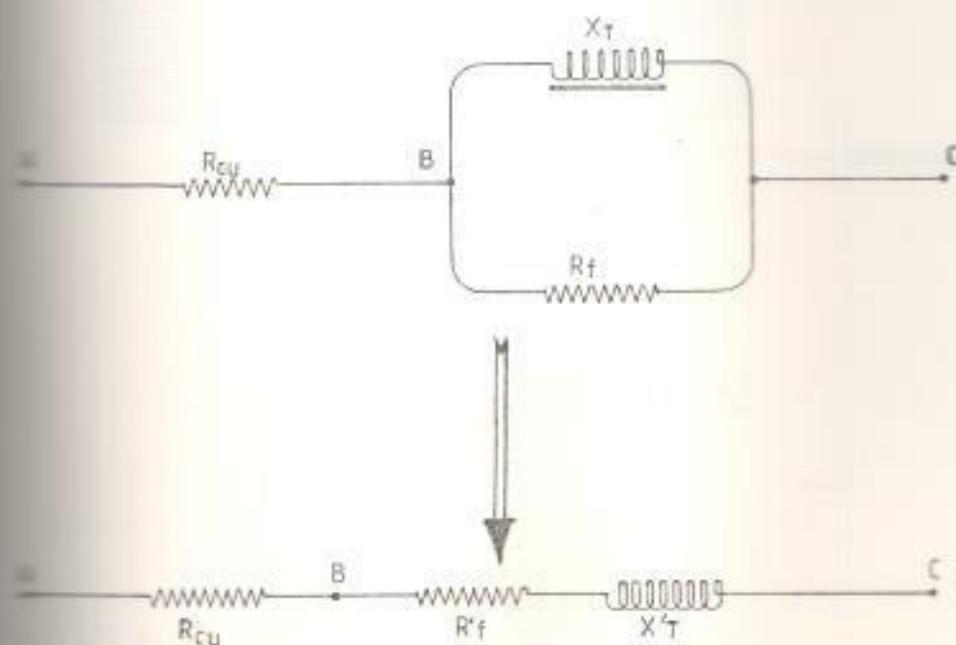
$$N = \frac{655 + 715}{2} = 685 \text{ espiras}$$

Redondeando el valor de N es 680 espiras

$$N = 680 \text{ espiras}$$

5.1.2.16) CALCULO DE LOS PARAMETROS PARA EL BALASTO

El circuito equivalente para el balasto puede ser representado del modo siguiente:



R_{Cu} es la resistencia del hilo de cobre, y puede ser determinada a partir de la siguiente ecuación:

$$R_{Cu} = \rho_{Cu} \frac{\bar{l}}{A} \quad \text{(Ecuación \# 5.1.2.39)}$$

a 20°C de temperatura.

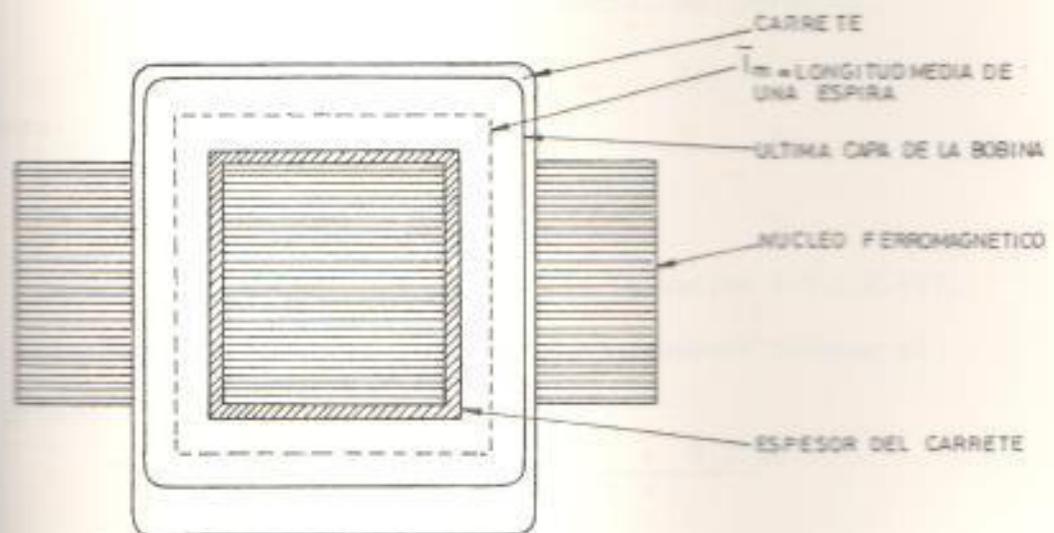
donde $\rho_{Cu} = 1,7 \times 10^{-8} (\Omega \cdot m)$ es la resistividad del cobre

$\bar{l} = \bar{l}_m \times N$ es la longitud promedio del conductor en la bobina.

$$A = \pi R^2 = \pi (0,133)^2 = 0,418 \text{ mm}^2$$

es el área de sección para el conductor # 21 AWG (ver anexos

(E-4) y (E-6) de las dimensiones del carrete puede determinarse el valor de \bar{l}_m (Ver figura # 5.1.2.16)



(FIGURA # 5.1.2.16)

LONGITUD MEDIA DE UNA ESPIRA (\bar{l}_m)

$$\bar{l}_m = 172 \text{ m.m.}$$

$$\bar{l} = \bar{l}_m \cdot N = (172 \text{ m.m.})(680) = 116,9 \text{ mts.}$$

Por tanto

$$R_{Cu} = (1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{mt}) \frac{116,9 \text{ mts}}{0,418 \times (10^{-3} \text{ mt})^2}$$

$$R_{Cu} = 4,75 \Omega \quad \text{a } 20^\circ\text{C de temperatura.}$$

Los cambios de resistencia que se producen por efecto de la temperatura pueden ser calculados mediante la siguiente ecuación:

$$R_{Cu_m} = R_{Cu_o} [1 + \alpha t(t_2 - t_1)] \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.40}).$$

donde

R_{Cu_m} = resistencia del cobre a temperatura nominal

R_{Cu_o} = R_{Cu} a 20°C

αt = Coeficiente de temperatura de la resistencia del cobre

$$= 0,004 \quad / \quad ^\circ\text{C.}$$

t_2 = 105°C = Temperatura nominal de operación.

t_1 = 20°C

Por tanto

$$R_{Cu_m} = 4,75 \Omega [1 + 0,004 (85^\circ\text{C})]$$

$$R_{Cu_m} = 6,36 \Omega \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.41}).$$

De las ecuaciones (# 5.2.17.3), y (#5.2.3.1), podemos obtener el valor promedio para R

$$\bar{R}_{Cu} = \frac{R_{Cu_m} + R_{Cu_o}}{2} = \frac{6,36 \Omega + 4,37 \Omega}{2}$$

$$\bar{R}_{Cu} = 5,365 \Omega$$

De la ecuación # 5.1.2.3. se puede determinar el valor para la resistencia, a partir de la componente imaginaria de la tensión en los terminales del balasto.

$$\bar{U}_B = U_{rc} + j U_l \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.42})$$

$$= 19,19 \text{ Voltios} + j 156,9 \text{ voltios.}$$

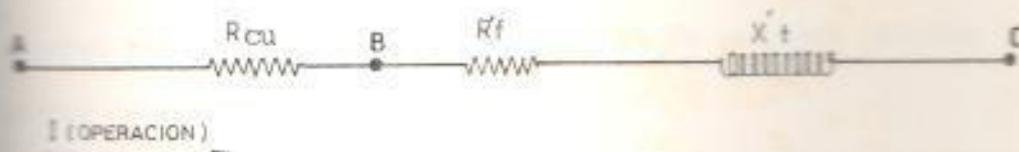
pero $|U_L| = I(\text{operación}) X'_T$ (Ecuación # 5.1.2.43).

$$jX'_T = \frac{|U_L|}{I} = j \frac{156,9 \text{ voltios}}{1,36 \text{ Amperios}} = 115,36 \Omega$$

esto es:

$$jX'_T = j 115,36 \Omega$$

A partir de la ecuación # 5.1.2.4 se determinó el valor de la resistencia en el hierro $R'_f = 7,74 \Omega$ y, así un circuito equivalente aproximado para el balasto puede ser representado del modo siguiente:



Simplificando el circuito anterior se tiene lo siguiente:



La inductancia de este reactor inductivo puede ser calculado aproximadamente a partir de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{4 \pi N^2 A_N U_{ave} \times 10^{-9}}{L_M} \text{ Henryrios (Ecuación # 5.1.2.44).}$$

donde:

μ_{ave} , es la permeabilidad promedio del circuito ferromagnético (hierro y entrehierro) para el balásto (ver anexo D-1-10)

N , es el número de espiras para la bobina

A_M , es el área neta del núcleo ferromagnético

l_M , es la longitud media del circuito magnético

Reemplazando valores en la ecuación # (5.1.2.44) se tiene lo siguiente:

siguiente:

$$L = \frac{4\pi \cdot (680)^2 (909,3 \text{ mm}^2) \left(\frac{2000}{1 \left(\frac{1,36}{175} \right) 2000} \right) \times 10^{-9} \text{ Henryrios}}{175 \times 10^{-3} \text{ mts.}}$$

$$= 3,6 \times 10^{-3} \text{ Henryrios}$$

$$L = 3,6 \text{ m.h.}$$

Por tanto la reactancia inductiva de la bobina se puede calcular a partir de la siguiente ecuación.

$$X_L = 2\pi fL \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.45})$$

$$= 2\pi (60 \text{ Hz}) (3,6 \times 10^{-3} \text{ H})$$

$$= 1,372 \Omega$$

$$jX_L = j 1,37 \Omega$$

La reactancia de magnetización del balásto se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$jX_m = jX'_T - jX_L \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.46})$$

$$jX_m = j 115,36 \Omega - j 1,37 \Omega$$

Por tanto

$$X_m = j 113,99 \Omega$$

5.1.2.17) DIAGRAMAS FASORIALES PARA LAS CONDICIONES DE ARRANQUE Y
 DE ESTADO ESTABLE

Para la condición de arranque los valores de tensión en los terminales del balásto y de la lámpara son los siguientes:

Caída de tensión en la lámpara para el arranque.

$$U_{co} = (I_{arr})R_c \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.47}).$$

$$R_c = \frac{0,20 (\text{Pot. lámp})}{(I_{arr})^2} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.48}).$$

$$R_c = \frac{0,20 (175 \text{ vatios})}{2,58 \text{ Amp}} = 5,25 \Omega$$

Después:

$$U_{co} = (I_{rr})(R_c) = (5,25 \Omega) (2,58 \text{ Amp})$$

$$U_{co} = 16 \text{ voltios.}$$

Caída de tensión en los terminales del balásto.

$$U_B = 218 \angle \theta \quad , \quad \theta = \tau_E^{-1} \left(\frac{X_{T_0}}{R_{T_0}} \right)$$

$$= (R_{cu} + R_{f_0}) = 4,89 \Omega + 5,6 \Omega$$

$$R_{T_0} = 10,5 \Omega$$

$$jX_{T_0} = jX_L + jX_m \quad ; \quad y \quad X_{T_0} = \frac{U_{L_0}}{I_{arr}} = (Z_{B_0}^2 - R_{T_0}^2)^{1/2}$$

$$Z_{B_0} = \frac{218 \text{ volt.}}{2,58 \text{ Amp}} = 84,5 \Omega$$

$$jX_{T_0} = \sqrt{(84,5)^2 - (10,5)^2}$$

$$X_{T_0} = j 83,84 \Omega$$

Por tanto

$$\theta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{83,84}{10,50} \right) = 82,8^\circ$$

$$\theta = 82,8^\circ$$

$$U_{Rc_0} = (2,58 \text{ Amp})(10,5) = 27,00 \text{ voltios}$$

$$U_{Lc_0} = (2,58 \text{ Amp})(83,8 \Omega) = j 216, 21 \text{ voltios}$$

Por tanto

$$\vec{U}_B = 218 \angle 82,8^\circ$$

$$U_{Rc_0} = 2,7 \text{ voltios}$$

$$jU_{Lc_0} = j216 \text{ voltios}$$

El diagrama fasorial correspondiente a estos valores se indica en la figura (# 5.1.2.17.a)

Para la condición de estado estable, y para cuando la bobina del balasto alcanza la temperatura de Régimen $T = 105^\circ\text{C}$.

Los valores para las caídas de tensión en el balasto y en la lámpara son las siguientes:

$$U_c = \text{tensión en la lámpara} = 135 \angle 0^\circ \text{ voltios}$$

$$\vec{U}_B = U_{Rc} + U_L =$$

$$= (1,36 \text{ Amp})R'_T + j (1,36 \text{ Amp})(X'_T)$$

$$= (1,36 \text{ Amp})(14,4 \Omega) + j (1,36 \text{ Amp})(j 115,36 \Omega)$$

$$= 19,6 \text{ voltios} + j 156,88 \text{ voltios}$$

$$= 158,1 \angle 82,8^\circ \text{ voltios.}$$

Por tanto

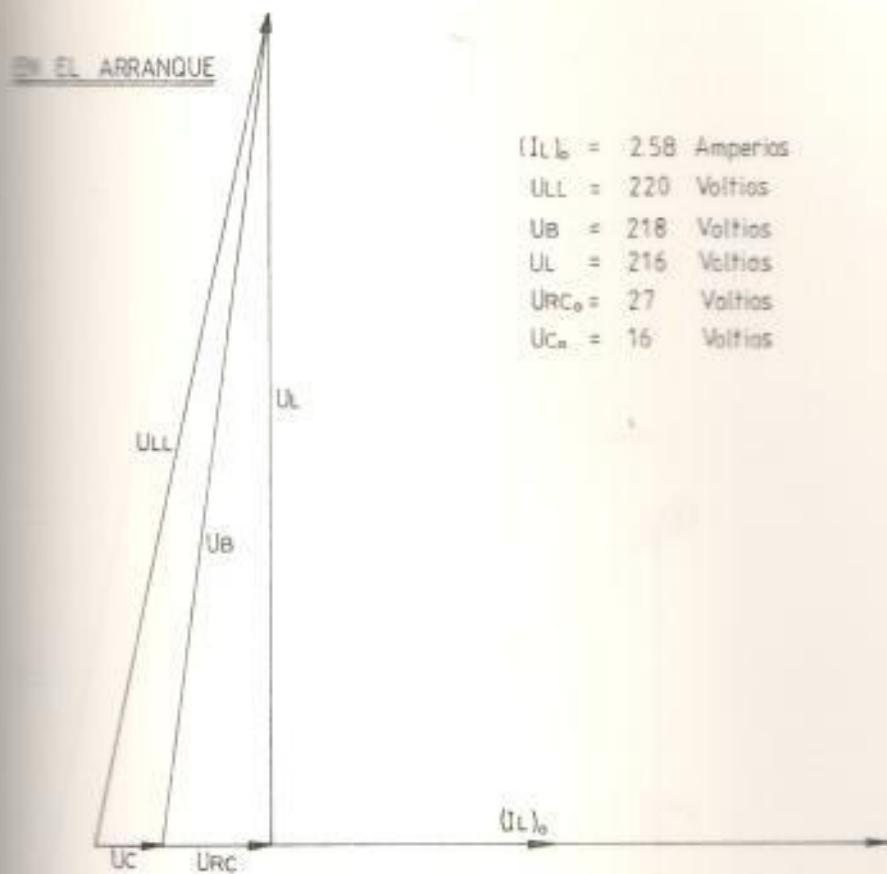
$$= U_{Rc} = 19,6 \text{ voltios}$$

$$= jU_L = j156,88 \text{ voltios}$$

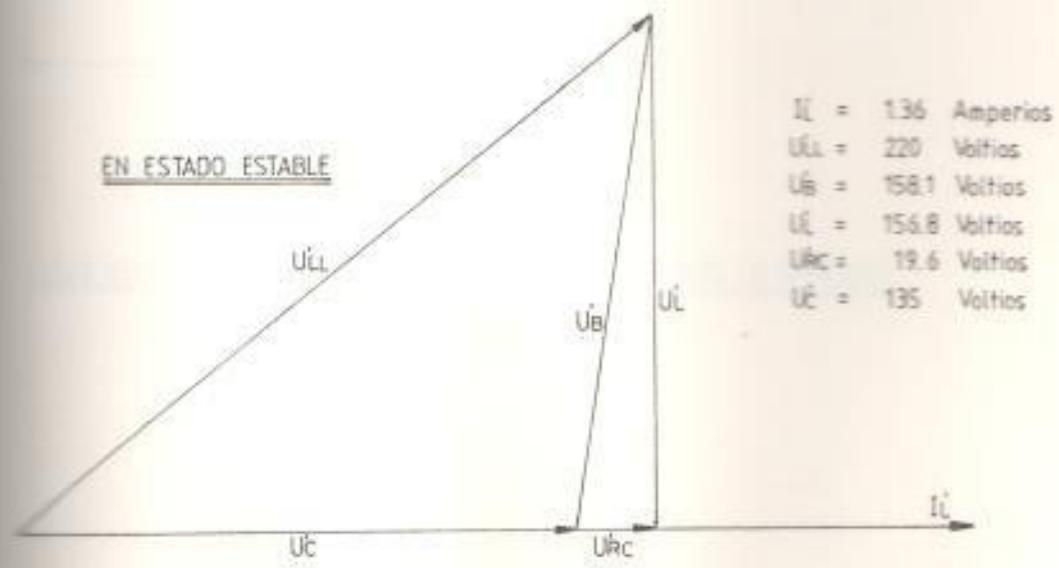
$$= \vec{U}_B = 158,1 \angle 82,8^\circ \text{ voltios.}$$

El diagrama fasorial correspondiente se encuentra en la figura (# 5.1.2.17.b).

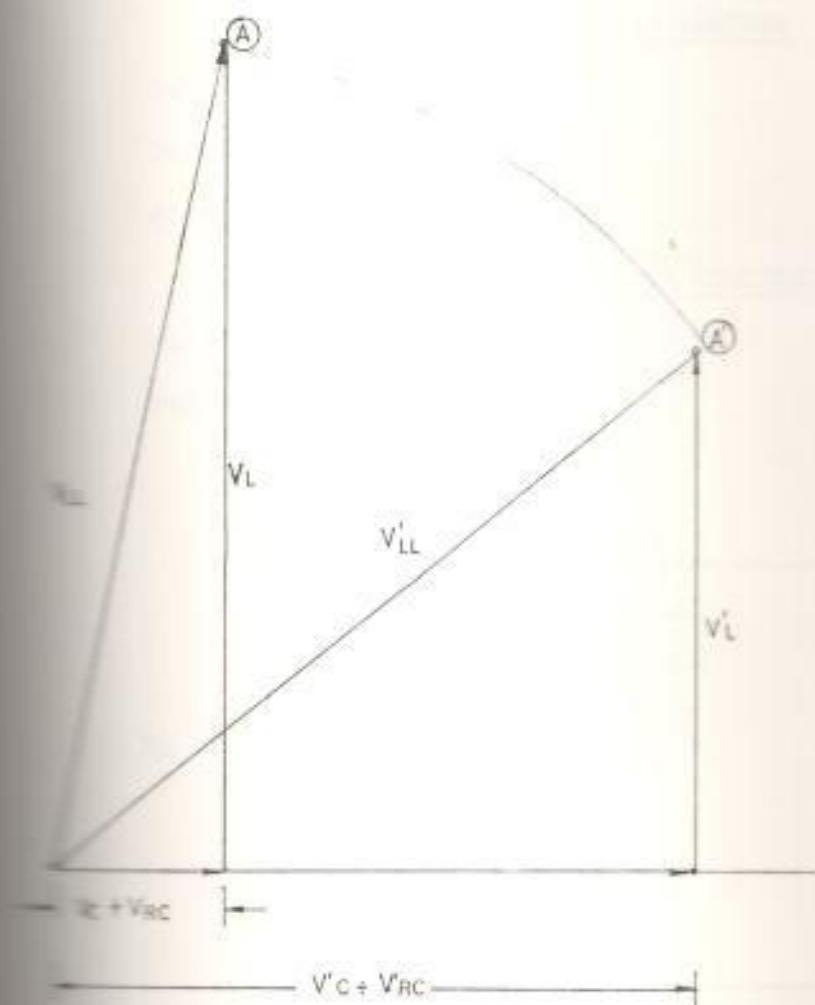
El lugar geométrico descrito por el punto (A) (Ver los diagramas fasoriales de tensión figuras (# 5.1.2.17 a)y(# 5.1.2.17-b). - desde el momento del encendido hasta el de estado estable es indicado en el diagrama (# 5.1.2.18).



(FIGURA # 5.1.2.17a.)



(FIGURA # 5.1.2.17b)



(FIGURA # 5.1.2.18)

GEOMETRICO DEL PUNTO (A) ENTRE LAS CONDICIONES DE ARRANQUE
Y DE ESTADO ESTABLE

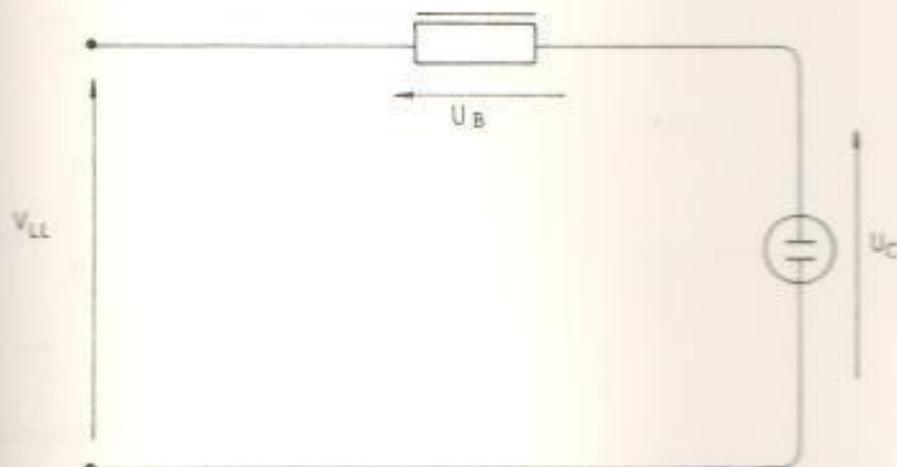
5.1.3) DISEÑO DE UN BALASTO PARA ENERGIZAR UNA LAMPARA DE DESCARGA EN VAPOR DE MERCURIO PARA 250 VATIOS

DATOS DE LA LAMPARA

| | |
|-------------------------------|---------------|
| POTENCIA NOMINAL | 250 VATIOS |
| VOLTAJE DE OPERACION NORMAL | 135 VOLTIOS |
| CORRIENTE DE OPERACION NORMAL | 1,95 Amperios |

DATOS DE LA RED ELECTRICA

| | |
|----------------------|-------------|
| VOLTAJE DE LINEA | 220 VOLTIOS |
| FRECUENCIA DE LA RED | 60 Hz. |



(FIGURA # 5.1.3)

5.1.3.1) CORRIENTE DE OPERACION

$$I(\text{operación}) = \frac{1,2 (P_L)}{V_{LL} \cdot f.p.} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.1.})$$

$$I(\text{Operación}) = \frac{1,2 (250 \text{ Vatios})}{(220 \text{ Voltios})(0,70)} = 1,95 \text{ Amperios.}$$

$$I(\text{Operación}) = 1,95 \text{ Amperios.}$$

5.1.3.2) CORRIENTE DE ARRANQUE

$$I(\text{Arranque}) = 1,9 I(\text{Operación}) \quad (\text{Ver anexo A-1})$$

$$= 1,9 (1,95 \text{ Amperios}) = 3,7 \text{ Amperios.}$$

$$I(\text{Arranque}) = 3,7 \text{ Amperios}$$

5.1.3.3) TENSION EN LOS TERMINALES DEL BALASTO

Del circuito indicado en la figura # 5.1.3 determinamos

la siguiente ecuación:

$$\vec{V}_{LL} = \vec{U}_B + \vec{U}_c \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.2.}).$$

$$\vec{V}_{LL} = 220 \angle \beta$$

$$\beta = \text{Arc cos } (0,70) = 45,57^\circ$$

$$\beta = 45,5^\circ$$

$$\vec{U}_c = 135 \angle 0^\circ$$

En la ecuación (5.1.3.2.) se despeja \vec{U}_B :

$$\vec{U}_B = \vec{V}_{LL} - \vec{U}_c$$

$$= 220 \angle 45,5^\circ - 135 \angle 0^\circ$$

$$= 220 \cos 45,5^\circ + j 220 \sin 45,5^\circ - 136 \text{ Voltios}$$

$$= 154,19 \text{ voltios} + j 156,9 \text{ voltios} - 136 \text{ voltios}$$

$$= (18,19 + j 156,9) \text{ voltios.}$$

$$= U_{rc} + j U_L \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.3.})$$

$$U_{rc} = 18,19 \text{ Voltios}$$

$$jU_L = 156,9 \text{ Voltios}$$

5.1.3.4) RESISTENCIA TOTAL DEL BALASTO (R_T)

De las ecuaciones (5.1.3.1) y (5.1.3.3.) determinamos la (R_T)

$$R_T = \frac{U_{rc}}{(I_{cp})} = \frac{18,19 \text{ Voltios}}{1,95 \text{ Amperios}} = 9,32 \Omega \text{ (Ecuación \# 5.1.3.4)}$$

y esto es

$$R_T = (R_{Cu} + R'_f) = 9,32 \Omega$$

donde:

R_{Cu} = resistencia del devanado de cobre

R'_f = resistencia del núcleo del hierro.

Resistencia del devanado de cobre a potencia nominal.

$$R_{Cu} = R - \frac{P_f}{(I_{op})^2} \quad \text{(Ecuación \# 5.1.3.5)}$$

$$= 14,11 \Omega - \frac{P_f}{(1,36 \text{ Amp.})^2}$$

donde P_f = es la pérdida de potencia en el núcleo ferronagnético,

la cual está constituida a su vez por P'_H y P'_e , y expresada me

diante la siguiente ecuación. (Ecuación \# 5.1.3.6)

$$P_f = P'_H + P'_e$$

donde

P'_H = es la pérdida de potencia en el hierro por histéresis

P'_e = es la pérdida de potencia en el hierro por corrientes parásitas.

Ver anexo (D-1-2) y (B-3)

La pérdida de potencia por corrientes parásitas en vatios por metro cúbico (W/m^3) viene expresada mediante la siguiente

ecuación:

$$P_e = \frac{B_m^2 \cdot f^2 \cdot t^2 \cdot \pi^2}{6 \cdot \rho \cdot (\text{metal})} \quad \text{(Ecuación \# 5.1.3.7)}$$

donde

B_m = es la densidad de flujo magnético máxima para el circuito magnético, y es igual a 1,28 Weber/m².

f = es la frecuencia de la red 60Hz.

t = es el espesor de las chapas metálicas = 0,60 m.m.

$\rho_{(a-s)}$ = resistividad del acero al silicio y es = 18×10^{-8} m³

Reemplazando valores en la ecuación (5.1.3.6) se obtiene lo -

siguiente:

$$P_e = \frac{\pi (1,28)^2 (60)^2 (0,60 \times 10^{-3})^2}{6 \times 18 \times 10^{-3}} = \text{Wattios/m}^3$$

$$P_e = 19,404 \text{ wattios/m}^3$$

y la pérdida total debido a las corrientes parásitas en el núcleo ferromagnético, puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$P'e = (V_B \cdot K) \cdot P_e \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.8}).$$

donde

V_B = es el volumen bruto del núcleo ferromagnético.

K = es el factor de hacinamiento correspondiente al espesor de 0,6 mm. de las chapas del núcleo ferromagnético (ver anexo B-11-1 cuyo valor es de 0,96)

Con un peso estimado de 2,3 kgf según los requerimientos del diseño (ver anexos (D-1-2) y (D-1-3) las pérdidas totales en el núcleo ferromagnético pueden calcularse mediante la ecuación siguiente

$$P_f = (W_B)(P_n) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.9}).$$

donde

W_B = es el peso del núcleo ferromagnético necesario para el balasto y es de 2,3 kg.

P_n = es la pérdida de potencia en el material ferromagnético

en vatios/kg. aproximadamente.

Por tanto reemplazando valores en la ecuación (5.1.3.9) se tiene lo siguiente:

$$P_f = (2,3 \text{ kg.}) (11 \text{ vatios/kg}) \\ = 25,3 \text{ vatios.}$$

Las pérdidas totales en el balasto (P_B), esto es pérdidas en el núcleo y en la bobina tiene que ser menor o igual al 20% de la potencia nominal de la lámpara, y dicha potencia puede ser calculada aproximadamente mediante la siguiente ecuación:

$$P_B = I(\text{operación})^2 (R_T) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.10}).$$

Donde

$I(\text{operación})$, es la corriente de operación (nominal) de la lámpara, y es igual a 1,95 Amperios.

$R(\text{total})$ = es la resistencia total del balasto que origina la pérdida de potencia en el mismo, y es igual a 9,32 ohmios.

Por tanto reemplazando valores en la ecuación (5.1.3.10) se obtiene lo siguiente:

$$P_B = (1,95 \text{ Amp})^2 (9,32)\Omega$$

$$P_B = 35,43 \text{ vatios.}$$

Lo que a su vez puede expresarse también del modo siguiente:

$$P_B = P_f + P_{cu}$$

$$P_B = (P_H + P'e) + P_{cu} \quad (\text{Ecuación (5.1.3.11)}).$$

de donde

$$\begin{aligned} P_{cu} &= P_B - (P^*_{H} + P^*_{e}) \\ &= 35,43 \text{ vatios} - 25,3 \text{ vatios} \\ &= 10,13 \text{ vatios.} \end{aligned}$$

La resistencia del devanado de cobre de la bobina para el ba
_ esto tendra una resistencia R_{cu} del siguiente valor:

$$R_{cu} = \frac{P_{cu}}{(I_{oper})^2} = \frac{10,13}{(1,95 \text{ Amp})^2} = 2,66 \Omega$$

Valor que también puede ser calculado por la ecuación (5.1.3.5)

$$R_{cu} = 9,32 \Omega - \frac{25,3 \text{ vatios}}{(1,95 \text{ Amp})^2} = 2,666 \Omega$$

La resistencia en el hierro se obtiene a partir de la ecuación
(5.1.3.4),

$$\begin{aligned} R^*_{f} &= R_T - R_{cu} \\ &= 9,32 \Omega - 2,66 \Omega \\ &= 6,66 \Omega \end{aligned}$$

El volumen bruto del núcleo ferromagnético puede ser calculado a
partir de la siguiente ecuación:

$$V_B = \frac{W_B}{(P)_{esp.}} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.12})$$

donde

W_B = es el peso estimado del núcleo = 2,3 kg.

$(P)_{esp.}$ = es el peso específico del metal ferromagné
tico y es igual a 7,85 gm/cm³ (ver recua
dro en Anexo B-7-2)

Por tanto reemplazando valores en la ecuación (5.1.3.12 se tiene
de siguiente:)

$$V_B = \frac{2,3 \text{ kg}}{7,85 \text{ kg/mt}^3} \times 10^{-3} = 0,2929 \times 10^{-3}$$

$$V_B = 0,293 \times 10^{-3} \text{ mt}^3.$$

El volumen neto del núcleo ferrromagnético se lo calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_B = (V_B) (K) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.2.13})$$

$$= (0,293 \times 10^{-3} \text{ mt}^3) (0,96)$$

$$V_B = 0,2812 \times 10^{-3} \text{ mt}^3$$

Por tanto las pérdidas totales en el núcleo ferrromagnético debido a las corrientes parásitas pueden ser calculadas reemplazando valores en la ecuación (5.1.3.8)

$$P'e = (V_B \cdot K) \cdot P_e$$

$$= (0,2812 \times 10^{-3}) (19.404 \text{ vatios/mt}^3) (\text{mt}^3)$$

$$= 5.454,40 \times 10^{-3} \text{ vatios.}$$

$$P'e = 5,456 \text{ vatios.}$$

Las pérdidas por histéresis se calculan a partir de la ecuación (5.1.3.6.)

$$P'_H = P_f - P'e$$

$$= 25,3 \text{ vatios} - 5,456 \text{ vatios}$$

$$= 19,84 \text{ vatios.}$$

Las pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas pueden ser representadas en (%) respecto de la potencia total del balasto

$$P_B = 35,43 \text{ vatios} = 100\%$$

$$P'_H = 19,84 \text{ vatios} = 55,9\%$$

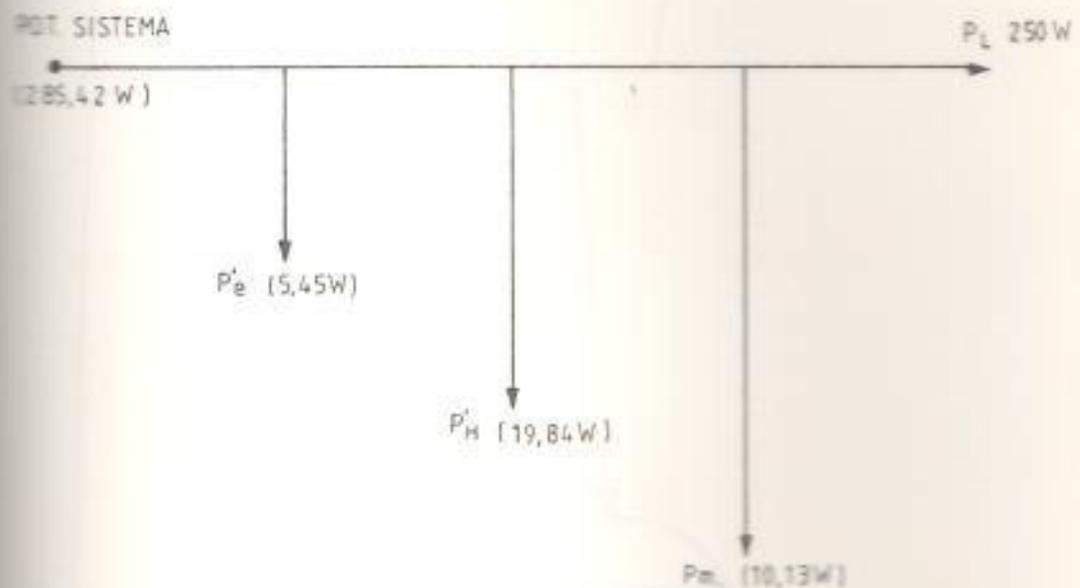
$$P'e = 5,45 \text{ vatios} = 15,4\%$$

$$P = 10,13 \text{ vatios} = 28,7\%$$

representando en un diagrama de potencia para el sistema

(BALASTO-LAMPARA) los valores anteriores, se tiene lo siguiente:

(Ver figura # 5.1.3.4.a)



(FIGURA # 51.3.4.a.)

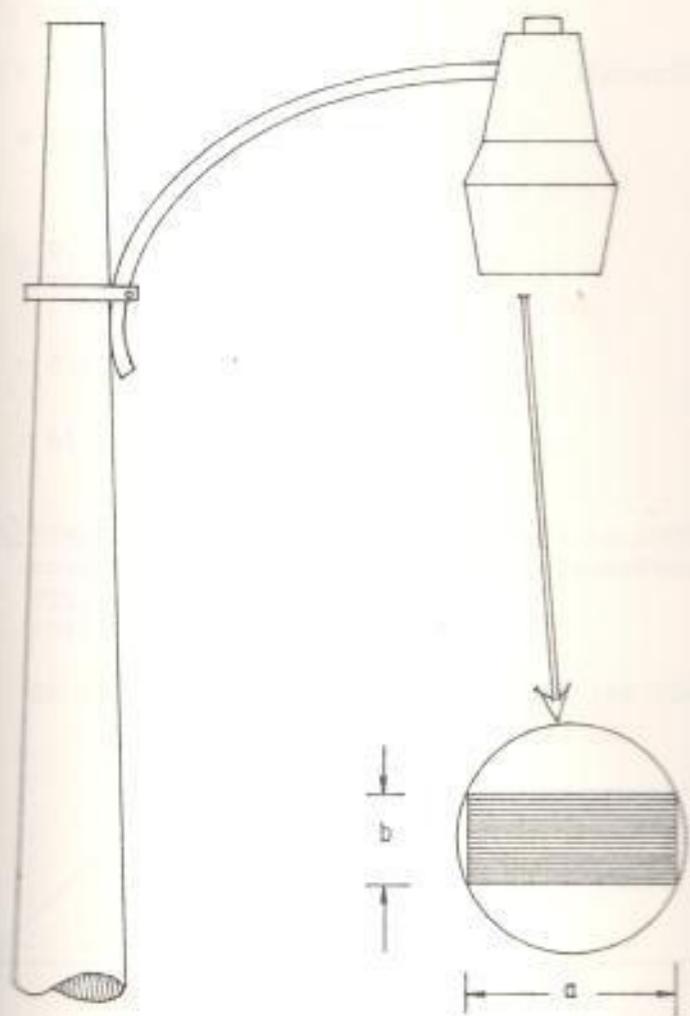
DIAGRAMA DE POTENCIA PARA EL SISTEMA BALASTO-LAMPARA

Se puede establecer de manera general, que las pérdidas de potencia en el núcleo ferromagnético debido a histéresis más corriente parásitas, son mayores que las pérdidas en el devanado de cobre -

Para facilitar el montaje del balasto en la luminaria, en el diseño del núcleo se requiere que las dimensiones de la base del mismo sean las siguientes:

$$a = 95,0 \text{ m.m.}$$

$$b = 50,0 \text{ m.m.}$$



(FIGURA # 5.1.3.4 b.)

DIMENSIONES PARA LA BASE DEL NUCLEO REQUERIDAS EN LA LUMINARIA

La ecuación (5.1.3.12) puede ser expresada también del modo

siguiente:

$$V_B = a.b.h. \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.14})$$

$$= (95\text{m.m} \cdot 50\text{ mm}) h.$$

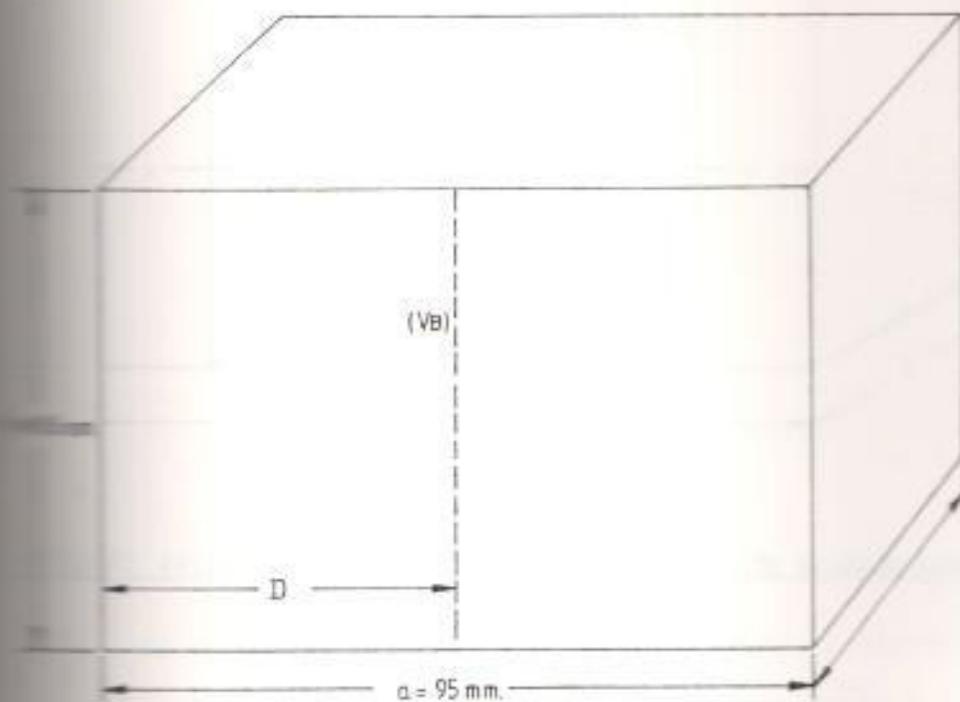
$$h = \frac{0,293 \times 10^{-3} \text{ mt}^3}{4,750 (\text{m.m.})^2}$$

$$= 0,6168 \times 10^2 \text{ mts.}$$

$$h = 61,68 \text{ m.m.}$$

5.1.3.5) DIMENSIONES DEL VOLUMEN BRUTO PARA EL NUCLEO FERROMAGNETICO
=====

En la figura # 5.1.3.5. se indican las dimensiones de



(FIGURA # 5.1.3.5.)

DIMENSIONES DEL VOLUMEN BRUTO DEL NUCLEO

5.1.3.6) DISEÑO DE LAS VENTANAS DEL NUCLEO

Definiendo $a = D = \frac{1}{2} a$ (ver figura # 5.1.3.5) y con

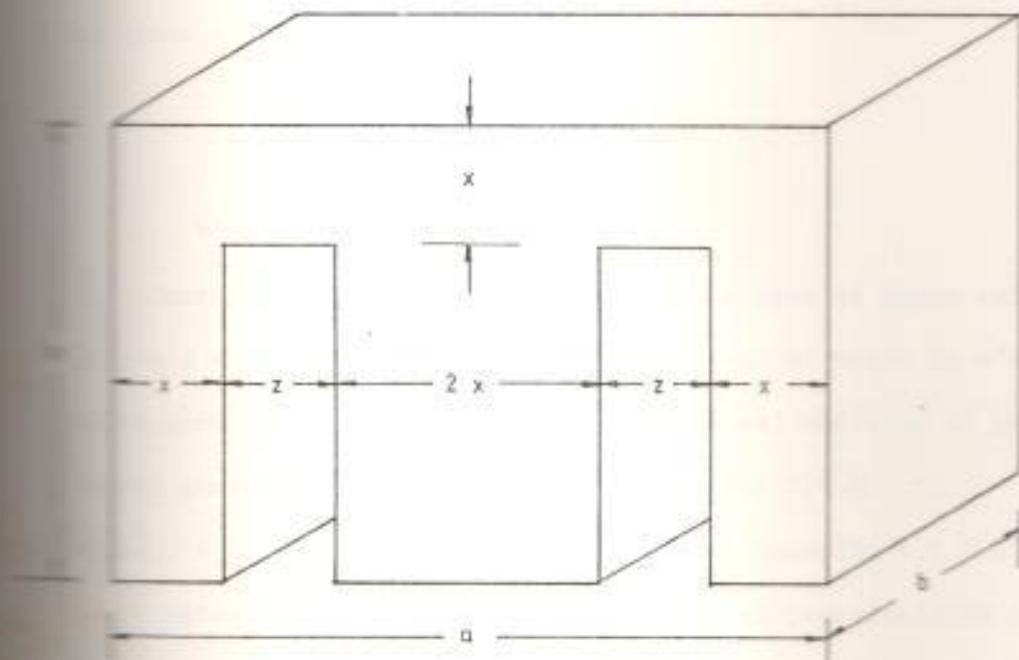
el criterio siguiente:

El ancho de las láminas ferromagnéticas E - I tiene que estar comprendido en el intervalo siguiente:

$$1/4 D < x < 1/2 D$$

Tomando a $X = 1/3D$ procederemos a hacer el diseño preliminar para las ventanas del núcleo (Ver figura # 5.1.3.6.a)

$$X = \frac{1}{3} (47,5 \text{ m.m.})$$



(FIGURA # 5.1.3.6.a)

CONDICIONES PRELIMINARES DE LAS VENTANAS DEL NUCLEO CON UN ANCHO PARA LAS CHAPAS DE $X = 15,8 \text{ mm}$

El volumen desalojado por las ventanas en el diseño preliminar

$$V_D = 2Z b (h - x) \quad \text{(Ecuación 5.1.3.15)}$$

Pero ($Z = X$).

Por tanto la ecuación (5.1.3.15) puede ser expresada del modo siguiente:

$$\begin{aligned}V_D &= 2bx (h-x) \\ &= 2(50 \text{ m.m.})(15,8 \text{ m.m.})(61,6 \text{ m.m.} - 15,8 \text{ m.m.}) \\ V_D &= 72364 \text{ m.m.}^3\end{aligned}$$

La ecuación (5.1.3.15) también puede expresarse del modo siguiente:

$$V_D = a.b.h' \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.16})$$

donde $h' = \frac{V_D}{a.b.}$ es la distancia que hay que regresar a (h) para recuperar el volumen desalojado por las ventanas para así obtener el tamaño o ancho preliminar para las chapas tipo I y así se tiene lo siguiente:

$$h' = \frac{72.364 \text{ m.m.}^3}{(95 \text{ mm})(50\text{mm})} = 15,23 \text{ m.m.}$$

$$h' = 15,23 \text{ m.m.}$$

Centrando la posición de las ventanas para el nuevo valor de altura $J = h + h'$, procederemos a determinar el valor de x' (nuevo valor para el ancho de las chapas magnéticas) mediante el procedimiento geométrico indicado en la figura (5.1.3.6.b)

$$\text{donde } J = h + h' = 76,83 \text{ m.m.} \quad (\text{Ecuación 5.1.3.17})$$

determinamos los puntos P, P' y Q' por el procedimiento geomé

Las distancias $\overline{PQ} = 16 \text{ mm.}$ y $\overline{P'Q'} = 13,5$ lo que más se aproxima a $x = 15,8 \text{ m.m.}$ es justamente la distancia $\overline{PQ} = X = 16 \text{ mm.}$

El nuevo volumen desalojado por las ventanas cuando se reemplaza x por x' , puede calcularse del modo siguiente:

$$\begin{aligned} V_D' &= 2(Z' \cdot b)(h - X') && \text{(Ecuación 5.1.3.18)} \\ &= 2(D - 2x')(b)(h - x') \\ &= 2(47,5 \text{ m.m.} - 2(16 \text{ mm}))(50 \text{ mm})(61,1 \text{ mm.} - 16 \text{ mm.}) \\ &= 69.905,0 \text{ m.m.}^3 \end{aligned}$$

Este nuevo volumen desalojado también puede ser expresado del modo siguiente:

$$V_D = a \cdot b \cdot h'' \quad \text{(Ecuación \# 5.1.3.19).}$$

$$\text{De donde } h'' = \frac{V_D'}{a \times b}$$

entonces es:

$$\begin{aligned} h'' &= \frac{69.905 \text{ m.m.}^3}{(95 \text{ m.m.})(50 \text{ mm})} = \\ &= 14,71 \text{ m.m.} \end{aligned}$$

5.1.3.7) CALCULO DEL ENTREHIERRO PARA EL CIRCUITO MAGNETICO

Tomando el entrehierro del circuito magnético como el 5% de $2x'$ ($2x'$ es la longitud más corta de la sección del circuito magnético, ver figura 5.1.3.6.a).

Con este valor de entrehierro obtenemos un diseño lo más próximo al valor óptimo (ver anexo D-1-8)

$$lg = 0,05 (32,0 \text{ m.m.}) = 1,60 \text{ m.m.}$$

$$lg = 1,60 \text{ m.m.}$$

El volumen desalojado por el entrehierro V_g , puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$V_g = (2x') (b)(lg) \quad \text{(Ecuación \# 5.1.3.20)}$$

$$= 2(16 \text{ m.m.})(50 \text{ m.m.})(1,6 \text{ m.m.})$$
$$V_g = 2,560 \text{ m.m.}^3$$

El volumen V_g también puede ser expresado del modo siguiente:

$$V_g = a.b.h^{***} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.21})$$

donde h^{***} es la altura que hay que agregar al valor de (J), para recuperar el volumen desalojado por el entrehierro en el núcleo.

$$h^{***} = \frac{2560 \text{ mm.}^3}{(95 \text{ mm})(50 \text{ mm})} = 0,538 \text{ m.m.}$$

$$h^{***} = 0,538 \text{ m.m.}$$

La corrección para el valor de (x) puede hacerse mediante la siguiente ecuación:

$$x^{**} = \frac{(h^{**} + h^{***}) - x^*}{2} = x^* \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.22}).$$

$$= \frac{(14,71 \text{ m.m.} - 0,538 \text{ m.m.}) - 16}{2}$$

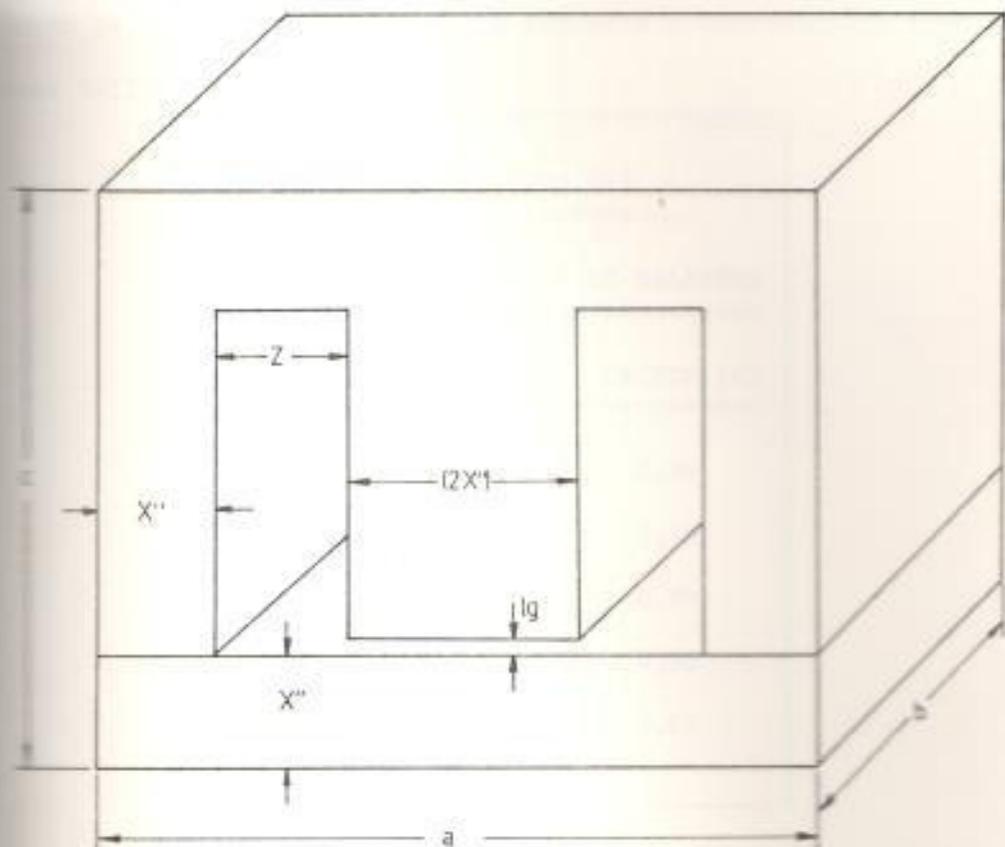
$$= (-0,914 + 16) \text{ mm.} = 15,086 \text{ m.m.}$$

$$x^{**} = 15,1 \text{ m.m.}$$

En la figura # 5.1.3.8 se indica el valor correspondiente al x^{**} para las chapas del núcleo ferromagnético.

5.1.3.8) DIMENSIONES FINALES PARA EL NUCLEO FERROMAGNETICO DEL

BALASTO



(FIGURA # 5.1.2.8)

DIMENSIONES FINALES PARA EL NUCLEO FERROMAGNETICO DEL BALASTO

donde:

$$a = 95 \text{ m.m.}$$

$$b = 50 \text{ m.m.}$$

$$c = 77,5 \text{ m.m.}$$

$$X'' = 15,1 \text{ m.m.}$$

$$Z = (D - 2X'') = 47,5 \text{ m.m.} - 2(15,1 \text{ m.m.}) = 17,3 \text{ m.m.}$$

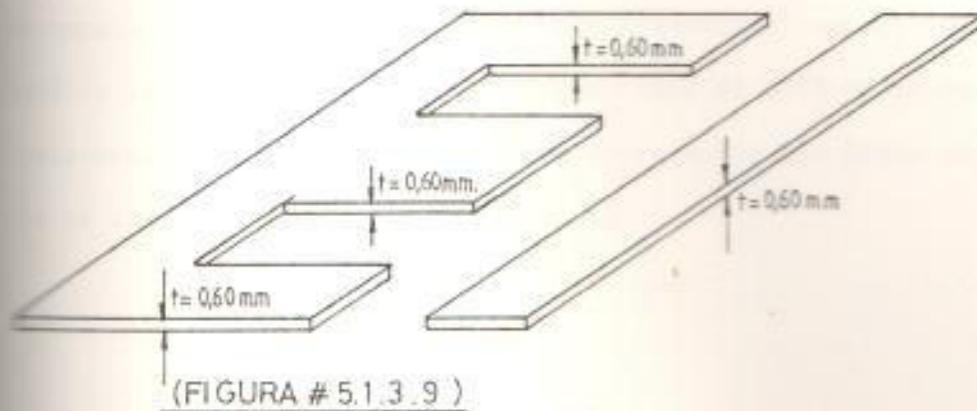
$$lg = 1,60 \text{ m.m.}$$

3.1.3.9) ESPESOR DE LA CHAPA PARA EL NUCLEO
=====

El espesor de las chapas que conforman el núcleo ferromagnético es de 0,60 m.m., correspondiéndole un factor de hacinamiento de $K = 0,96$ según la tabla expuesta a continuación (ver figura 3-11).

| FACTOR DE HACINAMIENTO (k) ===== | | |
|---|-----------|---------------------|
| PARA CHAPAS MAGNETICAS DE BALASTOS ===== | | |
| ESPESOR DE LA CHAPA ===== | | FACTOR (k) ===== |
| ESPESOR | 0,60 m.m | 0,96 |
| " | 0,50 m.m | 0,95 |
| " | 0,48 m.m | 0,94 |
| " | 0,35 m.m. | 0,92 |
| " | 0,15 m.m | 0,83 |

El corte de las chapas se las realizará en los flejes del núcleo ferromagnético, cuyo espesor es de $t = 0.60$ m.m. (ver figura 3.1.3.9).



CORTE DE CHAPAS CON $t = 0,60 \text{ mm}$

5.1.3.10) CALCULO DEL NUMERO DE CHAPAS
=====

$$n_{CH} = \left(\frac{b}{t}\right) \cdot K \quad \text{(Ecuación 5.1.3.23)}$$

$$= \left(\frac{50 \text{ m.m}}{0,60 \text{ m.m}}\right) (0,96)$$

$$n_{CH} = 80 \text{ chapas.}$$

5.1.3.11) AREA NETA DE SECCION TRANSVERSAL PARA EL CIRCUITO
=====
MAGNETICO
=====

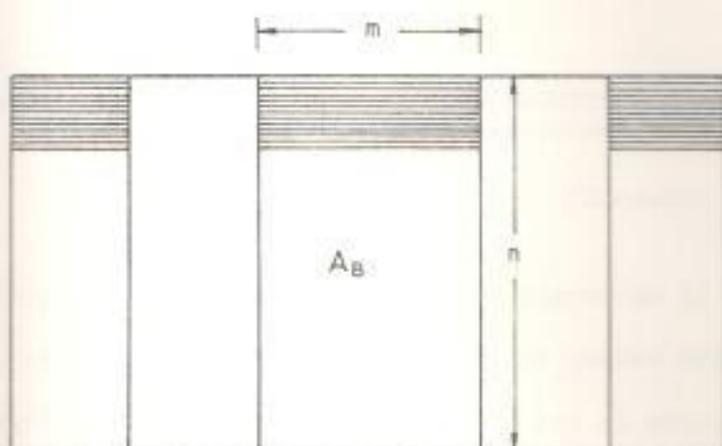
$$A_N = A_B \cdot K \quad \text{(Ecuación 5.1.3.23)}$$

$$= (2 \times 1) \cdot (b) \cdot k$$

$$= 2(15,1 \text{ m.m.})(50 \text{ m.m.})(0,96)$$

$$A_N = 1449,6 \text{ mm}^2$$

A causa de la deposición de óxido, o de otro aislante sobre el material de las chapas, rugosidad de estas y desigualdad de empacado sobre las láminas la sección transversal magnéticamente útil de los núcleos de chapa no llegan nunca al 100% de la sección transversal geométrica. La relación entre estas dos áreas es lo que se llama factor de hacinamiento (k).



(FIGURA # 5.1.3.11)

AREA BRUTA DEL CIRCUITO MAGNETICO

5.1.3.12) AREA NETA DEL ENTREHIERRO

De la figura # 5.1.3.11, y con el valor de l_g obtenido en 5.1.3.7, puede determinarse el área neta del entrehierro del siguiente:

$$\begin{aligned} (A_g)_N &= (m + l_g) (n + l_g) && \text{(Ecuación \# 5.1.3.25)} \\ &= (2x + l_g)(b + l_g) \\ &= (30,2 + 1,60)(50 + 1,60) \text{ mm}^2 \\ &= (31,8)(51,6) \text{ m.m.}^2 \end{aligned}$$

$$(A_g)_N = 1,640,88 \text{ m.m.}^2$$

5.1.3.13) LONGITUD EFECTIVA DEL ENTREHIERRO

$$(lg)_N = \frac{A_B}{(A_g)_N} \cdot lg \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.26})$$

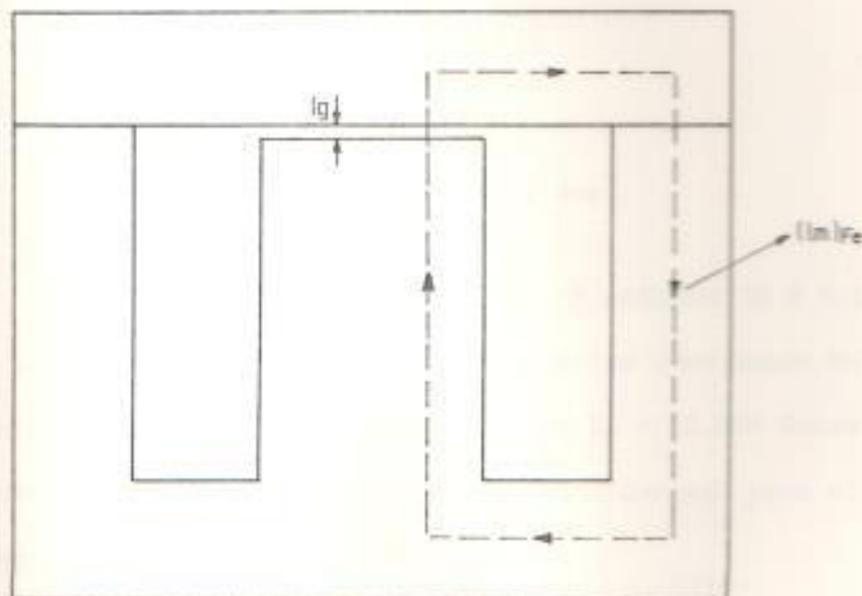
$$= \frac{(2x^2)(b)(lg)}{1,640,88 \text{ mm}^2} = \frac{2,215,0 \text{ mm.}^3}{1,640,88} = 1,47 \text{ m.m.}$$

$$(lg)_N = 1,47 \text{ m.m.}$$

5.1.3.14) LONGITUD MEDIA DEL CIRCUITO MAGNETICO

$$L_M = (lm)_{fe} + (lg)_N \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.27}).$$

Como $(lm)_{fe}$ es la longitud media en el hierro en la figura (# 5.1.3.14), se indica con líneas punteadas el camino seguido por el campo magnético tanto por el hierro como por el entrehierro.



(FIGURA # 5.1.3.14)

DIMENSIONES PARA lg Y (lm)_{Fe}

De la figura # 5.1.3.14 determinamos los valores de $l_{m_{fe}}$, y

$$(l_m)_{fe} = 189,4 \text{ m.m.}$$

$$(l_g)_N = 1,47 \text{ m.m.}$$

Después se tiene que:

$$\begin{aligned}
 L_M &= (l_m)_{fe} + (l_g)_N \\
 &= 189,4 \text{ m.m.} + 1,47 \text{ m.m.} =
 \end{aligned}$$

$$L_M = 190,87 \text{ m.m.}$$

5.1.3.15) CALCULO DEL NUMERO DE ESPIRAS DE LA BOBINA A PARTIR DE
 =====
 LA LEY DE AMPERE Y LAS DIMENSIONES DEL NUCLEO
 =====

La ley de ampere establece que la integral curvilínea de la intensidad del campo magnético a lo largo del camino cerrado es igual a la suma de los Ampervueltas con los cuales está concatenado.

esto es:

$$\oint H \cdot dl = N_m \cdot I$$

donde:

$$I = \frac{I_{arr.} + I_{operación}}{2} = 2,82 \text{ Amp}$$

$$N_m (2,82 \text{ Amp}) = H_f \cdot l_f + (H_g \cdot l_g)_{ef} \text{ (Ecuación \# 5.1.3.28)}$$

De las curvas para el metal ferromagnético (ver anexo B-7-2)

Con una densidad de campo magnético de $B_f = 12.800$ Gauss, le corresponde una $H_f = 520 \frac{\text{Amp. Espira}}{\text{mt}}$, y considerando para el circuito magnético que σ_f es igual al σ_g .

$$\sigma_f = \sigma_g \quad \text{(Ecuación \# 5.1.3.29)}$$

Pero

$$\theta_f = A_N B_f \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.30})$$

De acuerdo a la ecuación # 5.1.3.29 se tiene lo siguiente:

$$\theta_g = A_N B_f$$

Por otro lado se tiene que la densidad de campo magnético y la intensidad del campo magnético en el entrehierro están relacionados mediante la siguiente ecuación:

$$B_g = \mu_g H_g \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.31})$$

$$H_g = \frac{B_g}{\mu_g}$$

$$= \frac{\theta_g}{\mu_g (A_g)_N} = \frac{A_N B_f}{\mu_g (A_g)_N}$$

$$H_g = \frac{A_N B_f}{\mu_g (A_g)_N} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.32})$$

Reemplazando valores en la ecuación # 5.1.3.32 se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} H_g &= \frac{(1.449,6 \text{ m.m}^2) (1,28 \text{ Weber/mt}^2)}{(4 \times 10^{-7}) (1.640,88 \text{ m.m}^2)} \\ &= 899,952 \frac{\text{Amp.Esp.}}{\text{mt}} \end{aligned}$$

Considerando para la corriente un valor promedio entre la corriente de arranque y la de operación normal tenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned} I &= \frac{(I_{arrq} + I_{op.})}{2} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.33}) \\ &= \frac{3,7 \text{ Amp.} + 1,95 \text{ Amp.}}{2} \end{aligned}$$

$$I = 2,82 \text{ Amperios}$$

Reemplazando valores en la ecuación # 5.1.3.28 se tiene lo siguiente:

$$I_m = \frac{(520 \frac{\text{Amp. Esp.}}{\text{mt}}) (189,4 \times 10^{-3} \text{ mt}) + (899852 \frac{\text{Amp. Esp.}}{\text{mt}}) (1,47 \times 10^{-3} \text{ mt})}{2,82 \text{ Amp.}}$$

$$I_m = \frac{98,48 \text{ Amp. Esp.} + 1322,78 \text{ Amp. Esp.}}{2,82 \text{ Amp.}}$$

$$= 503,9 \text{ Espiras} \approx 500$$

$I_m = 500$ Espiras.

(5.1.3.16) CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL BALASTO Y SU CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO

El balasto esta basicamente constituido por los siguientes parámetros.

R_{Cu} = Resistencia del devanado de cobre (bobina)

R'_f = Resistencia del hierro, la que produce pérdidas en el núcleo ferromagnético.

X'_T = Reactancia total del reactor, que a su vez está constituida por la reactancia de magnetización (X_m) y la reactancia inductiva (X_L).

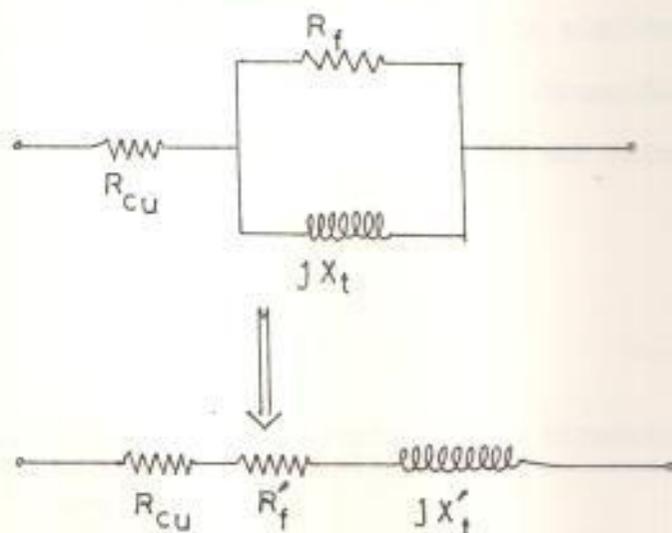


FIGURA # 5-1-3-16
CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO

Estos parámetros pueden ser representados en un circuito equivalente aproximado como se indica en la figura # 5.1.3.16.

La resistencia (R_{cu}) puede ser calculada para el valor promedio de la longitud de la bobina mediante la siguiente ecuación:

$$R_{cu_0} = \rho_{cu} \frac{\bar{l}}{A} \quad \text{a } 20^\circ\text{C} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.34})$$

donde

$\rho_{cu} = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, es la resistividad del cobre.

$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$, es el área de sección transversal del conductor de la bobina, siendo (D) el diámetro del conductor desnudo.

\bar{l} = Es la longitud media de la bobina expresado en metros y es igual a $l_m \cdot N$, siendo l_m la longitud media de las espiras, y N el número de espiras.

La ecuación # 5.1.3.34 determina la resistencia del cobre a la temperatura ambiente. La resistividad de un metal puro aumenta al aumentar la temperatura, en un 0,4% de su valor a 20°C por cada grado centígrado sobre los 20°C , y este nuevo valor de R_{cu} para una temperatura de 105°C que suele ser la temperatura normal de operación, se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$R_{cu} = R_{cu_0} \left[1 + \alpha_{cu} \cdot (t_2 - t_1) \right] \quad (\text{Ecuación \# 1.5.3.35})$$

Como se vio anteriormente R_{cu_0} puede ser calculado mediante la fórmula # 5.1.3.34

$$R_{cu_0} = (1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}) \frac{\bar{l}}{A}$$

\bar{l} puede determinarse a partir de las dimensiones de la bobina (Ver figura # 5.1.3.17)

La longitud media de las espiras es l_m

$$l_m = 228,4 \text{ m.m.}$$

Por tanto

$$l = (0,2284 \text{ mts}) (500)$$

$$= 114,2 \text{ mts.}$$

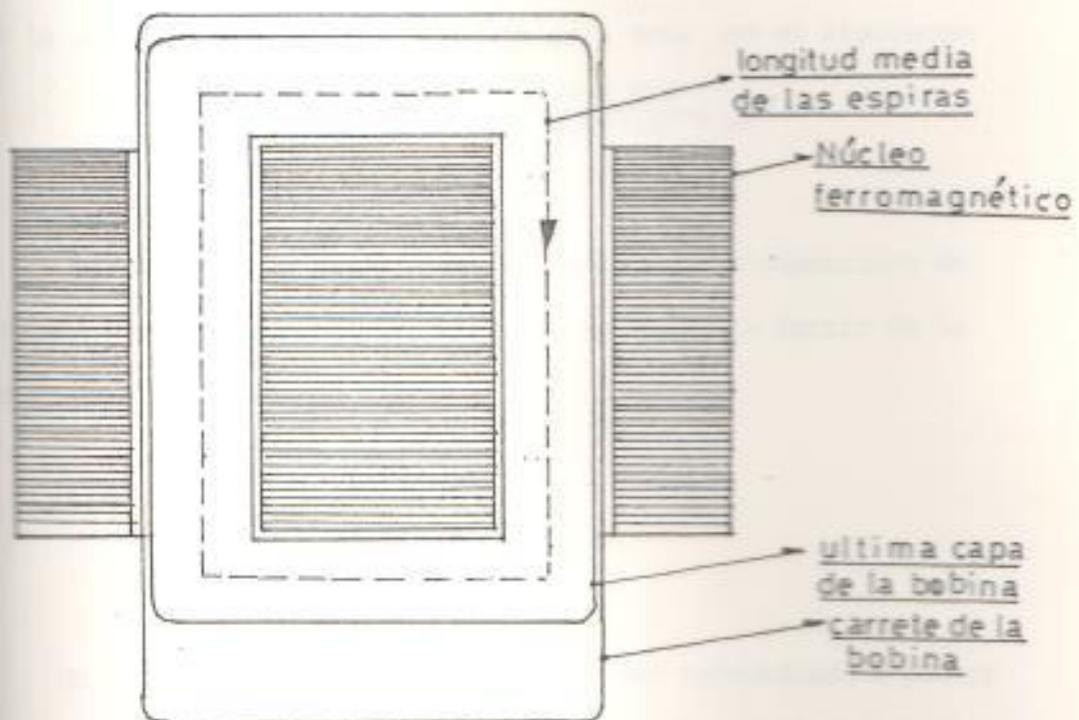


FIGURA # 5.1.3.17

LONGITUD MEDIA DE LAS ESPIRAS

El área del conductor de cobre está dada mediante la siguiente ecuación:

$$A = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.36})$$

El diámetro del conductor desnudo para la bobina se lo determina a partir de las tablas indicadas en los anexos (E-4), (E-5), y el (E-7) para una densidad de corriente de $J = 2,5 \left(\frac{\text{Amperios}}{\text{m.m.}^2} \right)$, correspondiéndole el # 19 A.W.G. de cobre esmaltado de doble capa.

Diámetro del conductor desnudo # 19 = 0,912 m.m.

Por tanto

Se tiene en la ecuación # 5.1.3.36 el siguiente valor -
para A:

$$A = \pi \left(\frac{0,912 \text{ m.m.}}{2} \right)^2 = 0,6532 \text{ m.m}^2$$

$$A = 0,6532 \times 10^{-6} \text{ mt}^2$$

de la ecuación # 5.1.3.34. el valor para R_{cu_0} es el siguiente:

$$R_{cu_0} = (1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{mt}) \left(\frac{114,2 \text{ mts}}{0,653 \cdot 10^{-6} \text{ mt}^2} \right)$$

$$R_{cu_0} = 2,97 \Omega$$

El valor de la resistencia del cobre a la temperatura de régimen normal de operación puede ser calculada a partir de la ecuación # 5.1.3.35.

$$R_{cu_m} = 2,97 \Omega \left[1 + 0,004 (105^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \right]$$

$$R_{cu_m} = 3,979 \Omega$$

Un valor promedio para (Rcu) puede ser determinado a partir de los valores obtenidos de las ecuaciones (5.1.3.5) y (5.1.3.35)

$$R_{cu} = \frac{R_{cu_m} + R_{cu_n}}{2} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.37})$$

$$R_{cu} = \frac{3,9 \Omega + 2,7 \Omega}{2} = 3,3 \Omega$$

$$R_{cu} = 3,3 \Omega$$

La Resistencia en el fierro R'_f puede ser calculada median
te la siguiente ecuación:

$$R'_f = R_T - R_{cu}$$

$$R'_f = \frac{P_B}{I(\text{op})^2} - R_{cu} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.38})$$

$$R'_f = \frac{35,43 \text{ Vatios}}{(1,95 \text{ Amp})^2} - 3,3\Omega = 6,01\Omega$$

$$R'_f = 6,01 \Omega$$

La inductancia para el reactor inductivo se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{4\pi N^2 AK \mu_{avg} \times 10^{-9} \text{ Henrios}}{LM} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.3.39})$$

DONDE

$$N = 500 \text{ espiras}$$

$$A.K = A_N = 1,449,6 \times 10^{-6} \text{ mt}^2$$

μ_{avg} = permeabilidad promedio del circuito magnético.

$$\begin{aligned} \mu_{ave} &= \frac{\mu_{c.a.}}{1 + \frac{(lg)N}{LM}} \mu_{c.a.} \\ &= \frac{2000}{1 + \frac{1,47 \text{ m.m.}}{190,87 \text{ m.m.}}} 2000 \\ &= 121,9 \quad \text{M.K.S.} \end{aligned}$$

LM = longitud media del circuito magnético

$$= 190,87 \text{ m.m.}$$

Reemplazando valores en la ecuación # 5.1.3.39 se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} L &= \frac{4\pi(500)^2 (1,449,6 \times 10^{-6}) (122) (10^{-9}) \text{ Henrios}}{190,87 \times 10^{-3}} \\ &= 2,91 \times 10^{-3} \text{ Henrios} \end{aligned}$$

$$L = 3 \text{ m.H.}$$

La reactancia inductiva puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} jX_L &= j2\pi f L \\ &= j2\pi (60) (2,91 \times 10^{-3} \text{ Henrys}) \text{ (Ecuación \# 5.1.3.40)} \end{aligned}$$

$$jX_L = j1,097 \Omega$$

La reactancia de magnetización se podrá calcular mediante la siguiente ecuación:

$$jX_m = jX'_T - jX_L \quad \text{(Ecuación \# 5.1.3.41)}$$

donde

X_T es la reactancia total del reactor y que puede ser calculada mediante la ecuación # 5.1.3.3 y la corriente de operación esto es:

$$jX'_T = \frac{j U_L}{I(\text{Operación})} \quad \text{(Ecuación \# 5.1.3.42)}$$

$$X'_T = \frac{156,9 \text{ (Voltios)}}{1,95 \text{ (Amperios)}}$$

$$jX'_T = 80,46 \Omega$$

Reemplazando valores en la ecuación # 5.1.3.41, se tiene el siguiente valor para la reactancia de magnetización:

$$jX_m = j80,46 - j1,097$$

$$jX_m = j79,36 \Omega$$

El circuito equivalente simplificado para el balasto puede ser representado de la forma indicada en la figura # 5.1.3.18.

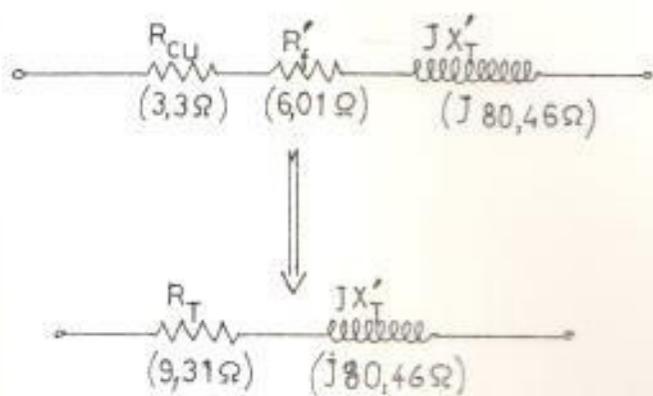


FIGURA # 5-1-3-18
CIRCUITO EQUIVALENTE SIMPLIFICADO
DEL BALASTO

(5.1.3.17) DIAGRAMAS FASORIALES DE LOS VOLTAJES EN EL SISTEMA
PARA LAS CONDICIONES DE ARRANQUE Y DE ESTADO ESTABLE

En el arranque tenemos los siguientes valores para las variables de interés (Ver diagrama fasorial en la figura # 5.1.3.18).

$$\begin{aligned}
 U_{c_0} &= I(\text{arrq}) \cdot R_C \\
 &= I(\text{arrq}) \cdot \left(\frac{25\% P_L}{I_{\text{arrq}}^2} \right) \\
 &= \frac{(0,25)(250 \text{ vatios})}{(3,7 \text{ Amperios})}
 \end{aligned}$$

$$U_{c_0} = 16,8 \text{ voltios}$$

$$V_{LL} = 220 \text{ voltios}$$

$$U_B = 218 \text{ Voltios}$$

$$I(\text{arrq}) = 3,7 \text{ Amperios}$$

$$U_{rc} = (3,7 \text{ Amperios}) (2,9\Omega + 6,0\Omega)$$

$$U_{rc} = 33 \text{ voltios}$$

$$Z_o = \frac{218 \text{ Voltios}}{3,7 \text{ Amperios}} = 58,9\Omega$$

$$Z_o = 58,9\Omega$$

$$Z_o = R_o + jX_o$$

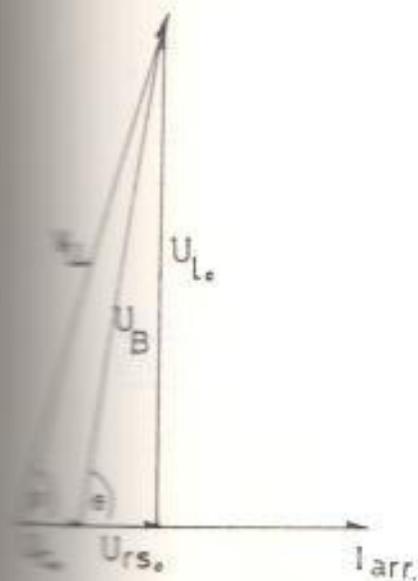
$$\begin{aligned} X_o &= \sqrt{Z_o^2 - R_o^2} \\ &= \sqrt{(58,9)^2 - (8,9)^2} \\ &= \sqrt{3469,2 - 79,2} \end{aligned}$$

$$X_o = 58,22\Omega$$

Por tanto

$$\begin{aligned} U_{L_o} &= I(\text{arrq}) (jX_o) \\ &= (3,7 \text{ Amp.}) (58,22\Omega) \end{aligned}$$

$$U_{L_o} = 215,41 \text{ Voltios.}$$



$$V_{LL} = 220 \text{ Voltios}$$

$$U_{B_o} = 218 \text{ Voltios}$$

$$U_{rc_o} = 33 \text{ Voltios}$$

$$U_{c_o} = 16 \text{ Voltios}$$

$$U_{L_o} = 215 \text{ Voltios}$$

$$I(\text{arrq}) = 3,7 \text{ Amperios}$$

$$\beta = 77,1^\circ$$

$$\theta = 81,2^\circ$$

Quando el sistema balasto lámpara alcanza el estado estable los valores para las variables de interés son los siguientes:

$$U_{LL} = 220 \text{ Voltios}$$

$$U_B = 158 \text{ Voltios}$$

$$U_{rc} = 19 \text{ Voltios}$$

$$U_L = 156,9 \text{ Voltios}$$

$$I(\text{oper}) = 1,95 \text{ Amperios}$$

$$U_c = 135 \text{ voltios}$$

$$\beta = 45,5^\circ$$

$$\theta = 83^\circ$$

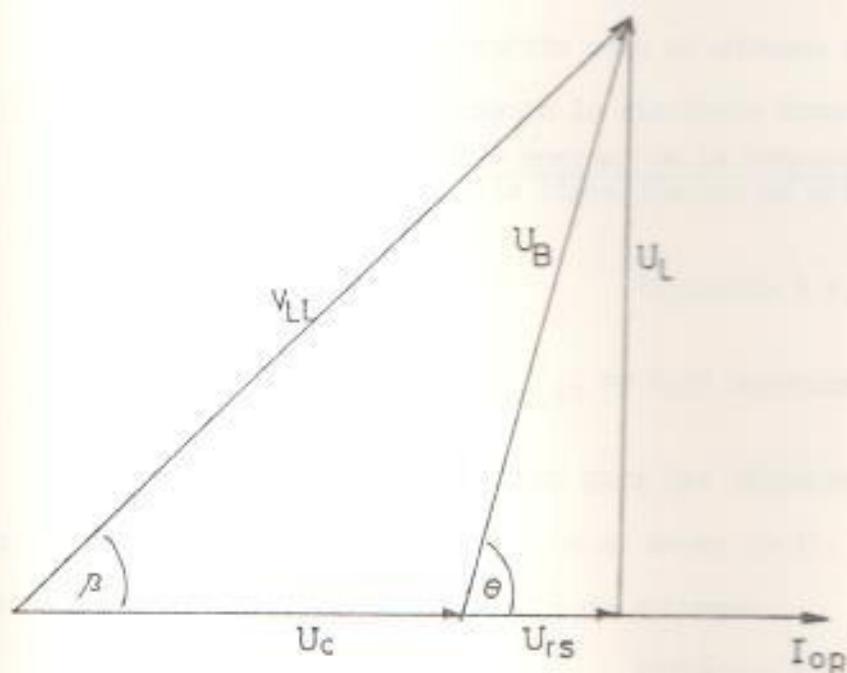


FIGURA # 5.1.3.20

DIAGRAMA FASORIAL DEL SISTEMA BALASTO-LAMPARA EN LA CONDICION DE ESTADO ESTABLE

(5.1.4.) DISEÑO DE UN BALASTO PARA ENERGIZAR UNA LAMPARA DE VAPOR DE MERCURIO DE 400 VATIOS CON LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS.

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| <u>TENSION DE LA LAMPARA</u> | 135 Voltios (Uc) |
| <u>POTENCIA NOMINAL DE LA LAMPARA</u> | 400 Vatios (P1) |
| <u>TENSION DE LA RED</u> | 220 Voltios (VLL) |
| <u>FRECUENCIA DE LA RED</u> | 60 Hz (f) |

(5.1.4.1) CORRIENTES DE ARRANQUE Y DE OPERACION

Considerando una pérdida de potencia en el balasto de aproximadamente el 20% de la potencia nominal de la lámpara, esto es $0,20 (400w) = 80w$ para P_B (Potencia disipada en el balasto).

La corriente nominal de operación para el sistema de balasto lámpara, se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} I \text{ (operación)} &= \frac{1,2 \text{ (Potencia nominal de la lámpara)}}{\text{(Tensión de la línea) (factor de potencia)}} \\ &= \frac{1,2 (P1)}{VLL (f.p.)} \quad \text{(Ecuación \# 5.1.4.1)} \\ &= \frac{1,2 (400 \text{ vatios})}{(220 \text{ voltios}) (0,67)} = 3,25 \text{ Amperios.} \end{aligned}$$

De acuerdo a la curva de arranque para las lámparas de descarga en mercurio gasificado indicado en el anexo (A-1), se tiene el siguiente valor para la corriente de arranque:

$$\begin{aligned} I \text{ (arr)} &\cong 1,60 I \text{ (op)} \quad \text{(Ecuación \# 5.1.4.2)} \\ &\cong 1,60 (3,25 \text{ Amperios}) \end{aligned}$$

$$I \text{ (arr)} \cong 5,20 \text{ Amperios}$$

Estimando una densidad de corriente de $J = 2,5 \frac{\text{Amp}}{\text{m.m.}}$ para el tipo de conductor a usar en este sistema de $f = 60 \text{ Hz}$. (de acuerdo a las tablas indicadas en los Anexos (E-4) y (E-4), se puede determinar el calibre del conductor del modo siguiente:

Para la $I(\text{op}) = 3,25$ Amperios.

$$J = 2,5 \frac{\text{Amperios}}{(\text{m.m.})^2} = \frac{I}{A} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.3})$$

donde se tiene lo siguiente:

$$A = \frac{I}{2,5 \frac{\text{Amperios}}{(\text{m.m.})^2}} = \frac{3,25 \text{ Amperios}}{2,5 \frac{\text{Amperios}}{(\text{m.m.})^2}}$$

$$A = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 = 1,30 (\text{m.m.})^2$$

luego:

$$D = \frac{1,30 (\text{m.m.})^2 (4)}{\pi}$$

$$D = 1,28 \text{ m.m.}$$

donde

D = diámetro del conductor desnudo.

El número del conductor apropiado para este diámetro es el # 15 de cobre esmaltado doble capa cuyo diámetro correspondiente (con esmalte doble capa) es el siguiente:

$$D_e = 1,38 \text{ m.m.}$$

5.1.4.2) CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL NÚCLEO FERROMAGNÉTICO Y LA BOBINA DEL BALASTO.

El núcleo ferromagnético y la bobina del balasto son dimensionados de acuerdo a los requerimientos de peso y volumen del mismo para poder obtener una caída de tensión apropiada en el momento del encendido de la lámpara, capaz de que limite la corriente en el arranque a 5,2 Amperios. Para esto es necesario un $Z_B = \frac{220 \text{ Voltios}}{5,2 \text{ Amp.}} = 42,30$ (en el arranque) siendo Z_B el valor aproximado para la impedancia limitadora de dicha corriente. En el momento que el sistema alcanza el estado estable, se tiene

La siguiente ecuación (Ver figura # 5.1.4.2.)

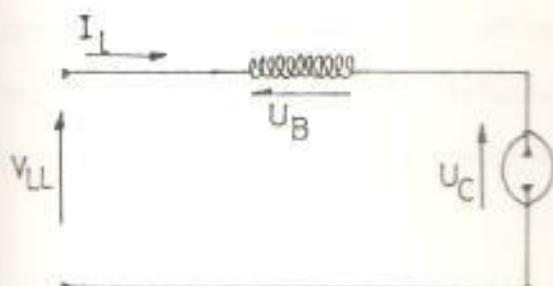


FIGURA # 5.1.4.2
DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA
EL SISTEMA BALASTO LAMPARA

$$\vec{V}_{LL} = \vec{U}_B + \vec{U}_C \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.4})$$

$$\vec{U}_B = 220 \angle \beta - 135 \angle 0^\circ$$

donde

$$\beta = \text{Arc. Cos.} (0,70) = 45,5^\circ$$

Por tanto

$$\begin{aligned} \vec{U}_B &= 220 \cos 45,5^\circ + j 220 \sin 45,5^\circ - 135 \angle 0^\circ \\ &= 154,19 \text{ voltios} + j 156,9 \text{ voltios} - 135 \text{ voltios.} \\ &= 20 \text{ voltios} + j 156,9 \text{ voltios.} \end{aligned}$$

esto es:

$$\vec{U}_B = 158,1 \angle 82^\circ \text{ voltios}$$

$$U_{rs} = 20 \text{ Voltios} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.5})$$

$$jU_L = 156,9 \text{ Voltios} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.6})$$

La potencia total consumida por el balasto puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} P_B &= I(\text{op})^2 \cdot R_T \\ &= I(\text{op})^2 \cdot (R_{CU} + R_f) \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.7}) \end{aligned}$$

Esta potencia disipada en el balasto (P_B) se distribuye en dos partes, una que se consume en el núcleo ferromagnético debido a histéresis, y a las corrientes parásitas, y la otra potencia se disipa en el cobre de la bobina, esto es:

$$P_B = P_{Cu} + P'_H + P'_e \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.8})$$

donde:

P_{Cu} = potencia disipada en el cobre

P'_H = potencia disipada por histéresis

P'_e = potencia disipada por corrientes parásitas.

La pérdida de potencia en el hierro en vatios por metro cúbico debido a las corrientes parásitas, puede ser determinada en base a la siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{\pi^2 B_m^2 f^2 t^2}{6 \rho_{(Ac-si)}} = \frac{\text{Vatios}}{\text{mt}^3} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.9})$$

Según los anexos (D-1-2) y el anexo (B-3).

donde:

$B_{\text{máx}}$ = es la máxima densidad de campo magnético en el núcleo.

f = es la frecuencia de la red

t = es el espesor de las chapas magnéticas

$\rho_{(Ac-si)}$ = es la resistividad del acero al silicio.

De los datos indicados en los anexos (B-7-2) (B-8), (B-9), (B-10), (Datos del fabricante de las chapas magnéticas).

Se pueden establecer los valores correspondientes para la ecuación # 5.1.4.7.

$$B_{\max} = 12.800 \text{ Gauss} = 1,28 \text{ Weber/mt}^2$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$t = 0,60 \text{ m.m.}$$

$$\rho_{(Ac-si)} = 18 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{mt}^3$$

Por tanto:

$$P_e = \frac{2 \left(1,28 \frac{\text{Weber}}{\text{mt}^2}\right)^2 (60 \text{ Hz})^2 (0,60 \times 10^{-3} \text{ mt})^2}{6 \times 18 \times 10^{-8} \frac{\text{mt}^3 \cdot \Omega}{\text{mt}^3 \cdot \Omega}}$$

$$P_e = 19.404,42 \text{ Vatios/mt}^3$$

Las pérdidas totales para el núcleo ferromagnético debido a las corrientes parásitas, puede calcularse del modo siguiente:

$$P'e = V_N \cdot P_e \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.10})$$

onde

$$V_N = V_B \cdot K \text{ es el volumen efectivo del núcleo}$$

$$V_B = \text{es el volumen en bruto para el núcleo}$$

$$K = \text{es el factor de hacinamiento tal como se indica en el anexo.}$$

$$P'_{H} = 4 P'e \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.11})$$

Con un peso de 4,66 Kg. para el núcleo ferromagnético podemos determinar el volumen en el bruto para dicho núcleo mediante la siguiente ecuación:

$$V_B = \frac{W_B}{p \text{ (esp)}} \quad (\text{ecuación \# 5.1.4.12})$$

onde

$$W_B = \text{es el peso de 4,66 Kg del núcleo}$$

$$p \text{ (esp)} = 7,85 \times 10^3 \text{ Kg/mt}^3$$

Desp se tiene lo siguiente:

$$V_B = \frac{4,66 \text{ Kg}}{7,85 \times 10^3 \text{ Kg/mt}^3} =$$

$$V_B = 0,5936 \times 10^{-3} \text{ mt}^3$$

Por tanto en la ecuación # 5.1.4.8 se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} P^e &= (0,5936 \times 10^{-3}) (0,96) (19.404,42) \text{ vatios} \\ &= 11,057 \text{ vatios} \end{aligned}$$

de la ecuación # 5.1.4.9, se tiene lo siguiente:

$$P_H = 4(11,057 \text{ vatios}) = 44,22 \text{ vatios} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.13})$$

$$P_f = P^e_H + P^e_e$$

$$= (44,22 + 11,05) \text{ Vatios}$$

$$= 55 \text{ vatios disipados en el núcleo}$$

La resistencia del devanado de cobre puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$(R_{cu})_m = \frac{P_{cu}}{(I_{op})^2} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.14})$$

De la ecuación # 5.1.4.8, se deduce que la pérdida de potencia en el cobre de la bobina es la siguiente:

$$P_{cu} = P_B - P_f$$

$$= 80 \text{ vatios} - 55 \text{ vatios}$$

$$P_{cu} = 25 \text{ vatios}$$

Luego en la ecuación # 5.1.4.14 tenemos lo siguiente:

$$(R_{cu})_m = \frac{25 \text{ vatios}}{(3,25 \text{ Amp})^2} = 2,36 \Omega$$

La resistencia del hierro que produce las pérdidas P_f puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$R_f = \frac{P_f}{I_{(op)}^2} = \frac{55 \text{ vatios}}{(3,25 \text{ Amp})^2} = 5,20 \Omega$$

luego $R_T = R_{cu} + R_f$ (Ecuación # 5.1.4.15)

$$= 2,36 \Omega + 5,20 \Omega$$

$$R_T = 7,56 \Omega$$

y las pérdidas totales en el balasto pueden ser también determinadas mediante la ecuación # 5.1.4.7.

$$P_B = (3,25 \text{ Amp})^2 (7,56) \Omega$$

$$= 79,85 \text{ vatios.}$$

$$= 80 \text{ vatios.}$$

Expresando en (%) las pérdidas en el balasto se pueden representar estas cantidades en un diagrama de potencia del modo siguiente: (ver figura # 5.1.4.3)

$$P_B = 80 \text{ vatios} = 100\%$$

$$P_{cu} = 25,0 \text{ vatios} = 31,2 \%$$

$$P_H = 44,2 \text{ vatios} = 55,2 \%$$

$$P_e = 11,0 \text{ vatios} = 13,6 \%$$

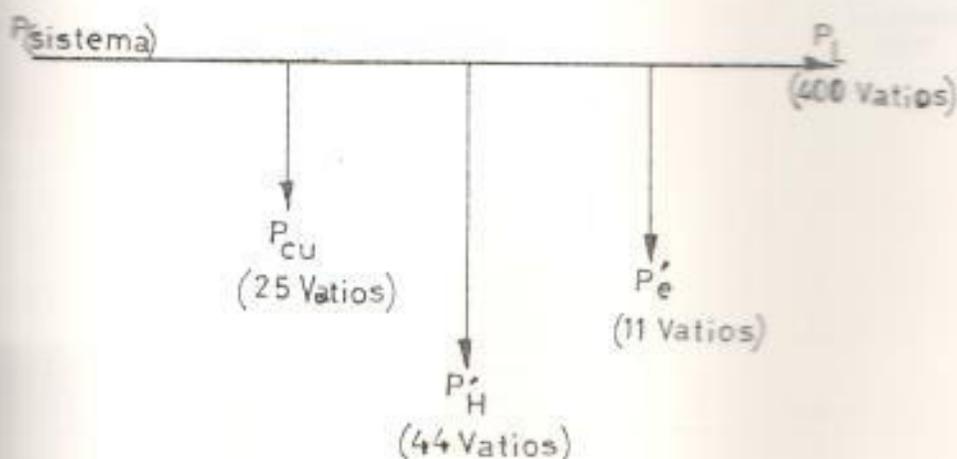
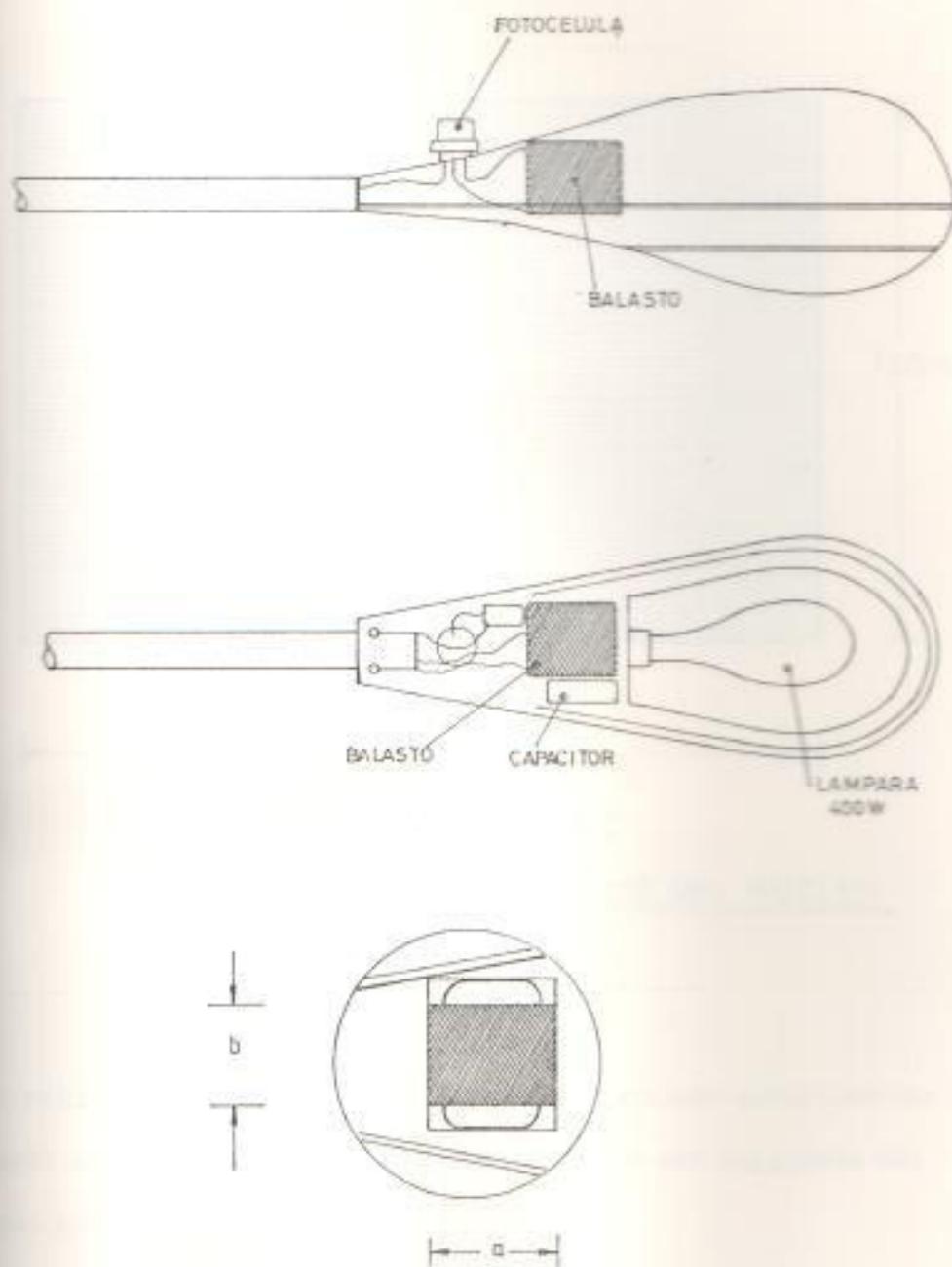


FIGURA # 5.1.4.3

DIAGRAMA DE POTENCIA PARA EL SISTEMA
BALASTO-LAMPARA

5.1.4.3) DIMENSIONES DEL NUCLEO FERROMAGNETICO

El volumen del núcleo ferromagnético tiene que ajustarse conjuntamente con su bobina en el lugar disponible en la luminaria para la lámpara de 400 vatios, tal como se indica en la figura # 5.1.4.3.a.



(FIGURA # 5.1.4.3.a)

ESPACIO DISPONIBLE PARA EL BALASTO

Las dimensiones para la base del balasto en el diseño del núcleo, son designadas por (a) y (b) como se indica en la figura # 5.1.4.3-a y en la figura # 5.1.4.3-b.

$$a = 108,3 \text{ m.m.}$$

$$b = 73,0 \text{ m.m.}$$

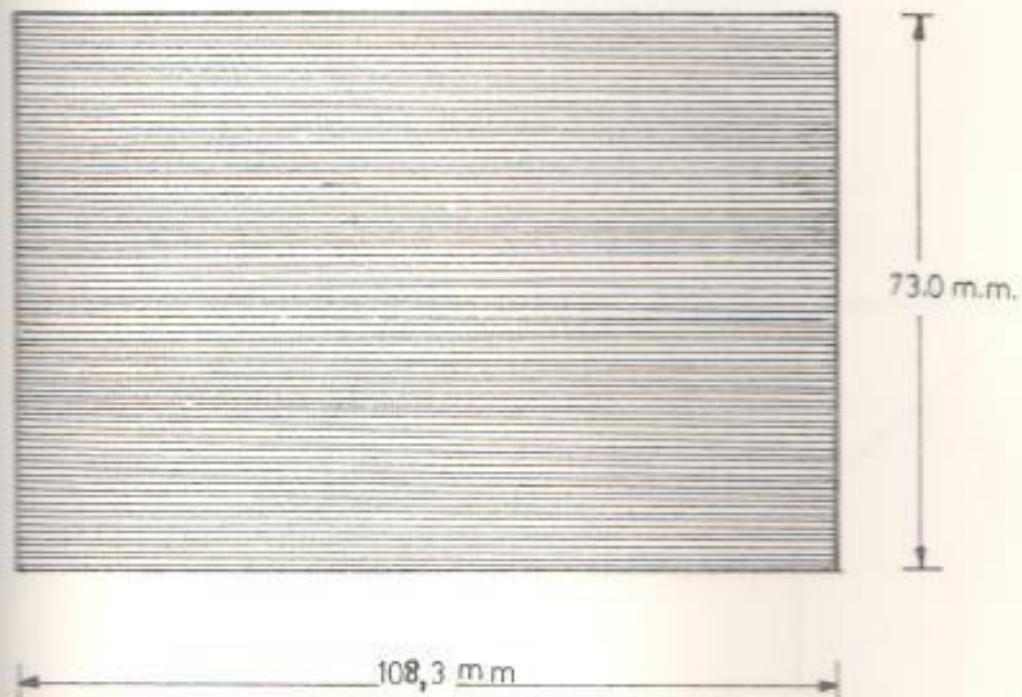


FIGURA # 5.1.4.3-b

DIMENSIONES PARA LA BASE DEL NUCLEO

El volumen en bruto del núcleo que fue calculado anteriormente según la ecuación # 5.1.4.12, puede también ser expresada del modo siguiente:

$$V_B = (a.b.h)$$

(Ecuación # 5.1.4.16)

de donde

$$h = \frac{V_B}{a \cdot b}$$
$$= \frac{593600 \text{ m.m.}^3}{(108,3 \text{ mm}) (73 \text{ m.m.})}$$
$$h = 7508 \text{ m.m.}$$

Por tanto las dimensiones del volumen en bruto para el balasto son las siguiente (Ver digura # 5.1.4.4.)

$$a = 108,3 \text{ m.m.}$$

$$b = 73,0 \text{ m.m.}$$

$$h = 75,08 \text{ .m.m}$$

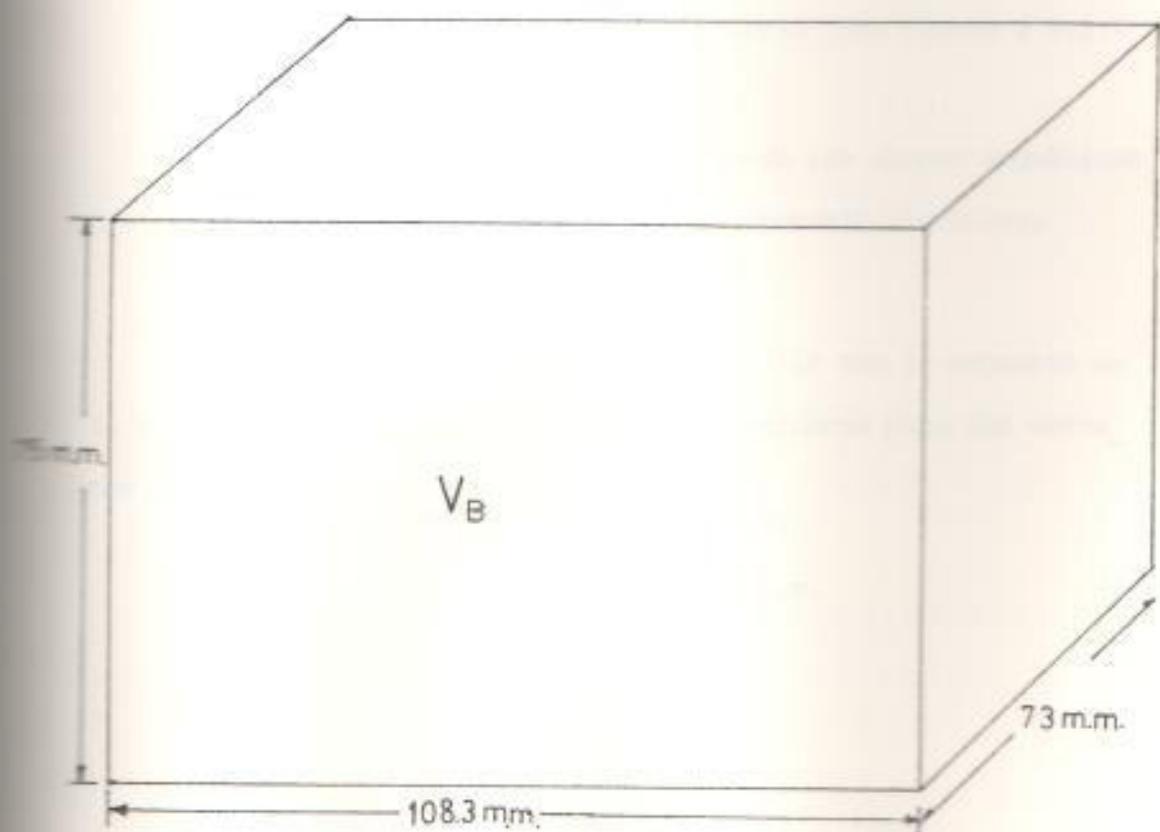


FIGURA # 5-1-4-4

DIMENSIONES PARA EL VOLUMEN BRUTO
DEL BALASTO

(5.1.4.5) DISEÑO DE LAS VENTANAS PARA EL NÚCLEO FERROMAGNETICO

Para el diseño de las ventanas del núcleo se tiene que considerar los siguientes puntos:

1. El circuito magnético tiene que ser lo más funcional posible, para así poder facilitar el montaje del diseño, además dicho circuito tiene que ser uniforme y simétrico en su presentación.
2. El flujo magnético se dirigirá longitudinalmente a lo largo de las chapas magnéticas cortadas en E y en I, conformando una juntura a tope. La bobina ocupará la parte central de las estructuras en E.
3. Las dimensiones de las ventanas son determinadas mediante el siguiente criterio (Ver figura # 5.1.4.5).

El valor de (x) para ancho de las chapas magnéticas estará comprendido en el intervalo siguiente:

$$\frac{1}{4} D < (x) < \frac{1}{2} D$$

Tomando un valor de $x = \frac{1}{3} D$ para cumplir con lo expuesto en 1. y en 2., se tiene las dimensiones preliminares para las ventanas del núcleo.

$$\text{con } D = \frac{1}{2} a = 54,15 \text{ m.m.}$$

$$x = \frac{1}{3} D = 18,05 \text{ m.m.}$$

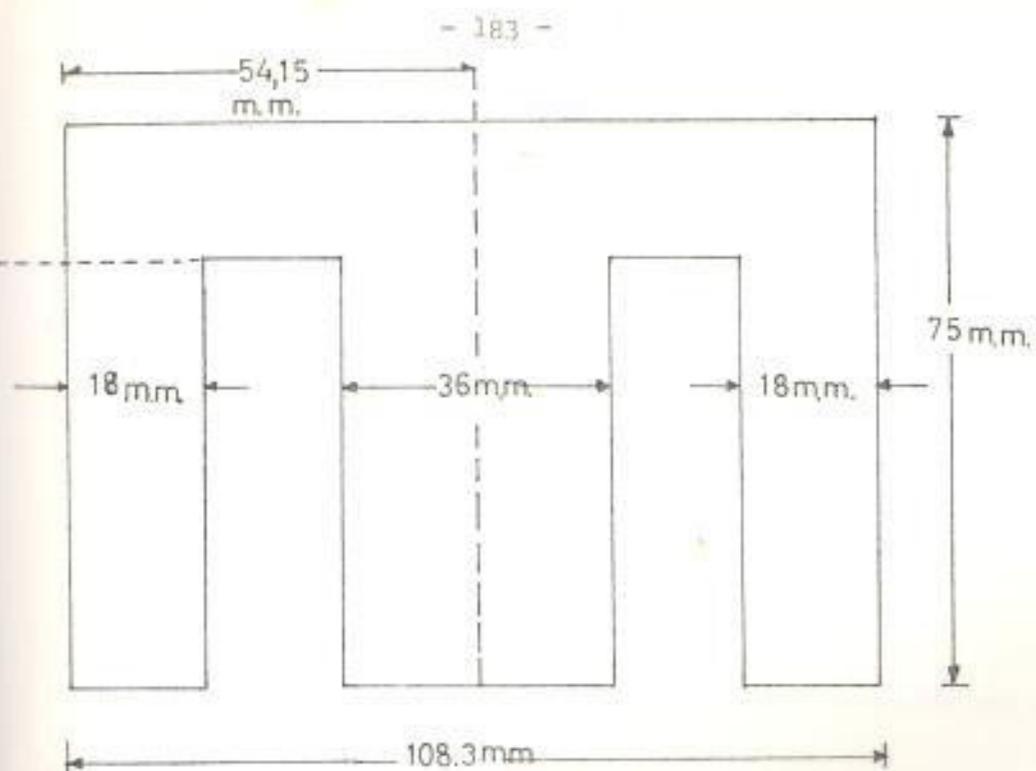


FIGURA # 5-1-4-5

El volumen desalojado por las ventanas en este prediseño puede - determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 V_D &= 2 \cdot (h-x) \cdot b \cdot x && \text{(Ecuación \# 5.1.4.17)} \\
 &= 2 \cdot (57 \text{ m.m.}) \cdot (73 \text{ m.m.}) \cdot (18 \text{ m.m.}) \\
 &= 149.796 \text{ m.m.}^3
 \end{aligned}$$

Este volumen puede ser expresado también del modo siguiente:

$$V_D = a \cdot b \cdot h'' \quad \text{(Ecuación \# 5.1.4.18)}$$

donde

h'' es la distancia que hay que agregar al valor de h en el prediseño para recuperar el volumen y el peso desalojados por las ventanas:

$$h'' = \frac{V_D}{a \cdot b} = \frac{149.796 \text{ m.m.}^3}{(108,3 \text{ m.m.}) \cdot (73 \text{ m.m.})}$$

$$h'' = 18,94 \text{ m.m.}$$

(5.1.4.6.) CALCULO DEL ENTREHIERRO PARA EL CIRCUITO FERROMAGNETICO

Un criterio aceptable para el cálculo del entrehierro es el de asignarle un valor comprendido entre el 5 y el 5% de la distancia más corta del área de sección para el camino magnético (Ver anexo) para así tener un diseño más próximo al óptimo.

$$lg = (0,055) (2x) \quad \text{(Ecuación \# 5.1.4.19)}$$

$$lg = 0,055 (36 \text{ m.m.})$$

$$= 1,98 \text{ m.m.}$$

El volumen desalojado por el entrehierro puede ser determinado mediante la siguiente ecuación:

$$Vg = (lg) (2x) (b) \quad \text{(Ecuación \# 5.1.4.20)}$$

$$= (1,98 \text{ m.m.}) (36 \text{ m.m.}) (73 \text{ m.m.})$$

$$= 5.203,44 \text{ m.m.}^3$$

Valor que también puede ser expresado del modo siguiente:

$$Vg = a.b.h''' \quad \text{(Ecuación \# 5.1.4.21)}$$

$$= (108,3 \text{ m.m.}) (73 \text{ m.m.}) . h'''$$

esto es:

$$h''' = \frac{5.203,4 \text{ m.m.}^3}{(108,3 \text{ m.m.}) (73 \text{ m.m.})}$$

$$h''' = 0,658 \text{ m.m.}$$

donde

h''' es la distancia que hay que agregar a $(h + h'')$ para recuperar el volumen y el peso desalojados por el entrehierro.

(5.1.4.7) CORRECCION DEL VALOR (X) PARA EL ANCHO DE LAS CHAPAS MAGNETICAS

$$(h'' + h''') = 18,94 \text{ m.m.} + 0,658 \text{ m.m.}$$

$$= 19,59 \text{ m.m.}$$

$$x' = \frac{(h'' + h''')}{2} + x \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.22})$$

$$x' = \frac{19,59 \text{ m.m.} + 18,05 \text{ m.m.}}{2} =$$

$$= 18,82 \text{ m.m.}$$

Por tanto las dimensiones finales para el núcleo ferromagnético son las siguientes: (Ver figura # 5.1.4.6)

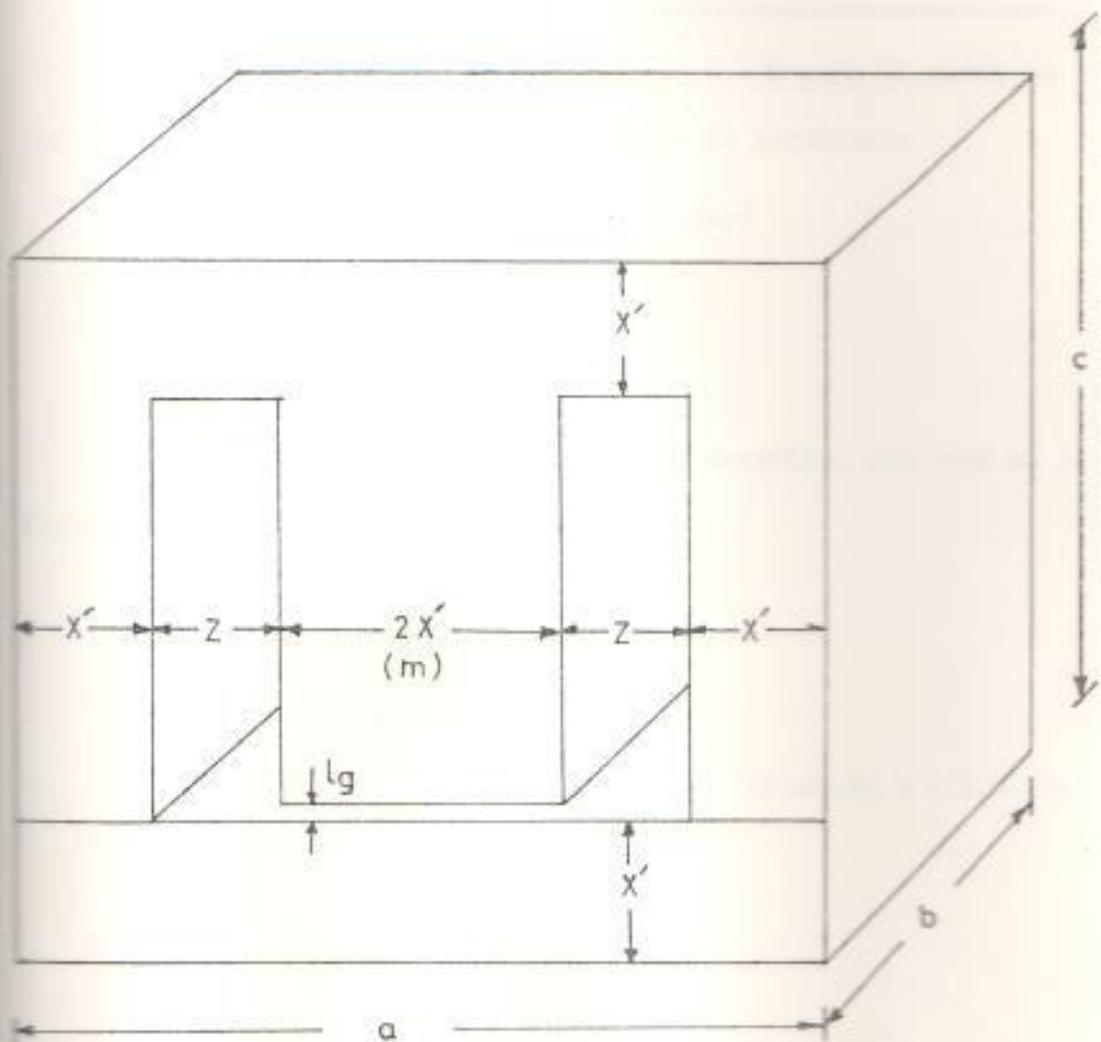


FIGURA # 5-1-4-6

DIMENSIONES FINALES PARA EL NUCLEO
FERROMAGNETICO DEL BALASTO

donde:

$$\begin{aligned} a &= 108,3 \text{ m.m.} \\ b &= 73,0 \text{ m.m.} \\ c &= 93,0 \text{ m.m.} \\ x^* &= 18,8 \text{ m.m.} \\ m &= 37,6 \text{ m.m.} \\ z &= 17,5 \text{ m.m.} \\ l_g &= 1,98 \text{ m.m.} \end{aligned}$$

(5.1.4.8) CALCULO DEL NUMERO DE ESPIRAS PARA LA BOBINA DEL NUCLEO

De los datos tomados de la curva $\bar{B} - \bar{H}$ para el metal de las chapas magnéticas (Ver anexo) tenemos lo siguiente:

$$\bar{B} = 12.800 \text{ Gauss} = 1,28 \text{ weber/mt}^2$$

$$\bar{H} = 520 \frac{\text{Amp-Espiras}}{\text{mt.}}$$

$$U_{f_r} = 2.000 \text{ (M.K.S.)}$$

De las dimensiones del circuito magnético indicado en la figura # 5.1.4.7 tenemos lo siguiente:

$$l_{mf} = 218,02 \text{ m.m.}$$

$$l_g = 1,98 \text{ m.m.}$$

$$I_M = I_{mf} + (l_g)N \quad \text{(Ecuación \# 5.1.4.23)}$$

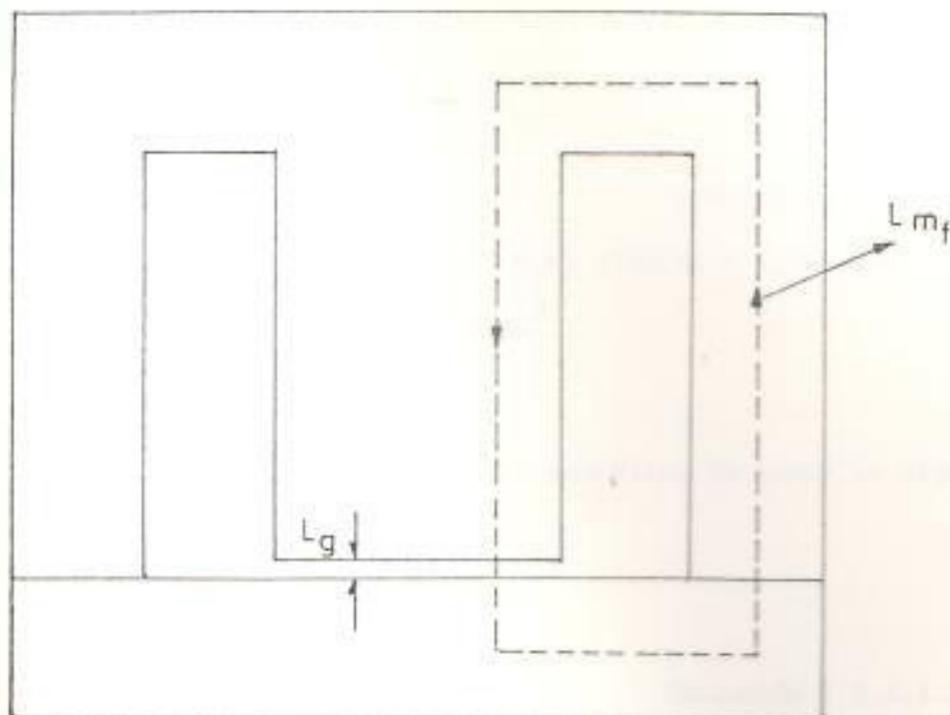


FIGURA # 5-1-4-7

Pero la longitud efectiva del entrehierro puede ser calculada del modo siguiente:

$$\begin{aligned}
 (lg)_N &= \frac{(m) \cdot (b) \cdot lg}{(m + lg) (b + lg)} = && \text{(Ecuación \# 5.1.4.24)} \\
 &= \frac{(37,6 \text{ m.m.}) (73 \text{ m.m.}) (1,98 \text{ m.m.})}{(37,6 \text{ m.m.} + 1,98 \text{ m.m.}) (73 \text{ m.m.} + 1,98 \text{ m.m.})} \\
 &= \frac{(2.744,8 \text{ m.m.}^2) (1,98 \text{ m.m.})}{(39,58 \text{ m.m.}) (74,98 \text{ m.m.})}
 \end{aligned}$$

$$(lg)_N = 1,82 \text{ m.m.}$$

por tanto en la ecuación # 5.1.4.23 reemplazo valores y tendré lo siguiente:

$$l_M = 218 \text{ m.m.} + 182 \text{ m.m.}$$

$$l_M = 219,82 \text{ m.m.}$$

AREA EFECTIVA DEL CIRCUITO MAGNETICO

$$\begin{aligned}
 A_N &= (m \cdot b) \cdot k && \text{(Ecuación \# 5.1.4.25)} \\
 &= (37,6 \text{ m.m.}) (73 \text{ m.m.}) (0,96) \\
 &= 2.635,008 \text{ m.m.}^2
 \end{aligned}$$

AREA NETA DEL ENTREHIERRO

$$\begin{aligned}
 (Ag)_N &= (m + lg) (b + lg) && \text{(Ecuación \# 5.1.4.26)} \\
 &= (37,6 \text{ m.m.} + 1,98 \text{ m.m.}) (73\text{m.m.} + 1,98 \text{ m.m.}) \\
 &= (39,58) (74,98) \text{ m.m.}^2 \\
 &= 2.967,7 \text{ m.m.}^2
 \end{aligned}$$

aplicando la ley de Amper al circuito magnético se tiene lo siguiente:

$$\oint H dl = N I$$

$$H_f L_{mf} + H_g (lg)_N = N I \quad \text{(Ecuación \# 5.1.4.27)}$$

de donde

$$N = \frac{H_f L_{mf} + H_g (lg)_N}{I}$$

considerando que $\phi_f = \phi_g$ se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 \phi_f &= B_f \cdot A_N \\
 &= (\mu_f \cdot H_f) A_N \\
 &= \phi_g
 \end{aligned}$$

Por tanto

$$\phi_g = \mu_g \cdot H_g (Ag)_N = \phi_f \quad \text{(Ecuación \# 5.1.4.28)}$$

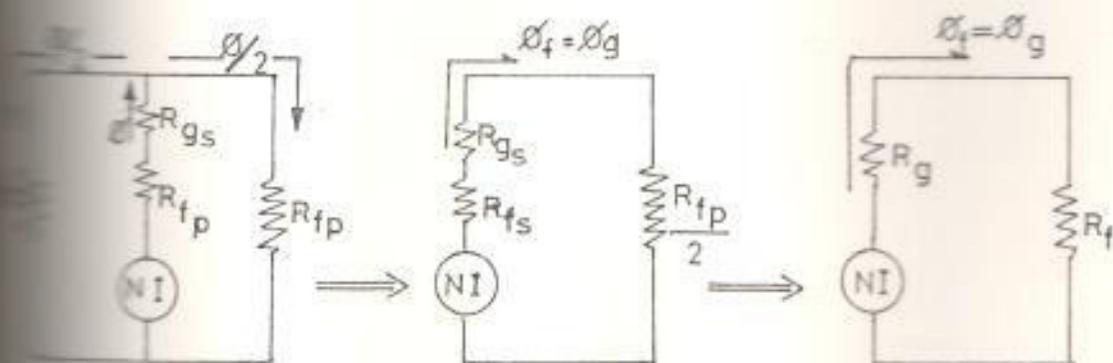


FIGURA # 5-1-4-8

DEMOSTRACION GRAFICA PARA $\phi_f = \phi_g$

De la ecuación # 5.1.4.28 se tiene lo siguiente:

$$H_g = \frac{\beta_f}{\mu_g (\Delta g)_N} = \frac{B_f \Delta N}{\mu_g (\Delta g)_N} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.29})$$

reemplazando valores en la ecuación # 5.1.4.29 se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} H_g &= \frac{(1,28) 2635) (10^{-6})}{(4 \times 10^{-7}) (2967,7) (10^{-6})} \quad \frac{\text{Amp. Esp.}}{\text{mt.}} \\ &= 904,400 \frac{\text{Amp-Esp}}{\text{mt}} \end{aligned}$$

Considerando para I un valor promedio entre la I(arrq) y la I(op) tenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned} \bar{I} &= \frac{I(\text{arraq.}) + I(\text{op})}{2} \\ &= \frac{5,20 \text{ Amperios} + 3,25 \text{ Amperios}}{2} \\ &= 4,22 \text{ Amperios.} \end{aligned}$$

Reemplazando valores en la Ecuación # 5.1.4.27. se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} N &= \frac{(520 \frac{\text{Amp. Esp.}}{\text{mt}}) (218 \times 10^{-3} \text{ mt}) + (904,400 \frac{\text{Amp. Esp.}}{\text{mt}}) (1,82 \times 10^{-3})}{4,22 \text{ Amp.}} \\ &= \frac{113,36 \text{ Amp. Esp.} + 1646 \text{ Amp. Esp.}}{4,22 \text{ Amp.}} \\ &= 416,9 \text{ espiras} \\ N &= 400 \text{ espiras.} \end{aligned}$$

(5.1.4.9) CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL BALASTO Y SU CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO

El balasto está básicamente constituido por los siguientes parámetros:

R_{cu} = Resistencia del devanado de cobre (bobina)

R'_f = resistencia del hierro, lo cual produce pérdidas en el núcleo ferromagnético.

X'_T = reactancia total del reactor, que a su vez está constituido por la reactancia de magnetización (X_m) y la reactancia inductiva (X_L).

Estos parámetros pueden ser representados en un circuito equivalente aproximado, como se indica en la figura # 5.1.4.9.

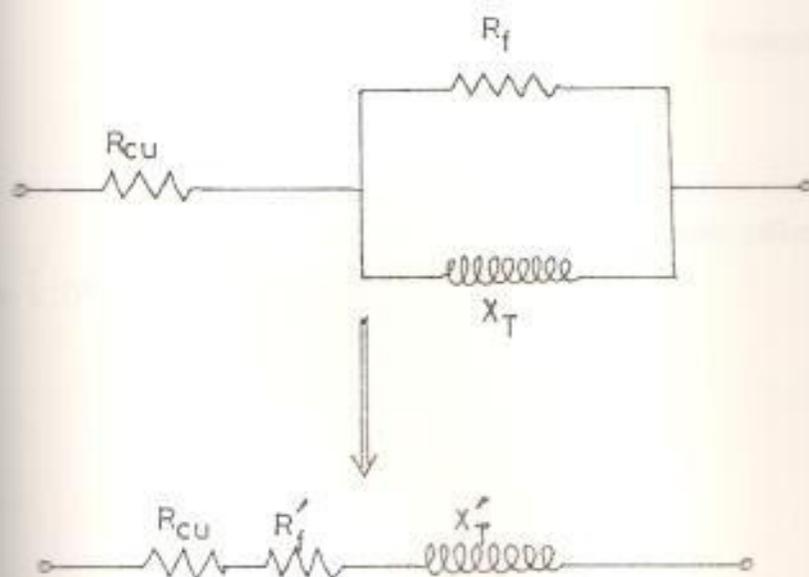


FIGURA # 5-1-4-9

CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO

La resistencia (R_{cu}) puede ser calculada para el valor promedio de la longitud de la bobina mediante la siguiente ecuación:

$$R_{cu} = \rho_{cu} \frac{\bar{l}}{A}, \text{ a } 20^{\circ}\text{C} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.30})$$

$$\rho_{cu} = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2, \text{ donde } D = \text{es el diámetro del conductor de cobre}$$

$$\bar{l} = \bar{l}_m \cdot N, \text{ donde } \bar{l}_m = \text{es la longitud media de una espira y } N = \text{es el número de espiras.}$$

La ecuación # 5.1.4.30 determina la resistencia del cobre a la temperatura ambiente. La resistividad de un metal puro aumenta al aumentar la temperatura en un 0,4% de su valor a 20°C por cada grado centígrado sobre los 20°C , y este nuevo valor de R_{cu} para una temperatura de 105°C que suele ser la temperatura normal de operación, se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$R_{cu} = R_{cu_0} [1 + \alpha_{cu} (t_2 - t_1)] \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.31})$$

$$R_{cu_0} = \rho_{cu} \frac{\bar{l}}{A} \text{ a } 20^{\circ}\text{C}$$

De las dimensiones de la bobina se puede calcular el valor de \bar{l} (Ver figura # 5.1.4.10).

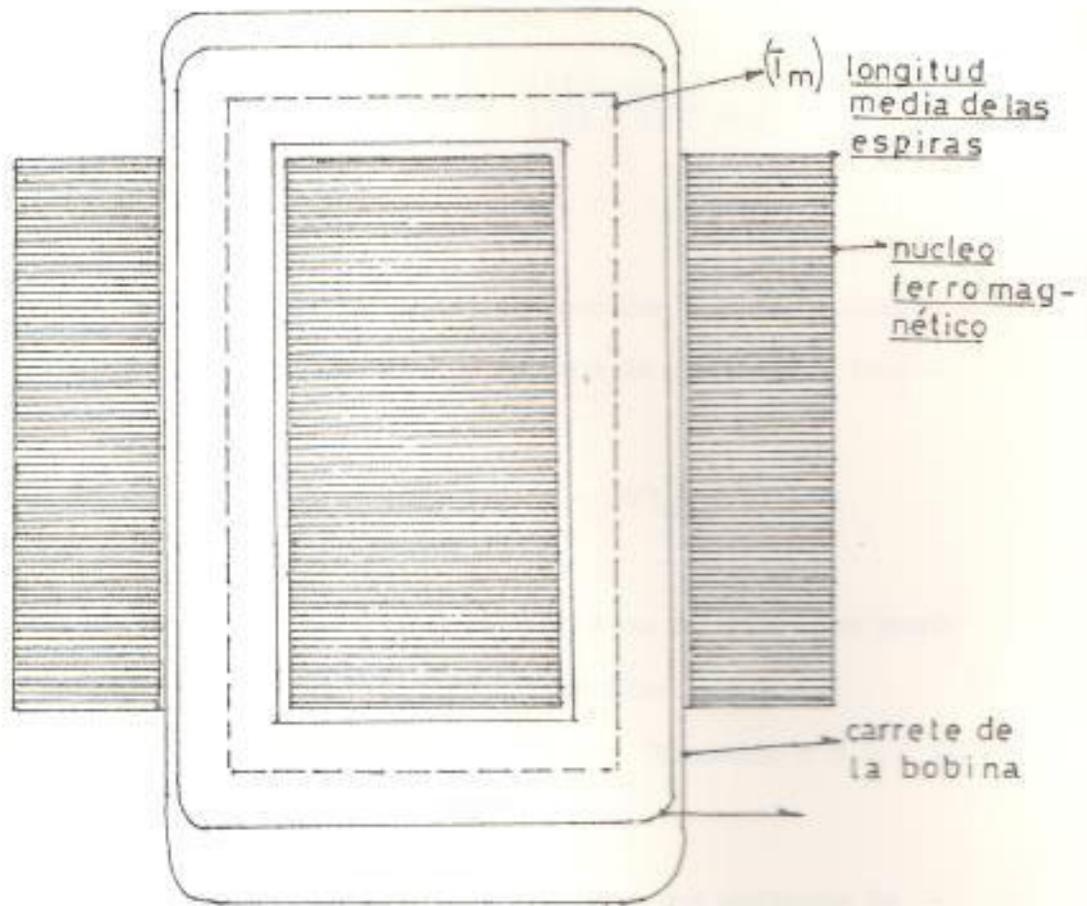


FIGURA # 5-1-4-10

LONGITUD MEDIA DE LAS ESPIRAS

La longitud media de las aspiras es $\bar{l}_m = 284$ m.m. es decir
 $\bar{l}_m = 0,284$ mts.

Por tanto:

$$\begin{aligned}\bar{L} &= (400) (0,284 \text{ mts}) \\ &= 113,6 \text{ mts.}\end{aligned}$$

El área del conductor de cobre está dada mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}A &= \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{1,28}{2}\right)^2 \text{ m.m.}^2 \\ &= 1,28 \text{ m.m.}^2\end{aligned}$$

Reemplazando valores en la ecuación # 5.1.4.30 tenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned} R_{cu} &= (1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{mts}) \frac{113,6 \text{ mts.}^2}{1,28 \times 10^{-6} \text{ mts}^2} \\ &= 1,508 \Omega \\ &= 1,51 \Omega \text{ a } 20^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Para las condiciones de estado estable con una temperatura en la bobina, del balasto de 105°C , tenemos lo siguiente: (Ver - ecuación # 5.1.4.31).

$$\begin{aligned} (R_{cu})_n &= 1,51 \Omega [1 + 0,004 (105^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})] \\ &= 2,023 \Omega \end{aligned}$$

Un valor aceptable para la resistencia en el cobre R_{cu} puede ser determinado mediante la siguiente ecuación:

$$R_{cu} = \frac{(R_{cu})_m + (R_{cu})_n}{2} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.32})$$

donde

$(R_{cu})_m$ es el valor determinado para R_{cu} mediante la - ecuación # 5.1.4.14.

luego

$$R_{cu} = \frac{(2,36 \Omega + 2,023 \Omega)}{2}$$

$$R_{cu} = 2,19 \Omega$$

La resistencia en el fierro R'_f puede ser calculada mediante la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned} R'_f &= R_T - R_{cu} \\ &= \frac{P_B}{I(\text{op})^2} - R_{cu}. \end{aligned} \quad (\text{Ecuación \# 5.1.4.33})$$

$$R'_f = \frac{80 \text{ vatios}}{(3,25 \text{ Amperios})^2} - 2,19 \Omega$$

$$R'_f = 5,38 \Omega$$

La inductancia para el reactor inductivo se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{4 \pi N^2 \cdot AK \cdot \mu_{Avg} \times 10^{-9}}{l_m} \text{ Henrricos (Ecuación \#5.1.4.34)}$$

donde

$$N = 400 \text{ espiras}$$

$$AK = \text{AREA NETA DEL CAMINO MAGNETICO}$$

$$= 2.635 \times 10^{-6} \text{ mts.}$$

$$\mu_{Avg} = \text{Permeabilidad promedio del circuito magnético.}$$

$$= \frac{\mu_{c.a.}}{1 + \left(\frac{(lg)N}{l_M} \right) \mu_{c.a.}}$$

$$= \frac{2.000}{1 + \left(\frac{1,82}{219} \right) 2000} = 113,5$$

$$l_M = \text{longitud media del circuito magnético.}$$

$$= 219 \text{ m.m.}$$

Por tanto se tiene lo siguiente:

$$L = \frac{4 \pi (400)^2 (2.635 \times 10^{-6}) (113,5) (10^{-9})}{219 \times 10^{-3}} \text{ Henrricos}$$
$$= 0,274575 \times 10^{-2} \text{ Henrricos}$$

$$L = 2,74 \text{ m.H.}$$

La reactancia inductiva puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$jX_L = 2 \pi f \cdot L$$
$$= 2 \pi (60) (0,274 \times 10^{-2} \text{ H})$$
$$= j 1,0329 \Omega$$

$$jX_L = j 1,0329 \Omega$$

En la ecuación # 5.1.4.6. se determinó que la caída de tensión en la parte reactiva del balasto es:

$$U_L = 163,2 \text{ voltios.}$$

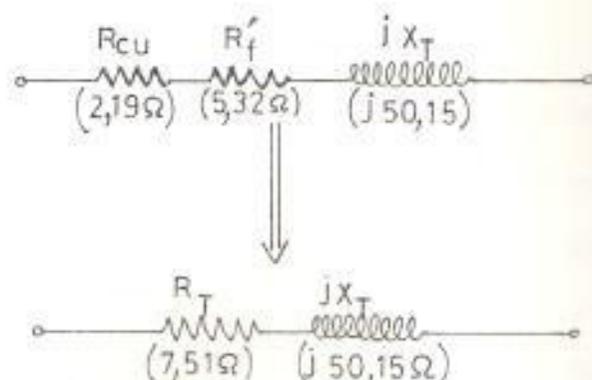
Por tanto la reactancia total para el balasto puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$jX_T = j \frac{163 \text{ (Voltios)}}{3,25 \text{ (Amperios)}} = j 50,15 \Omega$$

$$\begin{aligned} Y \quad jX_m &= jX_T - jX_L \\ &= j 50,15 \Omega - j 1,033 \Omega \\ &= j 49 \Omega \end{aligned}$$

$$jX_m = j 49 \Omega$$

y así el circuito equivalente aproximado queda del modo siguiente:



(5.1.4.10) DIAGRAMAS FASORIALES PARA LAS CONDICIONES DE ARRANQUE Y DE ESTADO ESTABLE

En el arranque tenemos los siguientes valores para las variables (ver diagrama fasorial en la figura # 5.1.4.11.

$$V_{c0} = I(\text{arrq}) \cdot R_c \quad \text{(Ecuación \# 5.1.4.35)}$$

$$= (I \text{ arrq}) \left(\frac{25\%P_L}{I(\text{arrq})^2} \right)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{25\% P_L}{I(\text{arrq})} \\ &= \frac{0,25 (400 \text{ vatios})}{5,2 \text{ Amp.}} = 19,2 \text{ Voltios} \end{aligned}$$

$$U_{c_0} = 19 \text{ Voltios}$$

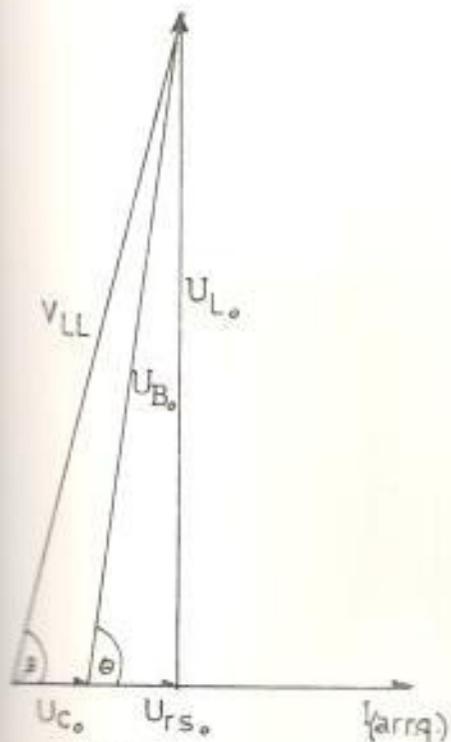
$$V_{LL} = 220 \text{ Voltios}$$

$$I(\text{arrq}) = 5,20 \text{ Amperios}$$

$$U_{B_0} = 218 \text{ Voltios}$$

$$\begin{aligned} U_{rc_0} &= (5,2 \text{ Amp}) (1,51 + 2,00) \\ &= 18,25 \text{ Voltios} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{L_0} &= (5,2 \text{ Amp}) (40,0) \\ &= 208 \text{ Voltios} \end{aligned}$$



$$U_{c_0} = 19 \text{ Voltios}$$

$$V_{LL} = 220 \text{ Voltios}$$

$$U_B = 218 \text{ Voltios}$$

$$U_{rc_0} = 18,25 \text{ Voltios}$$

$$U_{L_0} = 208 \text{ Voltios}$$

$$I(\text{arrq}) = 5,2 \text{ Amperios}$$

$$\theta = 84,9^\circ$$

$$\beta = 79,8^\circ$$

FIGURA # 5.1.4.11-a

Quando el sistema alcanza la condición de estado estable, y cuando la temperatura en el balasto está por los 100°C , los valores para las variables de interés son las siguientes: (Ver figura # 5.1.4.11.b)

- $U_c = 135$ Voltios
- $U_B = 136$ Voltios
- $U_{rc} = 24,4$ Voltios
- $U_L = 162,8$ Voltios
- $I(\text{op}) = 3,25$ Amperios
- $V_{LL} = 220$ Voltios
- $\theta = 81,4^{\circ}$
- $\beta = 45,6$

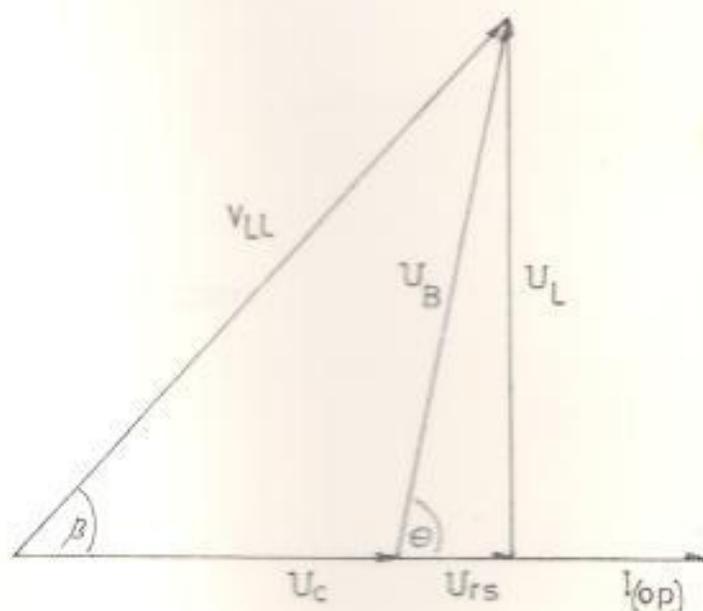


FIGURA # 5-1-4-11-b

(5.2) PROCESO DE CONSTRUCCION
DE LOS BALASTOS.

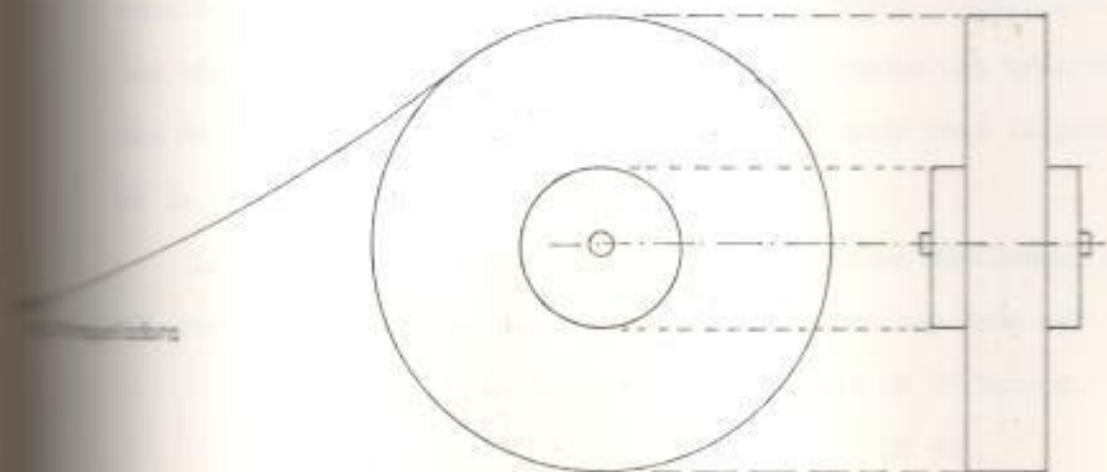


(5.2) PROCESO DE CONSTRUCCION DE LOS BALASTOS
=====

(5.2.1) MATERIA PRIMA
=====

El núcleo ferromagnético del balasto está constituido por láminas de acero al silicio con una concentración de 2,3%, el cual es un material ferromagnético de características magnéticas elevadas, hecho que se logra al tratar al acero con silicio de granulo orientado para favorecer la formación del campo magnético.¹

El material deberá adquirirse en chapas de 0,6 m.m. de espesor y cortado en flejes de un ancho que corresponda al tipo de núcleo a construirse. Este material viene enrollado en grandes carretes (ver figura # 5.5.1.)



(FIGURA # 5.5.1)

CARRETE DE CINTA DE ACERO AL SILICIO 2,3% PARA USO EN NUCLEOS
FERROMAGNETICOS DE BALASTOS

El nombre comercial para este metal ferromagnético es ALPHASIL 37 ó puede ser SPECIAL LOHYS R.T.B. # 2 cuya resistividad es de

$$\rho = 19 (\mu\Omega \cdot \text{cm}) \text{ Ver anexos B-7-1 tabla A-5-2) y}$$

(B-7-2).

Un acero al silicio también muy útil para reactores es el acero silicio R.T.B.# 1 cuya resistividad llega a ser de $42 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, y su saturación ocurre a los 21,000 gauss.

Las características principales de los materiales magnéticamente blandos en forma macisa ó en chapas son las siguientes:

- 1) El flujo de saturación es ligeramente menor al del hierro magnético.
- 2) Su permeabilidad es muy alta con las altas intensidades de campo (H).
- 3) Pérdidas por histéresis, y perdidas por corrientes parásitas relativamente bajas.
- 4) Costo razonablemente bajo

Las bobinas para balastos son construidas de alambre de cobre esmaltado de sección circular el cual se encuentra clasificado bajo los términos A.W.G. (American wire gauge) que impone una gran variedad de calibres debiendo seleccionarse el adecuado para la potencia de la lámpara (corriente tomada de la línea)

La etapa de enbobinado se realiza en máquinas destinadas para el efecto, y calibradas para varios tipos de bobinas esto es:

BOBINAS PARA BALASTOS DE LUMINARIA DE 20 Vatios.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|----------|
| " | " | " | " | " | DE 40 " |
| " | " | " | " | " | DE 110 " |
| " | " | " | " | " | DE 125 " |
| " | " | " | " | " | DE 175 " |
| " | " | " | " | " | DE 250 " |
| " | " | " | " | " | DE 400 " |

Para balastos de luminarias menores a 100 vatios las bobinas están generalmente por varias capas aisladas entre si (Ver figura # 5.5.2.6.)

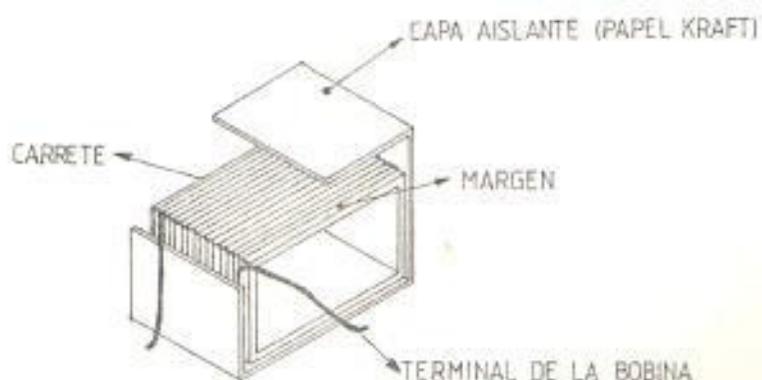


FIGURA # 5-5-2-6

BOBINA PARA BALASTOS MENORES
A 100 VATIOS

BOBINA PARA BALASTOS MENORES A 100 VATIOS
.....

La bobina está arrollada sobre un carrete rectangular formado por una espiral de papel o fibra, sobre cada capa de hilo va colocada una vuelta de aislante, de la misma anchura y longitud que el carrete, que constituye un soporte liso para la capa siguiente. El papel KRAFT, con un espesor de $1/5$ aproximadamente del diámetro del hilo es un material muy adecuado para el aislamiento entre capas de la bobina.

Después de devanada la bobina se empalman a sus extremos hilos conductores flexibles, luego se procede al ensamblaje de las partes (NUCLEO Y BOBINA).

Para BOBINAS de balastos de luminarias superiores a 100 VATIOS pueden ser construidas sin papel de aislamiento entre capas (devanado al AZAR), pero el hilo debe tener más aislante de esmalte que el ordinario para evitar cortocircuitos entre las espiras (usar ALAMBRE

ESMALTADO DE DOBLE CAPA) lo que reduce la ventaja del espacio.

El TIPO DE CARRETE a UTILIZAR EN ESTE CASO está constituido de una fibra resistente a altas temperaturas (SUPERIORES A LOS 80° C) y debe tener ARANDELAS EN LOS EXTREMOS para mantener las espiras en su posición (VER FIGURA # 5.5 2 7)

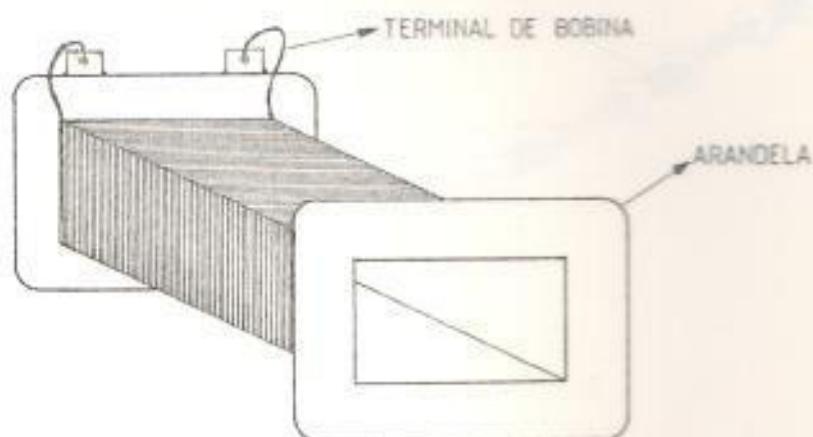
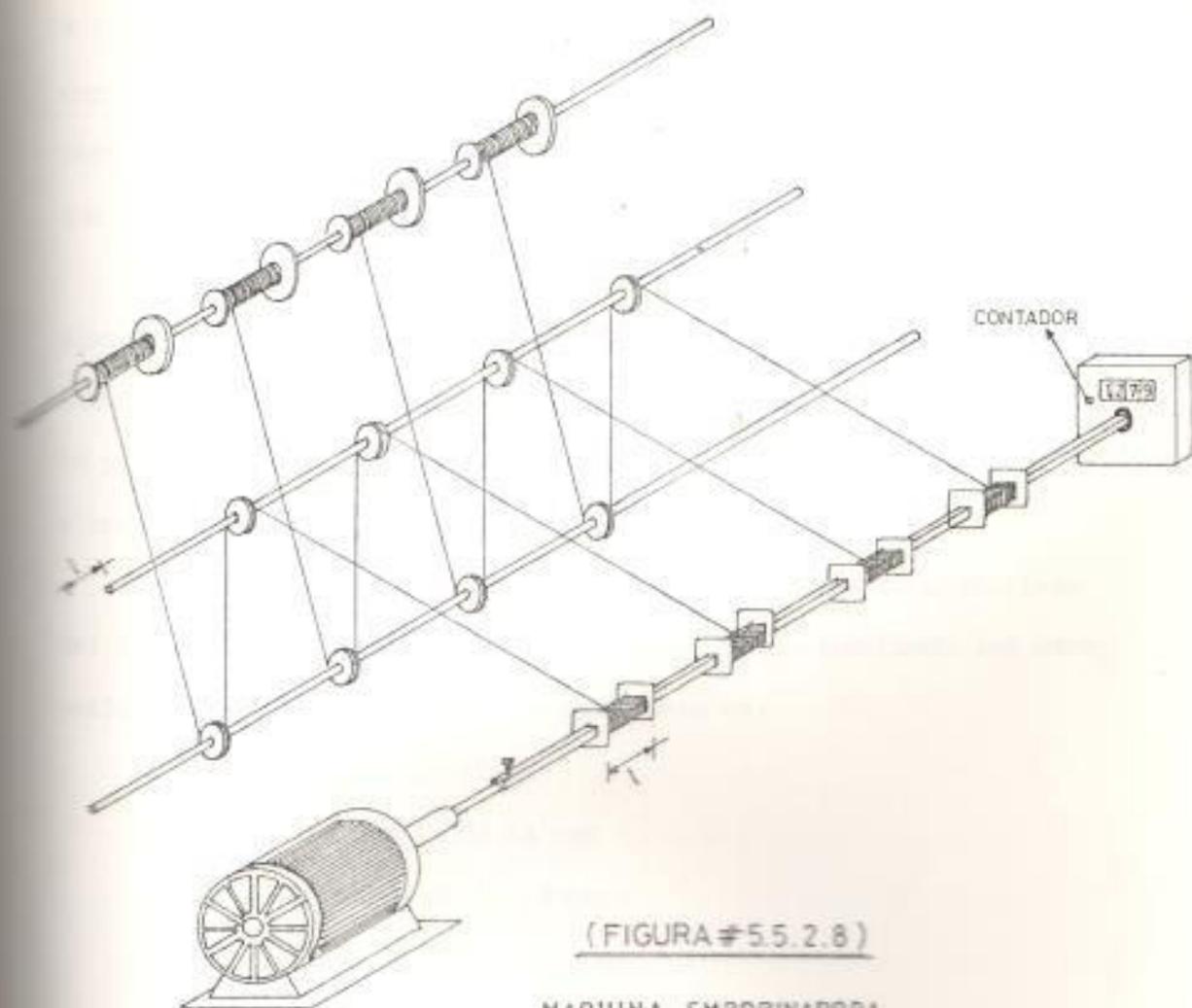


FIGURA # 5-5-2-7

BOBINA PARA BALASTOS MAYORES
A 100 VATIOS

Las máquinas embobinadoras disponen de una capacidad de 10 BOBINAS A LA VEZ (para cada tipo de BALASTO a CONSTRUIR, tiene que existir una máquina embobinadora con dicha capacidad)

En la FIGURA # 5.5.2.8 se INDICA una de estas máquinas.



(FIGURA # 5.5.2.8)

MAQUINA EMOBINADORA

Mediante un dispositivo contador se controla el número de vueltas que tienen que tener las bobinas.

Las bobinas construidas son enviadas a la sección de ensamblaje correspondiente. Para cada tipo de balasto a construir se toma el número de chapas magnéticas para formar el núcleo ferromagnético. Luego se hace el montaje de la bobina y se cierra el núcleo magnético (ver figura # 5.5.2.9.) y se procede al empernado de las chapas para soldar en los surcos laterales tal como se indica en la figura

5.5.2.10, antes de cerrar el núcleo del balasto, la bobina tiene que ser cubierta con una cartulina fina (de un espesor apropiado) para poder soldar en los surcos laterales el núcleo sin peligro de que se destruya dicha bobina.

El tipo de soldadura a utilizar es muy especial se trata de un sistema Electro autógeno, que produce la fusión instantanea de un alambre de acero muy fino con lo cual se consigue una fijación fuerte y segura de las chapas, eliminando así el ruido producido por la alternancia del flujo magnético en el núcleo.

Después del ensamblaje y fijación de las partes constitutivas del balasto, se procede a etiquetar el producto, indicando las características de diseño para los mismos, esto es:

- Voltaje de línea
- Frecuencia de la red
- Potencia de la lámpara
- Diagrama de conexiones
- Nombre ó marca del fabricante.

Luego se impregna el núcleo y la bobina conjuntamente (el balasto terminado de construir) con un barniz ó compuesto asfáltico para eliminar la humedad y el aire, y así dar resistencia mecánica a la bobina.

El baño de barniz aislado se lo realiza mediante una bomba de presión, para lo cual se colocan los balastos en una parrilla que luego es introducido en el tanque de presión, en la cual mediante una bomba se inyecta el barniz a los balastos por un tiempo aproximado de 30 minutos. (En la figura # 5.5.2.11 se ilustra el proceso.

Para balastos de lámparas mayores a 100 vatios se pueden usar bobinas de aluminio esmaltado básicamente por cuestiones de economía (ver conclusiones y recomendaciones).

Además del metal ferromagnético para el núcleo y del alambre esmaltado para la bobina del balasto también se requiere de otros elementos secundarios que son complementarios para la construcción del dispositivo, y entre ellos tenemos a los siguientes:

- 1) Barniz aislador eléctrico
- 2) Soldadura electro-autogena
- 3) Cartulina fina, o papel kraft (de 1/3 del diámetro del conductor de espesor) para facilitar el etiquetado.
- 4) Pernos de sujeción.
- 5) Cables flexibles para terminales, cuyo número está de acuerdo con la potencia de la lámpara.
- 6) Carretes para las bobinas de dimensiones apropiadas para los balastos.

Para el chasis y la tapa se utilizará chapa de acero de bajo carbono, muy común en las normas J.I.S. Los balastos de tipo cerrado utilizan como protector y medio de transferencia de calor a la brea, la misma que va cubriendo el núcleo y la bobina.

(5.2.2) PROCESOS BASICOS *****

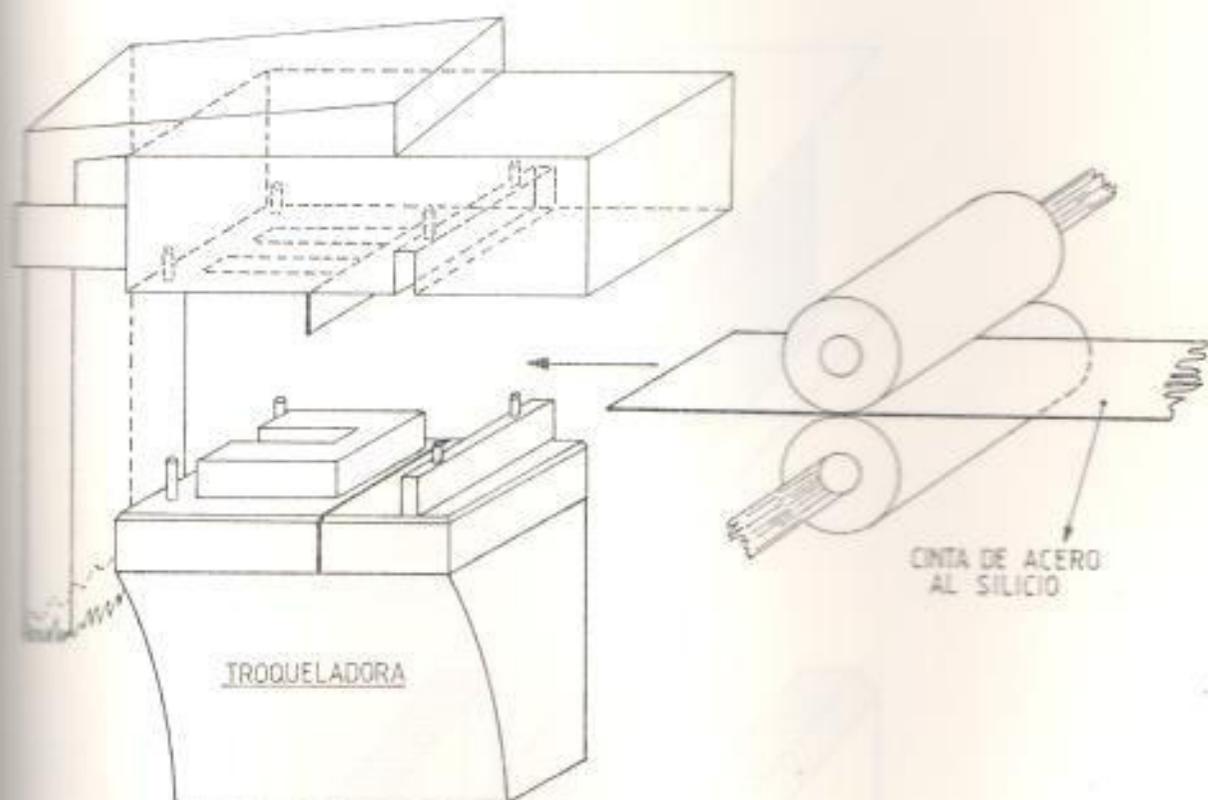
La sección de corte y estampado está compuesta básicamente por un grupo de troqueladoras cuyas capacidades se adaptarán al esquema de producción.

El corte de las láminas de acero al silicio para el núcleo se realiza mediante troqueladoras excéntricas provistas de una matriz cuyo filos de corte son de un metal muy duro (CARBUROS DE WYDIA).

dadas las características que presenta el acero al silicio.

Los cortes realizados a la cinta de acero al silicio son en chapas cuyas formas y dimensiones están de acuerdo al tipo de núcleo a fabricar (Dependiendo del diseño del núcleo para una potencia en particular de un balasto determinado.)

En la figura (# 5.5.2.12) se ilustra en proceso básico del corte.

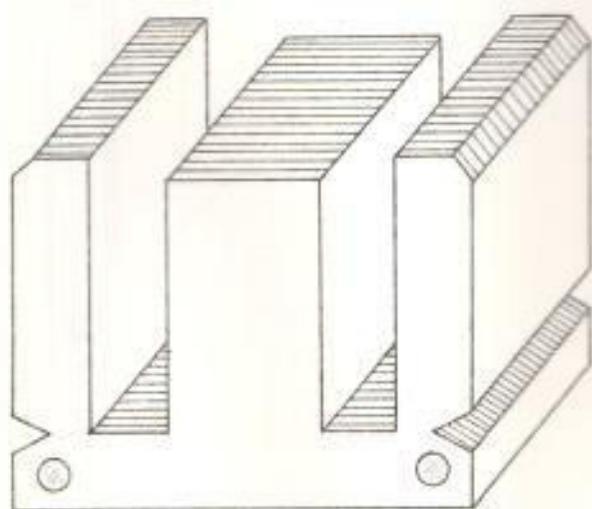
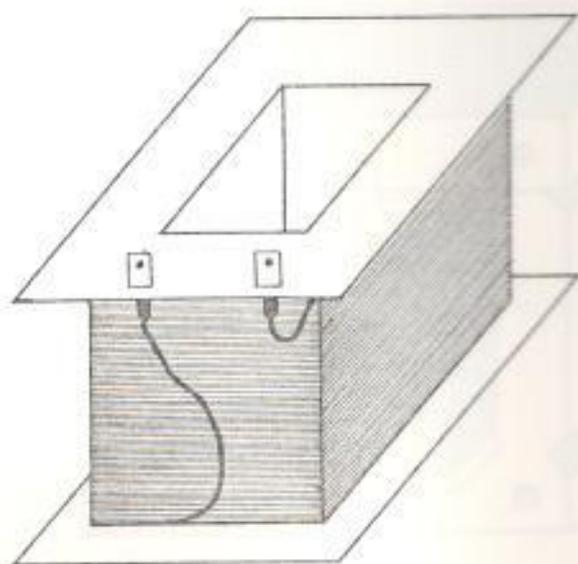


(Figura # 5.5.2.12)

PROCESO BÁSICO DE CORTE

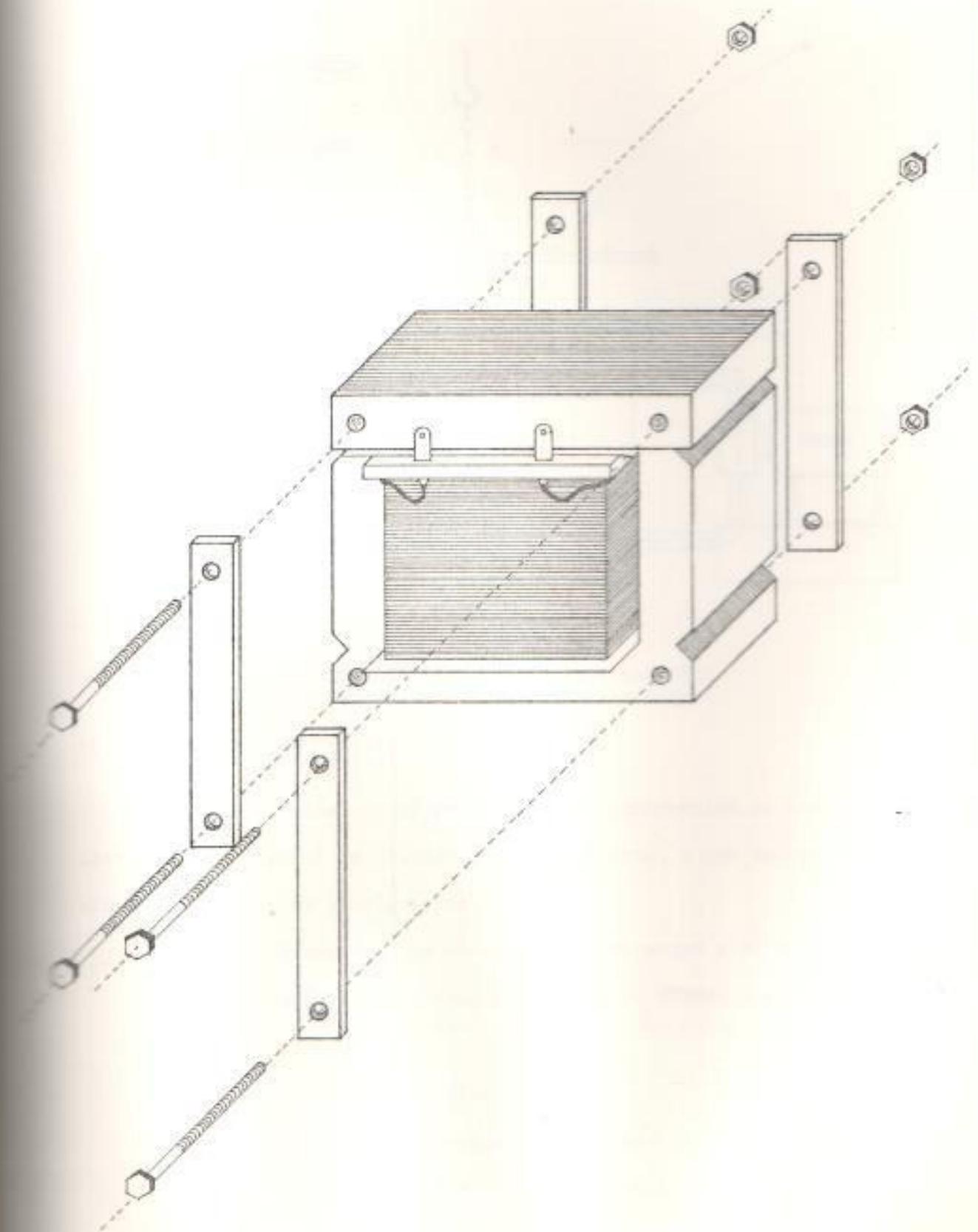
DETALLES DEL ENSAMBLADO DEL NUCLEO Y LA BOBINA

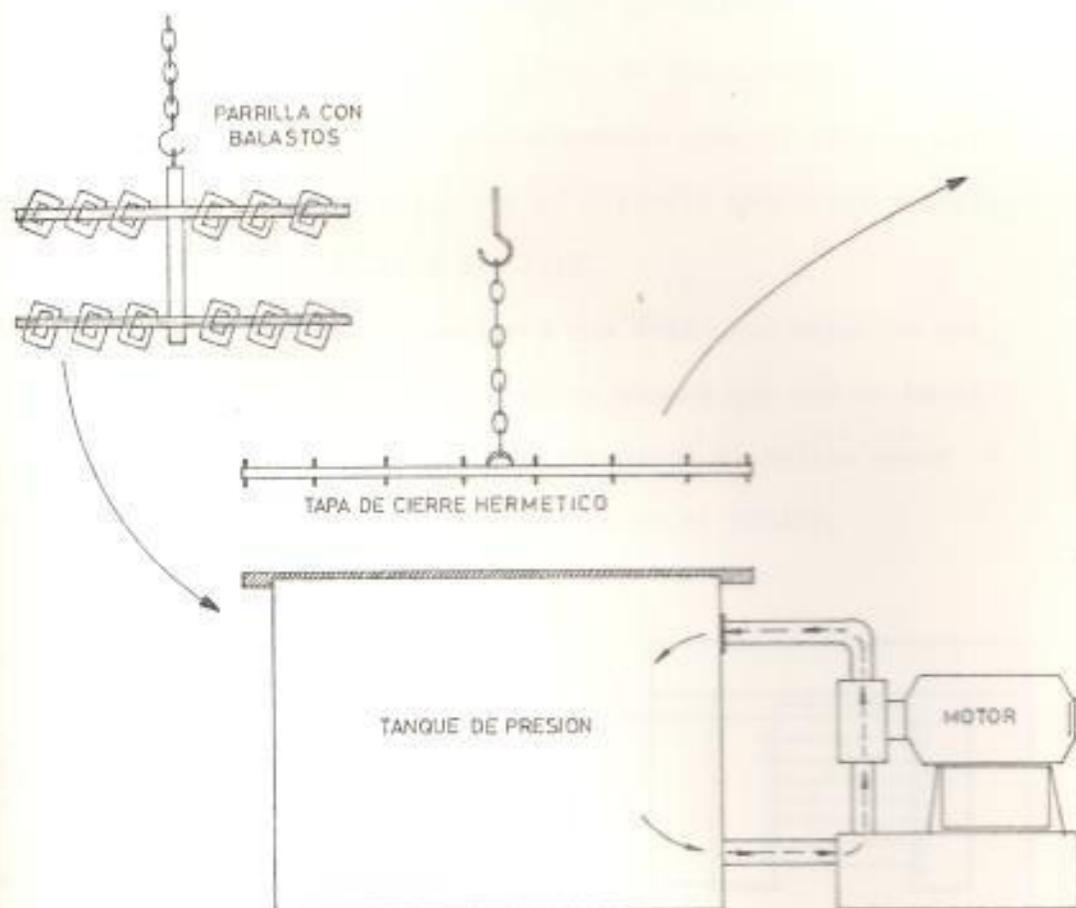
(FIGURA # 5.5.2.9)



EMPERNADO DE CHAPAS PARA SOLDAR EN SURCOS LATERALES

(FIGURA # 5.5.2.10)





(FIGURA # 5.5.2.11)

PROCESO DE BARNIZADO A PRESION PARA LOS BALASTOS

(5.2.3.) CONTROL DE CALIDAD

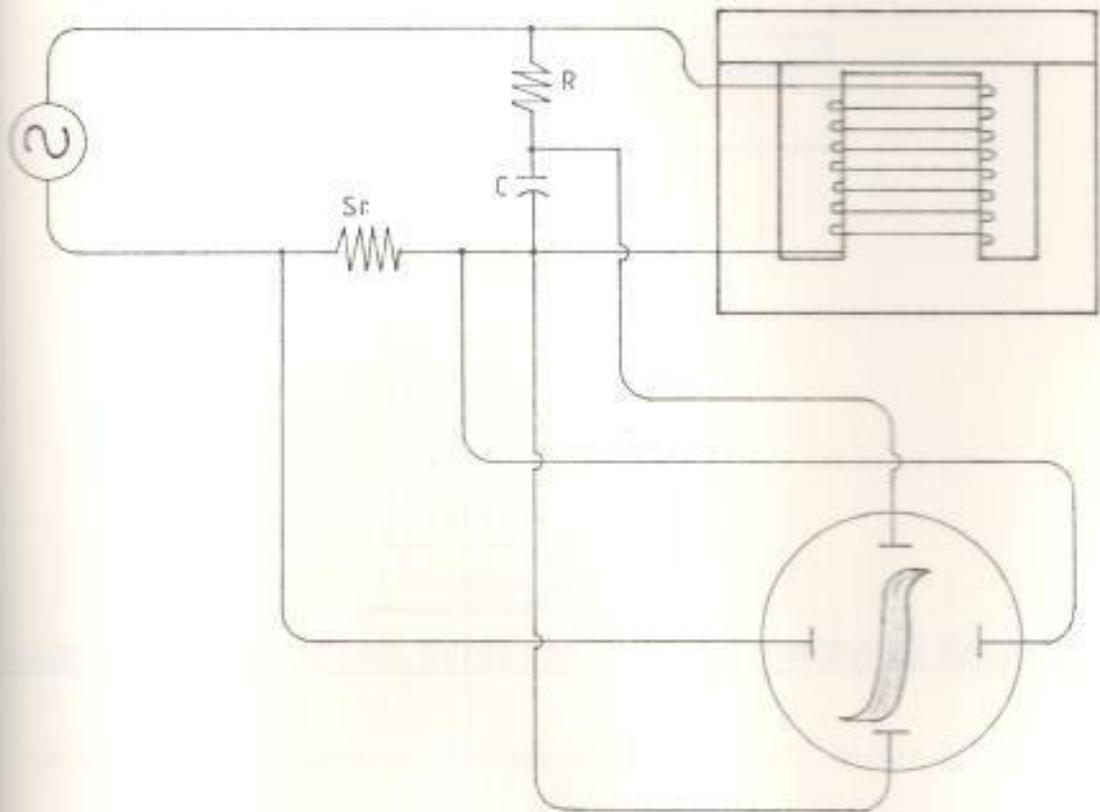
La Etapa final en el proceso de la construcción de los balastos, es el control de calidad de este producto, y una manera simple de hacerlo es la siguiente:

- a) Midiendo las corrientes de arranque y de operación tomando como referencia el diseño preestablecido.
- b) Detectando el nivel de ruido.
- c) Midiendo los parámetros mediante un puente de Wheastone DIGITAL, tomando como referencia los

Valores preestablecidos en el diseño

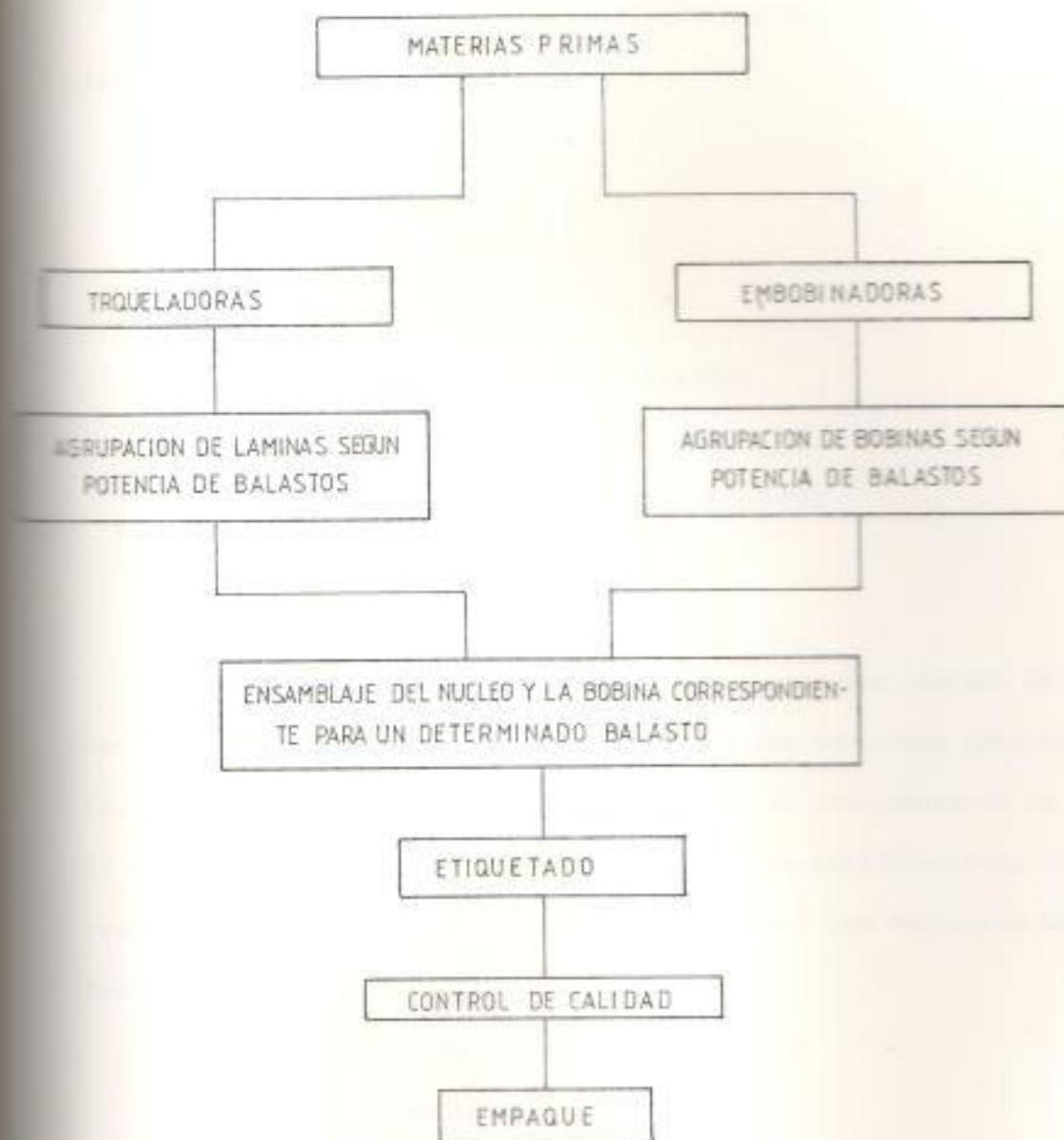
- d) Midiendo las pérdidas en el núcleo, mediante un OSCILOSCOPIO, en cuya pantalla hay una cubieta Removible de celuloide, con la curva de histeririsis correspondiente al diseño de referencia para el tipo de BALASTO bajo prueba, y con el circuito eléctrico apropiado (VER FIGURA # 5.5.3.1).

La curva de HISTERISIS encierra una área cuyo valor es proporcional a las pérdidas en el hierro de manera que con el bucle de histêrisis de referencia puede determinarse si existe mayor o menor pérdida que el valor preestablecido en el diseño.



(FIGURA 5.5.3.1)

USO DE LA CURVA DE HISTERISIS PARA DETERMINAR PERDIDAS EN EL NUCLEO MEDIANTE
OSCILOSCOPIO



(FIGURA # 5.5.3.2)

DIAGRAMA BASICO DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE BALASTOS

un esquema aproximado del proceso de construcción de los BALASTOS es indicado en la figura # 5.5.3.2 en el cual se indican los pasos a seguir en las diferentes secciones de una manufacturera de balastos.

(5.3) RESULTADOS

Mediante pruebas de laboratorio realizadas a cada balasto utilizando el siguiente equipo:

- FUENTE DE PODER REGULABLE
- VATIMETROS
- VOLTIMETROS
- AMPERIMETROS
- TRAZADOR PARA LAS CURVAS DE ARRANQUE
- TERMOMETRO Y TERMOCUPLA
- LAMPARAS DE DESCARGA EN VAPOR DE MERCURIO
- OSCILOSCOPIO DE RAYOS CATODICOS
- ELEMENTOS DE CONEXION.

Se determinaron las curvas de arranque para las lámpara de descarga en vapor de mercurio, y las tablas de las variables para las condiciones de arranque y de estado estable, en intervalos de un minuto durante dos horas y se obtuvieron resultados satisfactorios con respecto al diseño de cada uno de los balastos. Las variables medidas fueron las siguientes:

1. Voltaje en los terminales del balasto
2. Corriente de línea.
3. Voltaje en los terminales de la lámpara
4. Tiempo tomado por la lámpara para el encendido entre el arranque y la condición de estado estable.
5. Temperatura en la bobina del balasto.
6. Potencia eléctrica medida a la entrada del circuito para el sistema balasto-lámpara.

A continuación se indican los valores tabulados correspondientes a las pruebas de laboratorio realizadas a los balastos diseñados y contruidos para energizar lámparas de descarga eléctrica en vapor de mercurio de 125 vatios, 175 vatios, 250 vatios y 400 vatios.

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA BALASTO DE LAMPARA DE 125 VATIOS
=====

NOMINALES
=====

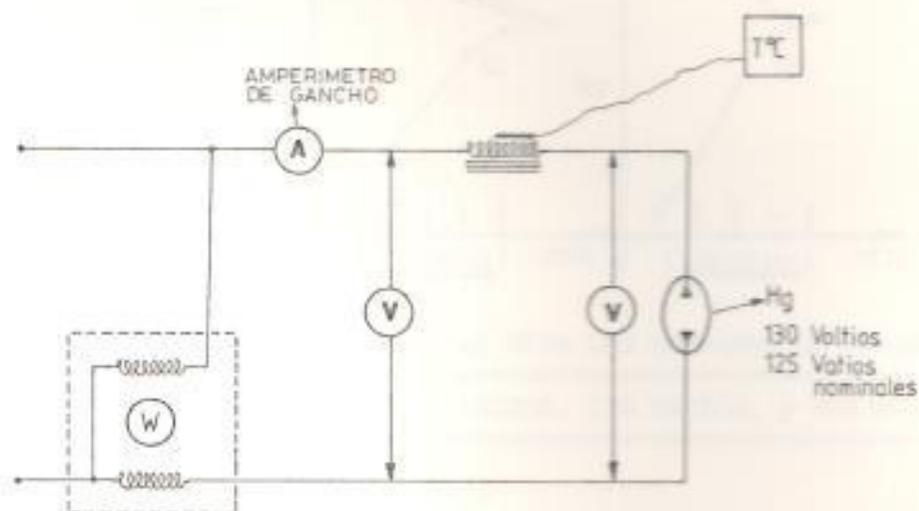


DIAGRAMA DE CONEXIONES

A = Amperímetro

V = Voltímetro

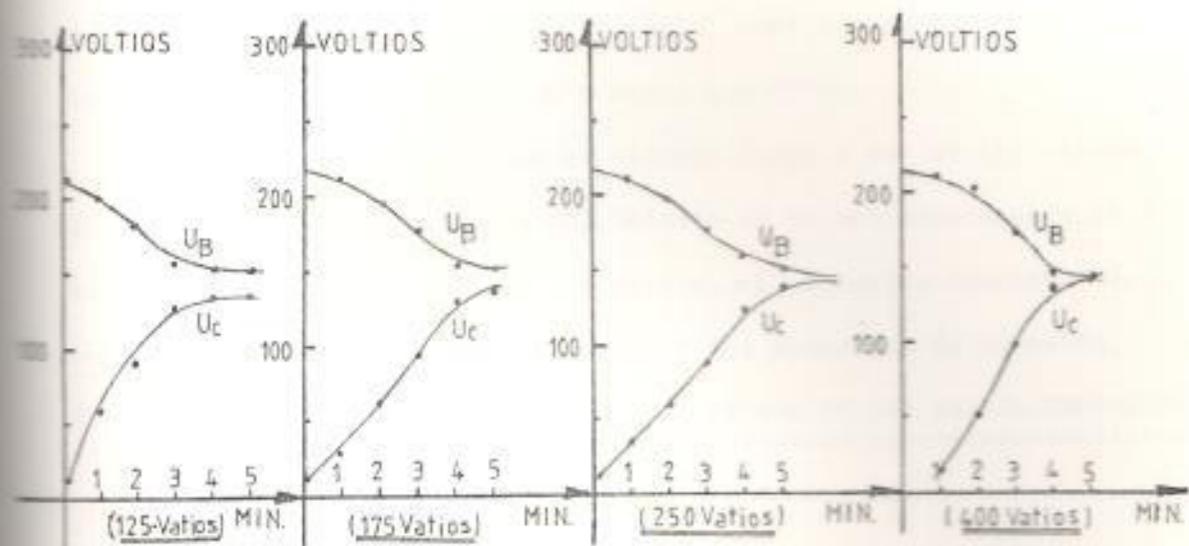
W = Watímetro

T°C = Termocupla

En el instante de arranque o encendido de la lámpara se obtuvieron los siguientes valores:

- Corriente de arranque (I_{arr}) = 1,70 amperios
- Voltaje en los terminales de la lámpara ($V_{lamp.}$) = 14 voltios
- Voltaje en los terminales del balastro (U_{B_0}) = 217,5 votios.
- Tiempo tomado en el arranque ($T_{arr.}$) = 2,7 minutos

Ver figura # 5.3. curva. de arranque para la lámpara de (125 vatios)



CURVAS DE ARRANQUE (Voltios - Minutos) PARA LAS LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO HQ-L de 125 VATIOS, 175 VATIOS, 250 VATIOS, y 400 VATIOS

FIGURA # (5.3)

TABLAS PARA PRUEBAS REALIZADAS EN EL SISTEM BALASTO - LAMPARA DE 125 W.

| CORRIENTE DE LINEA | VOLTAJE DE LA LAMPARA | VOLTAJE DEL BALASTO | POTENCIA DEL SISTEMA | TIEMPO DE OPERACION | TEMPERATURA |
|--------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------|
| (Amperios) | (Voltios) | (Voltios) | (Wattios) | (Minutos) | (°C) |
| 1.59 | 58 | 200 | 144 | 1 | 36 |
| 1.46 | 78 | 182 | 145 | 2 | 37 |
| 1.10 | 130 | 155 | 146 | 3 | 38 |
| 1.08 | 131 | 154 | 150 | 4 | 40 |
| 1.05 | 131 | 154 | 150 | 5 | 42 |
| 1.04 | 131 | 154 | 150 | 6 | 61 |
| 1.02 | 134 | 153 | 151 | 7 | 65 |
| 1.00 | 135 | 153 | 151 | 8 | 70 |
| 0.98 | 135 | 153 | 151 | 12 | 72 |
| 0.98 | 135 | 153 | 151 | 18 | 80 |
| 0.98 | 135 | 153 | 151 | 20 | 81 |
| 0.98 | 135 | 153 | 151 | 30 | 81 |
| 0.98 | 135 | 153 | 151 | 60 | 82 |
| 0.98 | 135 | 153 | 151 | 90 | 83 |
| 0.98 | 135 | 153 | 151 | 120 | 85 |

Como podemos ver en la tabla anterior, los valores de las variables de interés se estabilizan aproximadamente a los 3 minutos, pero sin embargo debido al efecto térmico sobre la resistencia en el conductor de la bobina la resistencia varía casi linealmente en función de la temperatura (desde los 36°C hasta los 80°C).

La potencia consumida por el sistema llega a ser de 151 vatios, lo que indica que la potencia del balasto es de aproximadamente 25 vatios, y la lámpara consume 125 vatios, el 1 vatios restante se consume en los instrumentos de medida y los elementos de conexión.

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA BALASTO DE LAMPARA DE 175 VATIOS NOMINALES
 =====

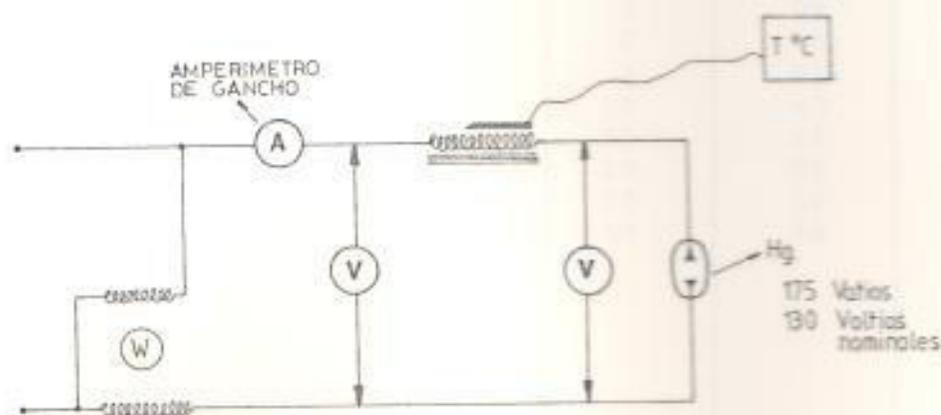


DIAGRAMA DE CONEXIONES

- A = Amperímetro
- V = Voltímetro
- W = Vatímetro
- T°C = Termocupla

En el instante de arranque o encendido de la lámpara se obtuvieron los siguientes valores:

- Corriente de arranque $(I)_{arr} = 2,26$ Amperios.
- Voltaje en los terminales de la lámpara $V(lamp) = 14$ voltios
- Voltaje en los terminales del balasto $U(balasto) = 217$ voltios.
- Tiempo tomado en el arranque $(t)_{arr} = 4,30$ minutos.

Ver figura # 5.3. curva de arranque para la lámpara de (175 vatios).

TABLA DE PRUEBAS REALIZADAS EN EL

SISTEMA BALASTO - LAMPARA DE 175 W

| corriente de línea | voltaje de lamp. | voltaje del balast. | potencia del sistema | tiempo de operacion | temperat. |
|--------------------|------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------|
| (Amperios) | (Voltios) | (Voltios) | (Wattios) | (Minutos) | (°C) |
| 2.20 | 28 | 214 | 130 | 1 | 29 |
| 2.00 | 61 | 196 | 148 | 2 | 30 |
| 1.72 | 93 | 179 | 160 | 3 | 36 |
| 1.50 | 130 | 154 | 181 | 4 | 37 |
| 1.43 | 133 | 155 | 181 | 5 | 38 |
| 1.36 | 133 | 155 | 187 | 6 | 40 |
| 1.36 | 133 | 155 | 187 | 8 | 42 |
| 1.36 | 133 | 155 | 187 | 10 | 43 |
| 1.36 | 133 | 155 | 187 | 12 | 45 |
| 1.34 | 133 | 155 | 187 | 18 | 50 |
| 1.34 | 133 | 155 | 187 | 20 | 52 |
| 1.34 | 135 | 155 | 187 | 30 | 58 |

Al igual que el caso anterior los valores de las variables de interés se estabilizan aproximadamente a los 4,5 minutos, pero sin embargo debido al efecto térmico sobre la resistencia que varía casi linealmente en el hilo del cobre de la bobina respecto de la temperatura (desde los 38° C hasta los 80° C), se tienen ligeras variaciones en los valores de corriente y potencia de la lámpara.

La potencia consumida por el sistema llega a ser de 187 vatios

lo que indica que la potencia del balasto es de aproximadamente 28 vatios, y la lámpara desarrolla unos 158 vatios, consumiéndose 1 vatio en los elementos de conexión.

PRUEBAS DE LABORATORIOS PARA BALASTO DE LAMPARA DE 250 VATIOS NOMINALES
=====

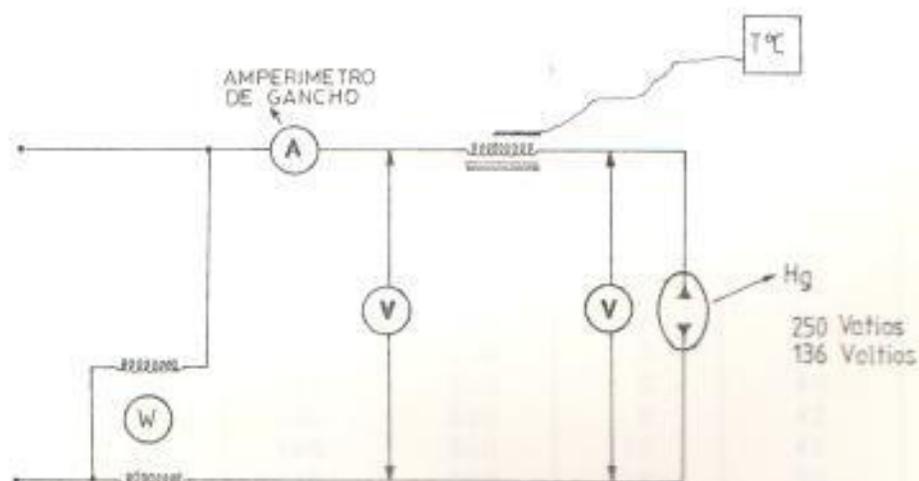


DIAGRAMA DE CONEXIONES

- A = Amperímetro
- V = Voltímetro
- W = Vatímetro
- T°C = Termocupla

En el instante de arranque o encendido de la lámpara se obtuvieron los siguientes valores:

- Corriente de arranque $(I)_{arr.} = 3,50$ Amperios
- Voltaje en los terminales de la lámpara $V(lamp) = 13$ voltios.
- Voltaje en los terminales del balasto $U(balasto) = 218$ voltios
- Tiempo tomado en el arranque $(t)_{arr.} = 4,50$ minutos.

TABLAS DE VALORES TOMADOS EN LAS PRUEBAS REALIZADAS AL BALASTO DEL
 =====

SISTEMA BALASTO-LAMPARA 250 W
 =====

| CORRIENTE DE LINEA | VOLTAJE DE LAMPARA | VOLTAJE DEL BALASTO | POTENCIA DEL SISTEMA | TIEMPO DE OPERACION | TEMPERATURA |
|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------|
| (Amperios) | (Voltios) | (Voltios) | (Vatios) | (Minutos) | (°C) |
| 3.47 | 34 | 207 | 200 | 1 | 29 |
| 3.24 | 59 | 197 | 250 | 2 | 30 |
| 2.89 | 87 | 178 | 300 | 3 | 34 |
| 2.42 | 124 | 158 | 300 | 4 | 36 |
| 2.29 | 136 | 148 | 300 | 5 | 39 |
| 2.27 | 136 | 148 | 300 | 6 | 40 |
| 2.27 | 136 | 148 | 300 | 8 | 42 |
| 2.24 | 136 | 148 | 300 | 12 | 46 |
| 2.21 | 136 | 148 | 300 | 18 | 50 |
| 2.20 | 136 | 148 | 300 | 20 | 54 |
| 2.16 | 136 | 148 | 300 | 30 | 60 |
| 2.16 | 136 | 148 | 300 | 50 | 61 |
| 2.13 | 136 | 148 | 300 | 30 | 61 |

Para este sistema los valores de las variables de interés se estabilizan a los 4,50 minutos aproximadamente, pero sin embargo - existirán ligeros cambios en dichos valores debido al efecto térmico sobre la resistencia del conductor de la bobina (la resistencia va_ ría casi linealmente entre los 33°C y los 80°C), y la potencia consu_ mida por el balasto es de aproximadamente 48,5 vatios.

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA BALASTO DE LAMPARA DE 400 VATIOS NOMINALES

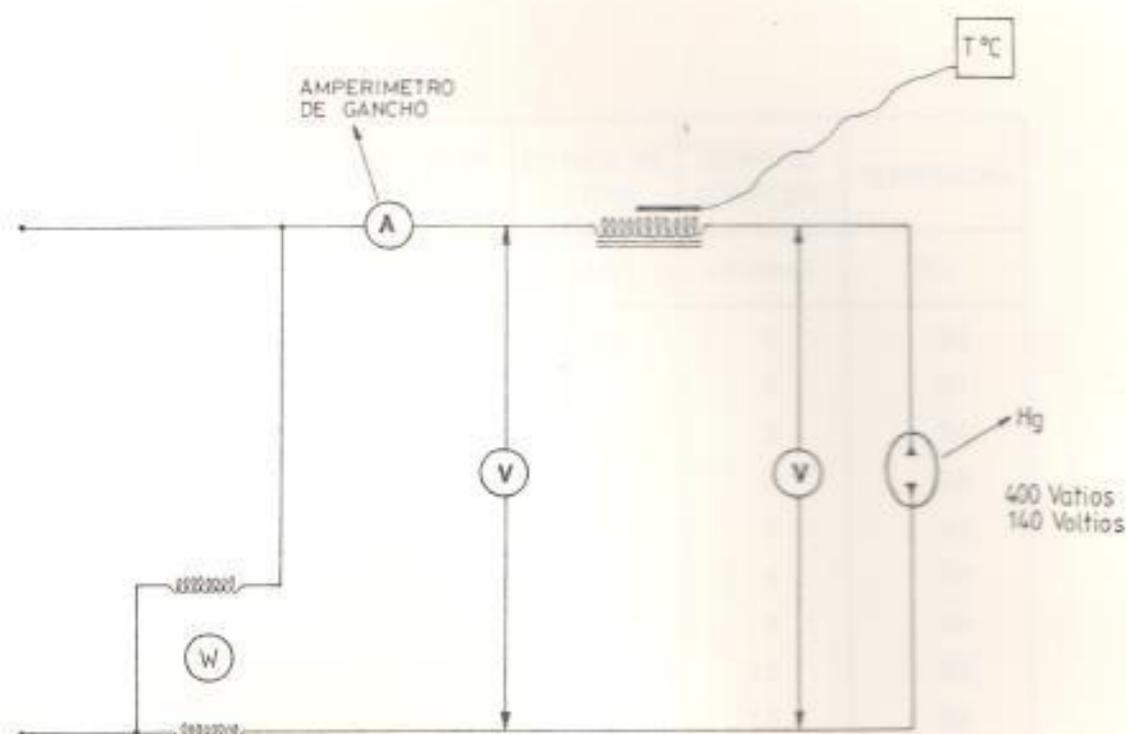


DIAGRAMA DE CONEXIONES

- A= Amperímetro
- V= Voltímetro
- W= Watímetro
- T°C= Termocupia

En el instante del arranque o encendido de la lámpara se obtu**u** bieron los siguientes valores.

- Corriente de arranque $(I)_{arr.} = 5.90$ Amperios.
- Voltaje en los terminales de la lámpara $V(lámp) = 14$ voltios
- Voltaje en los terminales del balasto $U(balasto) = 218$ voltios
- Tiempo tomado en el arranque $t(arr) = 4$ minutos aprox**i** madamente.

Ver figura # 5.3. la curva de arranque para la lámpara de (400 vatios).

TABLA DE VALORES PARA LA PRUEBA REALIZADA AL BALASTO DEL
 =====
 DEL SISTEMA BALASTO-LAMPARA DE 400 VATIOS
 =====

| CORRIENTE DE LINEA | VOLTAJE DE LAMPARA | VOLTAJE DEL BALASTO | POTENCIA DEL SISTEMA | TIEMPO DE OPERACION | TEMPERATURA |
|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------|
| (Amperios) | (Voltios) | (Voltios) | (Wattios) | (Minutos) | (°C) |
| 5.56 | 13 | 210 | 320 | 1 | 30 |
| 5.29 | 52 | 203 | 390 | 2 | 31 |
| 4.25 | 100 | 173 | 460 | 3 | 34 |
| 3.68 | 139 | 146 | 460 | 4 | 38 |
| 3.63 | 140 | 146 | 480 | 5 | 40 |
| 3.61 | 141 | 146 | 480 | 6 | 42 |
| 3.60 | 141 | 145 | 480 | 8 | 46 |
| 3.50 | 143 | 141 | 480 | 12 | 50 |
| 3.50 | 143 | 142 | 480 | 15 | 52 |
| 3.50 | 143 | 142 | 480 | 18 | 53 |
| 3.43 | 145 | 144 | 480 | 20 | 58 |
| 3.43 | 145 | 144 | 480 | 30 | 60 |
| 3.43 | 145 | 144 | 480 | 35 | 66 |

Los valores de los variables de interés se estabilizan aproximadamente a los 4 minutos, pero sin embargo debido al efecto térmico sobre la resistencia dichos valores cambian ligeramente, la potencia consumida por el sistema es de aproximadamente 480 vatios, y disipándose en el balasto una potencia de 78,5 vatios aproximadamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el funcionamiento de las lámparas de descarga eléctrica, es necesario incorporar un elemento de arranque para el encendido de las mismas.

Este elemento llamado balasto es un dispositivo limitador de corriente inductivo, el cual permite que la lámpara desarrolle normalmente su potencia nominal sin peligro de que se auto destruya debido a la alta intensidad de corriente en el encendido.

Los balastos utilizados para este propósito están constituidos de un núcleo ferromagnético y de una bobina, los cuales son diseñados de acuerdo a la potencia de la lámpara a energizar, y la potencia consumida por estos balastos no excederá del 20% de la potencia consumida por la lámpara, de modo tal que las pérdidas en el hierro (circuito magnético del reactor) y la suma de estas pérdidas tienen un valor que se aproxima al 20% de la potencia de la lámpara.

El tipo de metal ferromagnético utilizado para los diseños es el acero al silicio de grano orientado (concentración de silicio 2,3%), lo que hace que este material magnéticamente blando sea el apropiado para este tipo de uso en particular (balastos para los sistemas de encendido de las luminarias de sodio y mercurio).

Las bobinas están constituidas básicamente de alambre de cobre esmaltado para balastos de luminarias menores a 100 vatios y para balastos de luminarias mayores a los 100 vatios suelen ser de aluminio esmaltado de doble capa, y esta diferencia responde fundamentalmente a razones de economía, y debido a las características eléctricas y mecánicas del cobre y del aluminio los

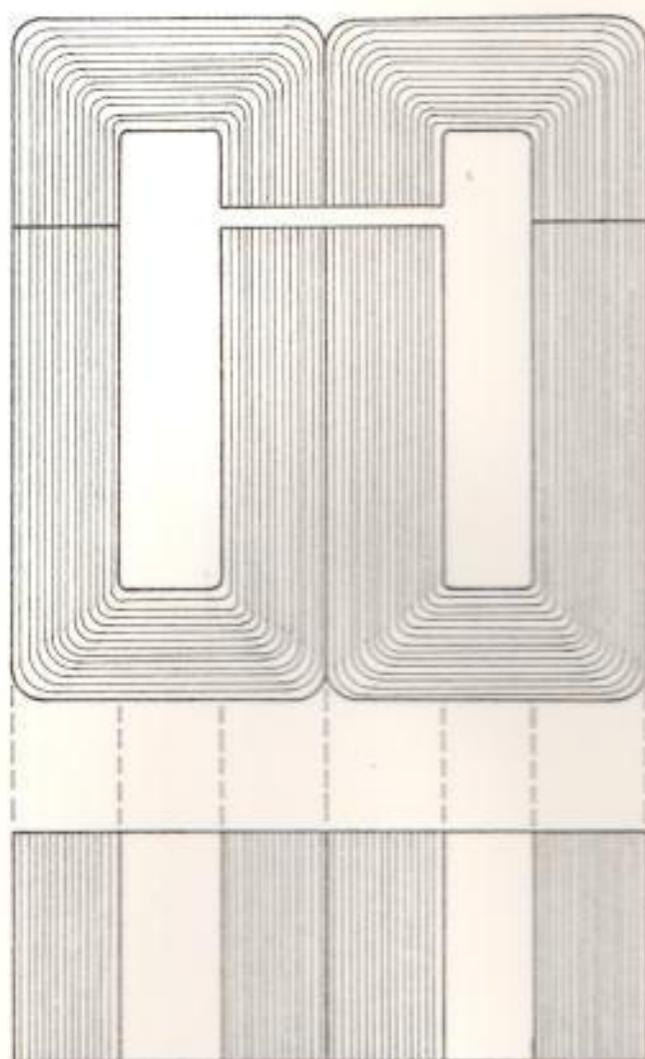
diseños de las bobinas difieren fundamentalmente en el número de espiras, y del calibre del alambre para una determinada potencia de lámpara.

Las dimensiones del núcleo ferrromagnético para el balasto son proporcionales a la potencia consumida por el sistema y esto hace que el peso y tamaño de la luminaria aumenten.

Para mejorar el rendimiento del sistema balasto-lámpara es recomendable diseñar los núcleos ferrromagnéticos como se indica en la figura # 5.4. estos núcleos son de cinta devanada.

De esta manera se logra una mejor orientación de las líneas de campo magnético y se ubica el entrehierro en la parte interna de la bobina, aumentando así la densidad de campo magnético en el mismo, puesto que se reduce el área efectiva del entrehierro, por otro lado se facilita el ensamblaje del diseño.



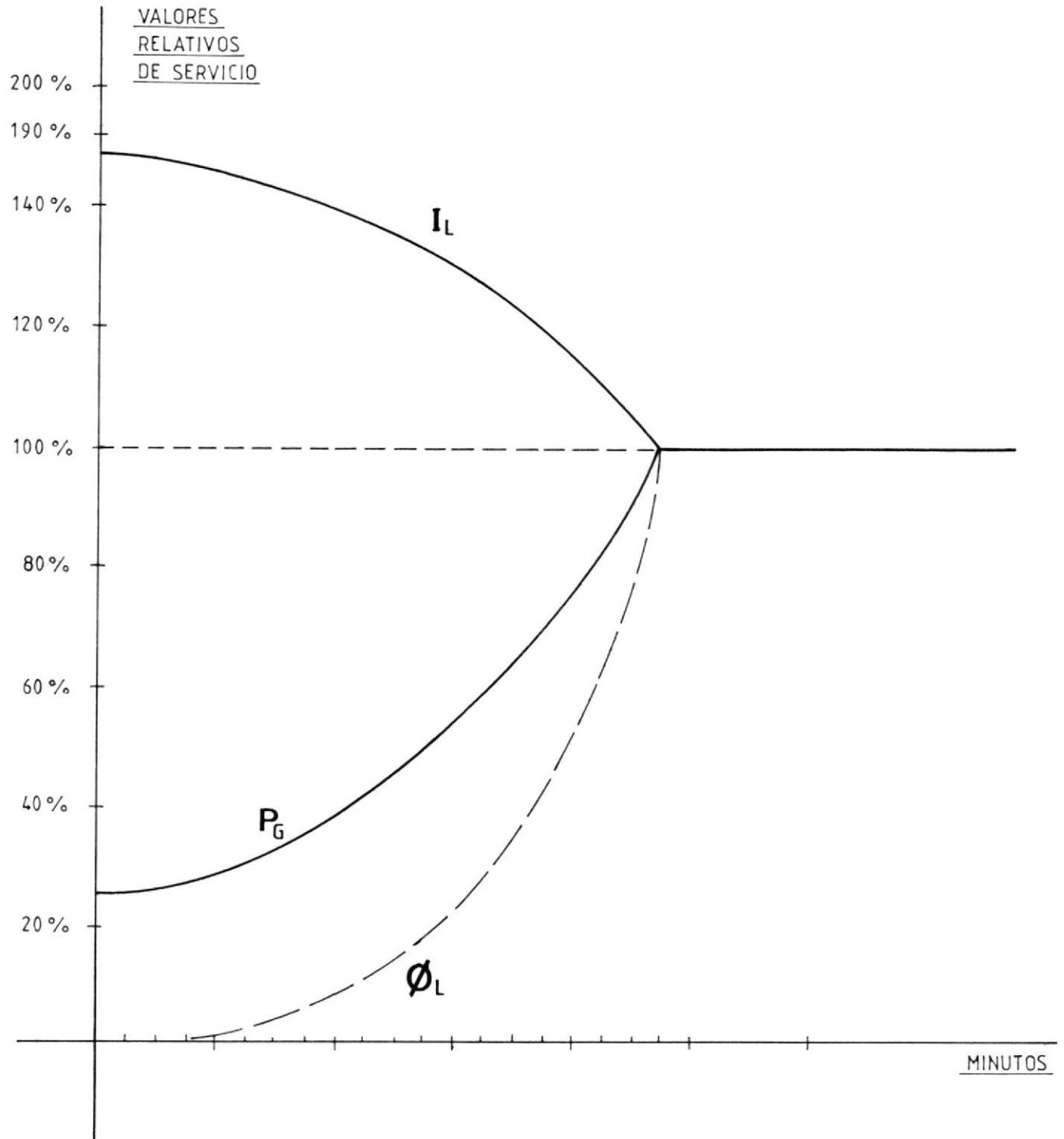


(figura # 5 - 4)

NUCLEO DE CINTA DEVANADA

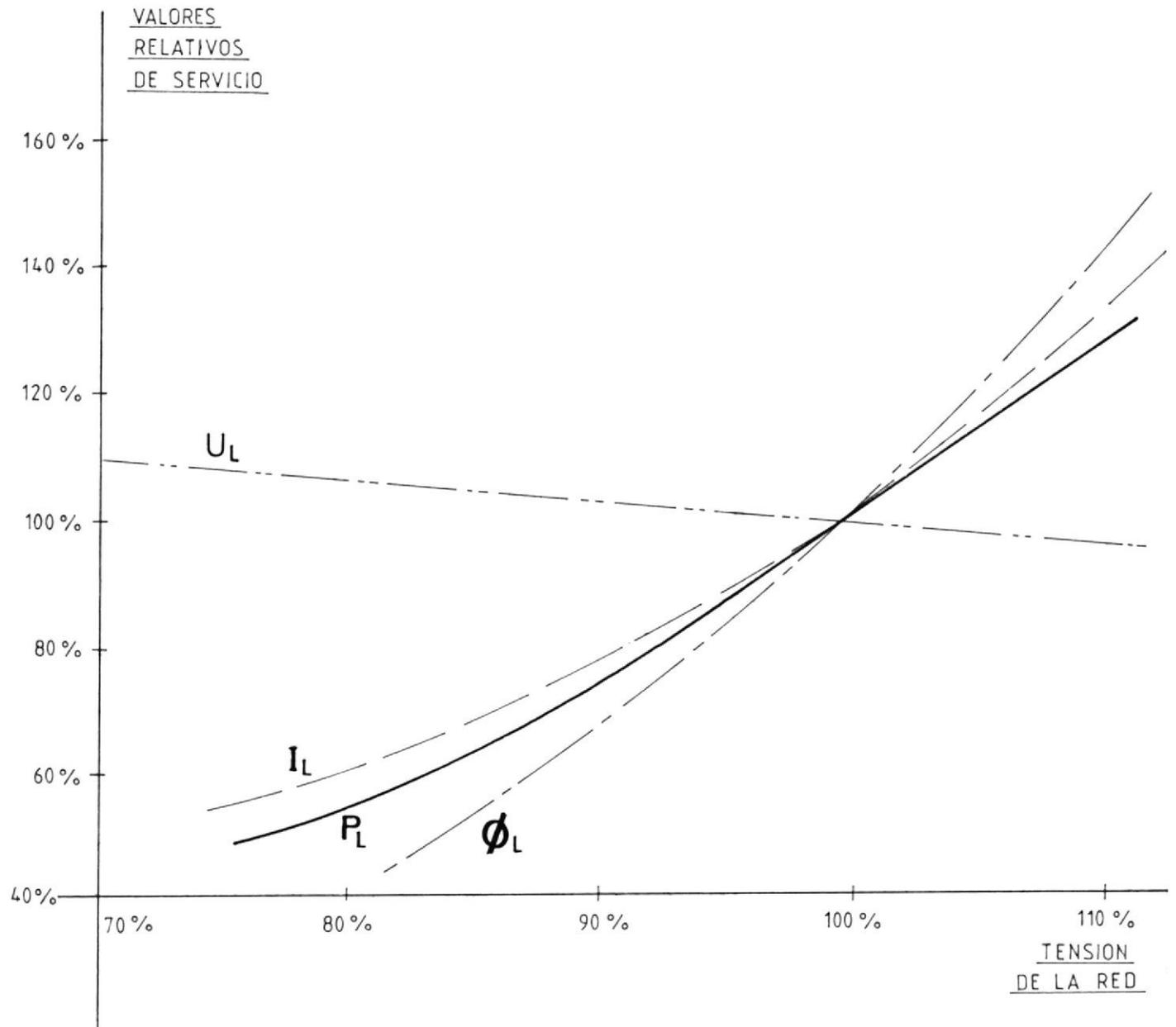
ANEXOS

A
B
C
D
E
F

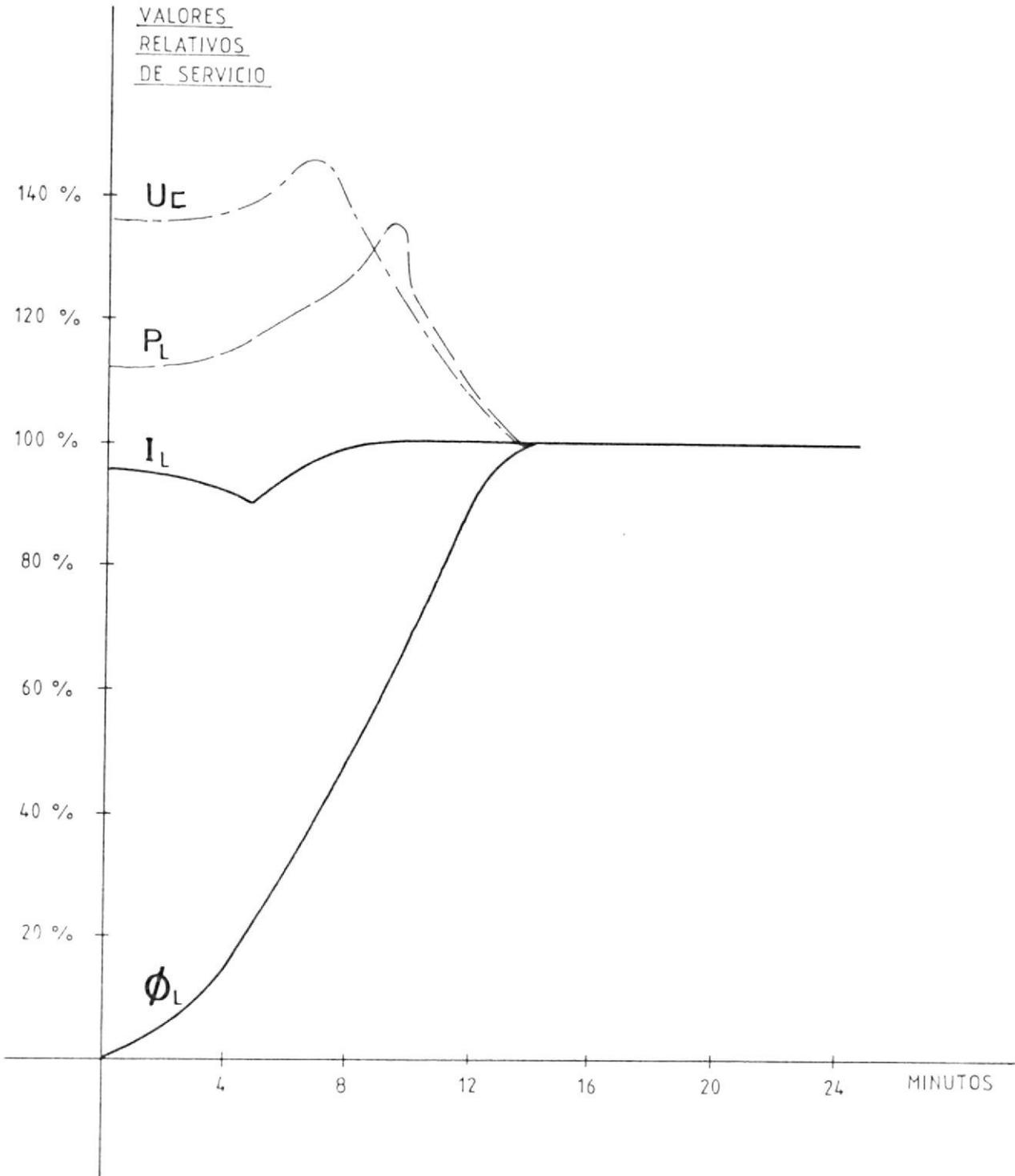


CURVAS DE ENCENDIDO DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESION

ANEXO A-2



CURVAS CARACTERISTICAS DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESION



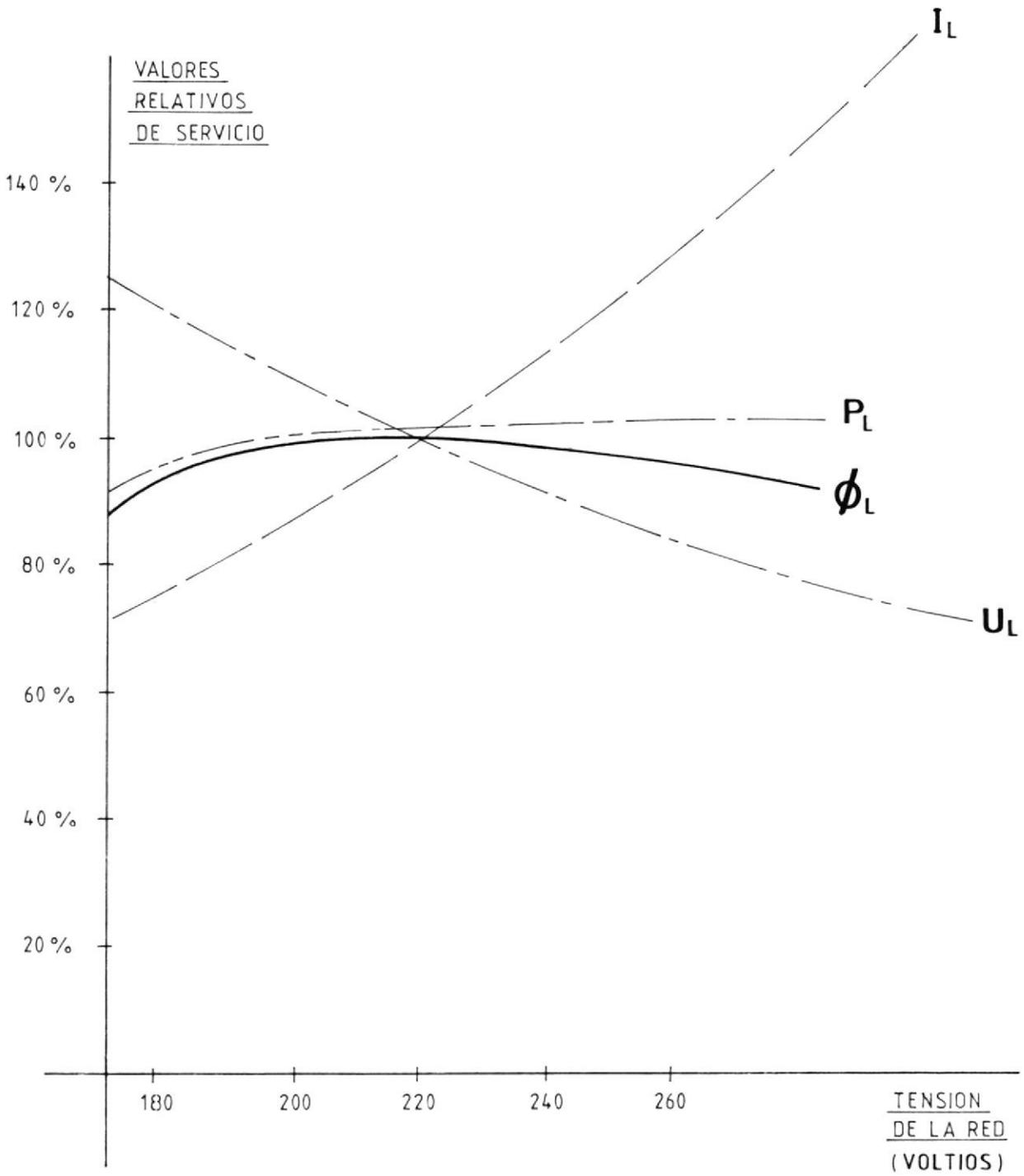
CURVAS DE ENCENDIDO DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION

U_C = Caída de tensión en la lámpara

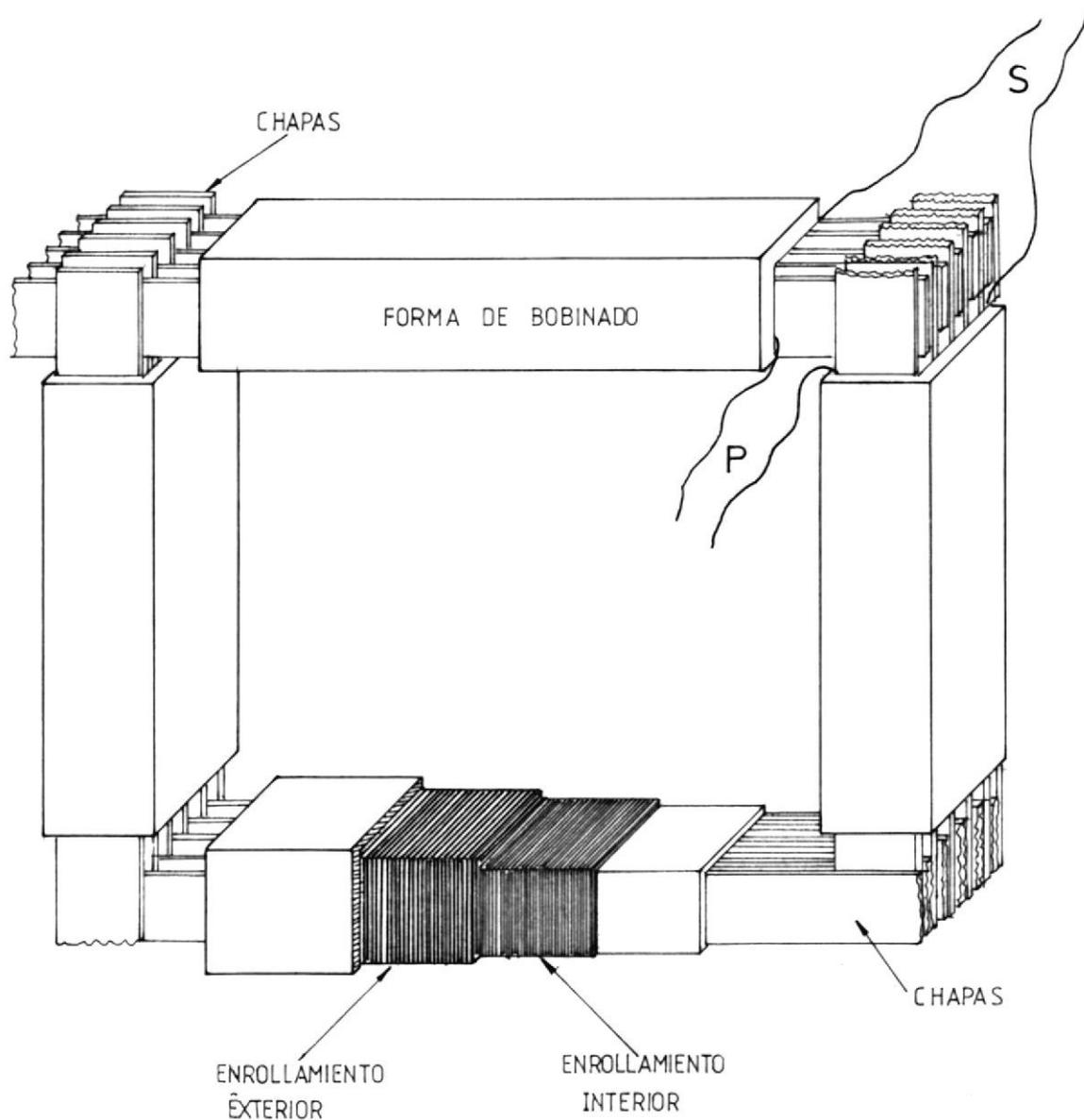
P_L = Potencia de la lámpara

I_L = Corriente de la lámpara

ϕ_L = Flujo luminoso de la lámpara



CURVAS CARACTERISTICAS DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO



METODO DE ENSAYO POR EPSTEIN

(P) = ENROLLAMIENTO PRIMARIO

(S) = ENROLLAMIENTO SECUNDARIO

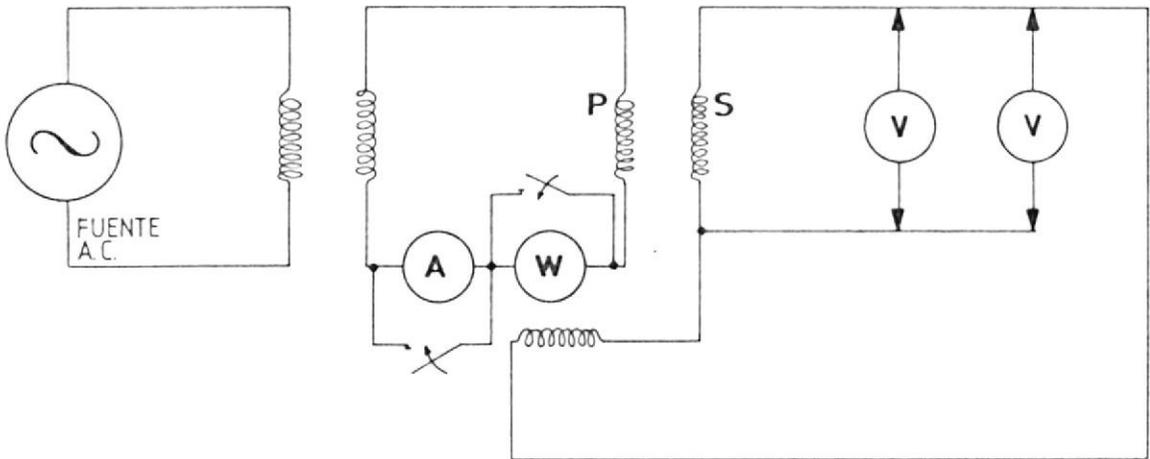


DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL CIRCUITO DE ENSAYO

PARA DETERMINAR PERDIDAS EN VATIOS / Kg

POR EPSTEIN

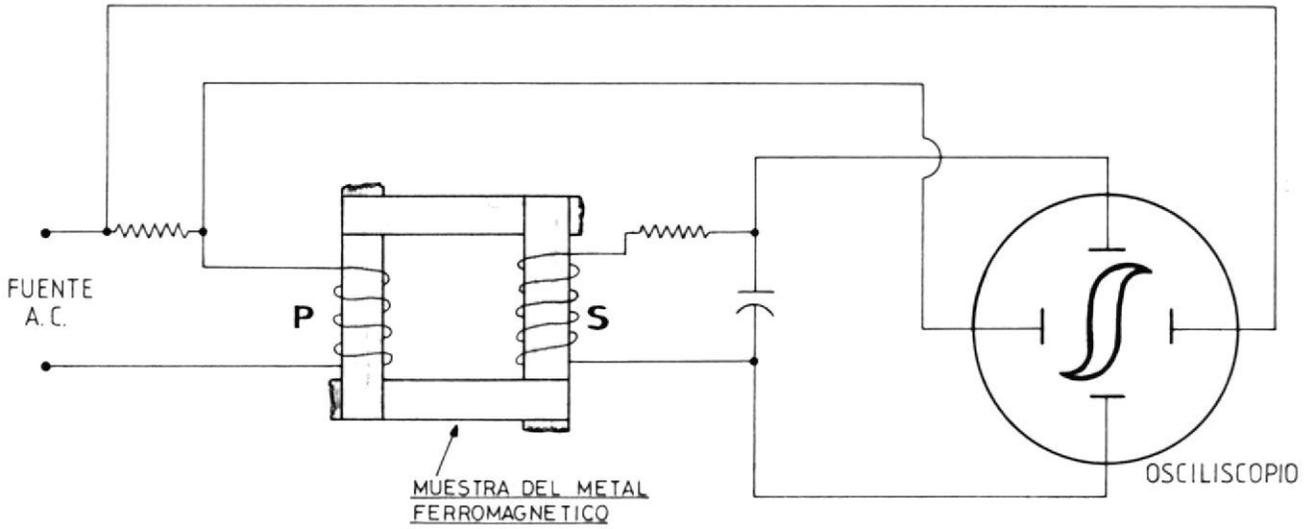
(A) = Amperímetro

(W) = Vatímetro

(V) = Voltímetro

(P) = Primario

(S) = Secundario

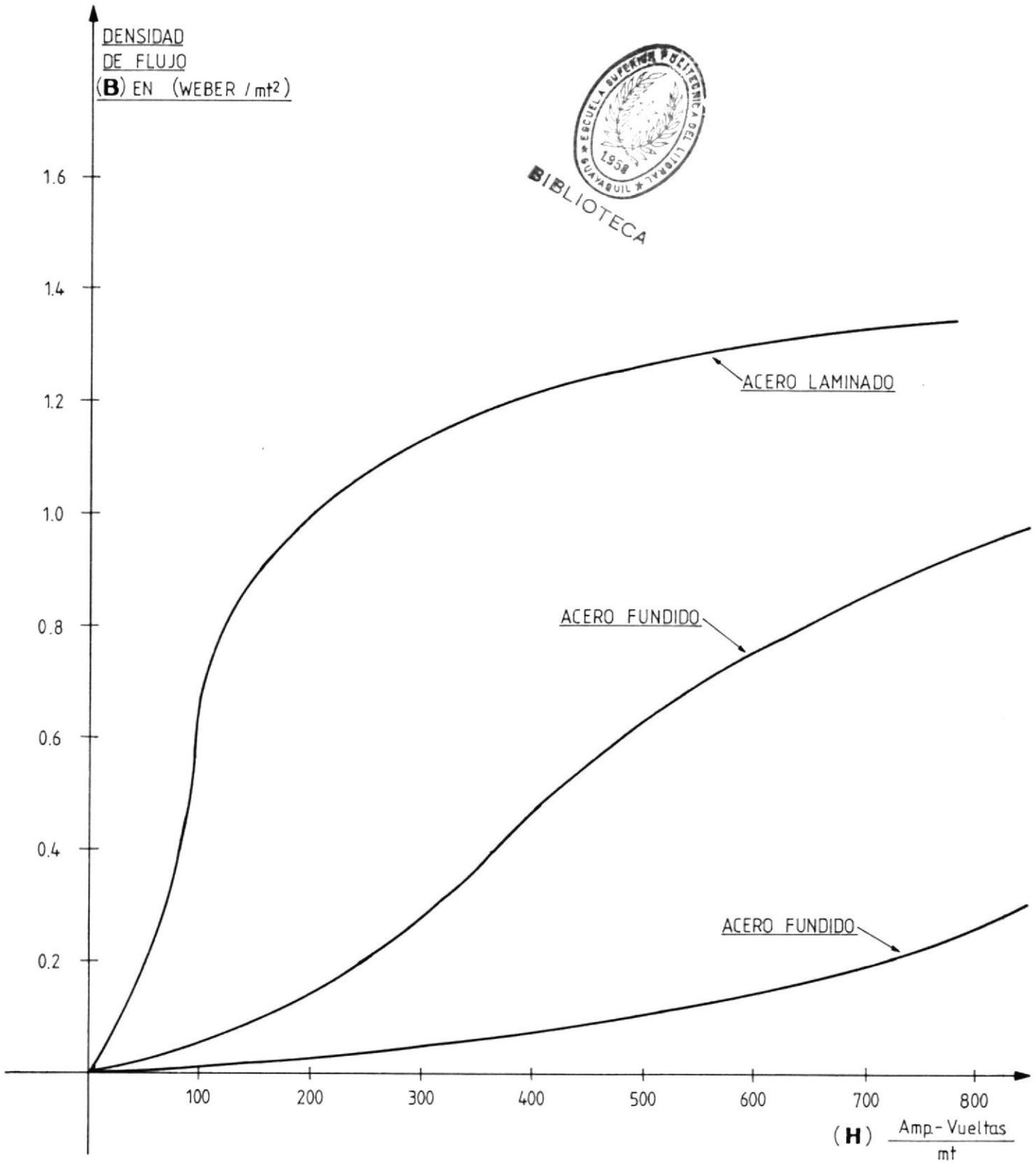


CIRCUITO PARA DETERMINAR LOS BUCLES DE HISTERISIS

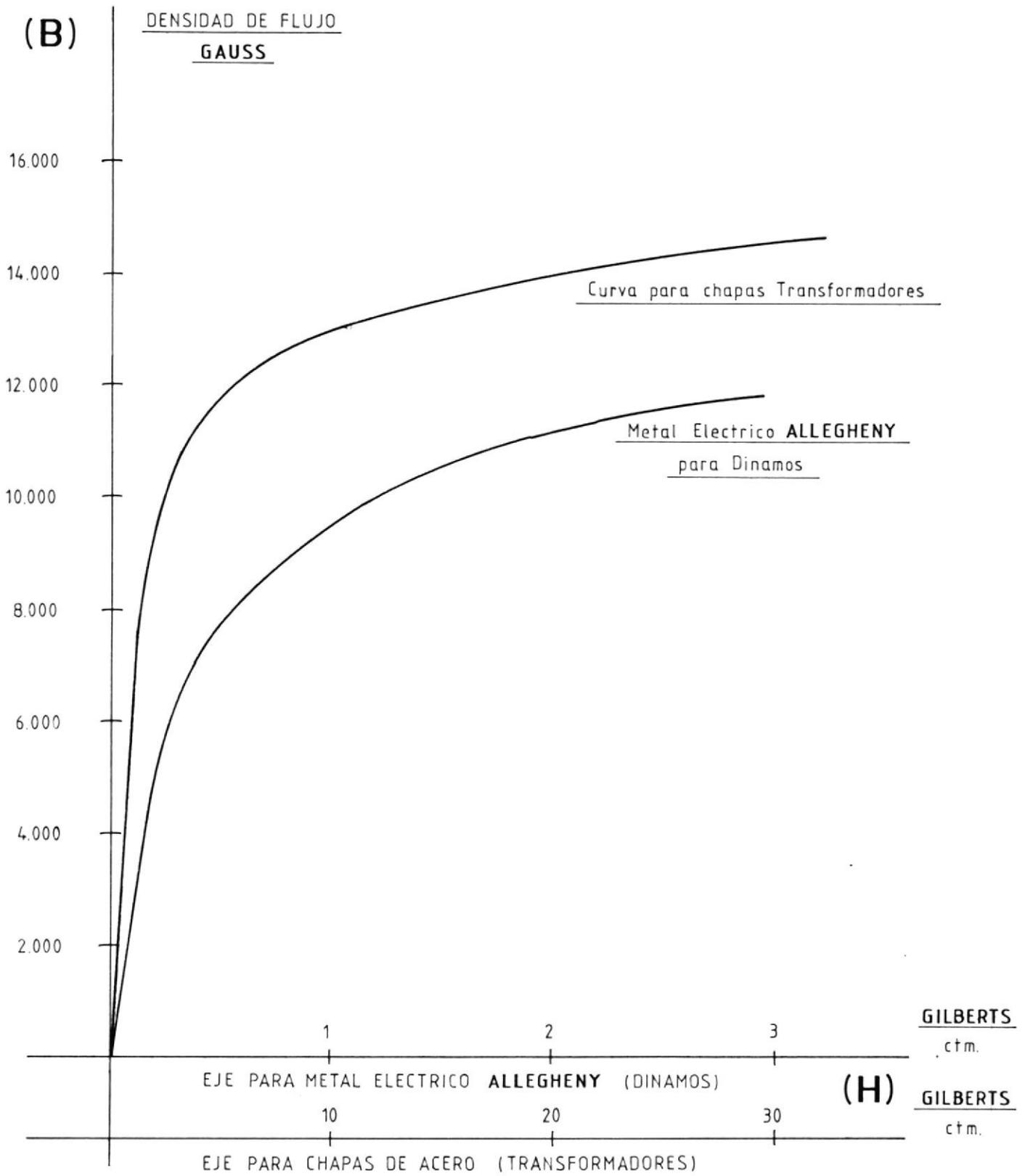
SOBRE LA PANTALLA DE UN OSCILISCOPIO

TABLA # 1

| DENSIDAD DE FLUJO MAGNETICO | GRADIENTE DE POTENCIAL Amp - Vueltas | F _{MM} Amp - Vueltas | DESVIACION DEL GALVANOMETRO | CORRIENTE DE EXITACION I (Amp.) |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| B | H | NI | D | I |
| 0.0337 | 256 | 130 | 3.0 | 0.10 |
| 0.1021 | 512 | 260 | 9.1 | 0.20 |
| 0.1684 | 640 | 325 | 15.0 | 0.25 |
| 0.413 | 1280 | 650 | 18.9 | 0.50 |
| 0.573 | 1925 | 975 | 17.0 | 0.75 |
| 0.673 | 2560 | 1300 | 21.0 | 1.00 |
| 0.770 | 3200 | 1635 | 24.0 | 1.25 |
| 0.877 | 3840 | 1950 | 25.8 | 1.50 |
| 0.873 | 4480 | 2275 | 27.2 | 1.75 |
| 0.936 | 5120 | 2600 | 28.3 | 2.00 |
| 0.935 | 5760 | 2925 | 28.8 | 2.25 |
| 0.936 | 6400 | 3250 | 29.2 | 2.50 |
| 0.964 | 7045 | 3575 | 30.1 | 2.75 |
| 0.937 | 7680 | 3900 | 31.2 | 3.00 |
| 1.030 | 8320 | 4225 | 32.8 | 3.25 |
| 1.030 | 8950 | 4550 | 3.0 | 3.50 |
| 1.060 | 9600 | 4875 | 33.5 | 3.75 |
| 1.080 | 10200 | 5200 | 34.0 | 4.00 |



CURVAS B-H PARA TRES DIFERENTES CONDICIONES DEL HIERRO Y ACERO



CURVAS (B-H) PARA DOS METALES DIFERENTES

TABLA A-5-1

CARACTERISTICAS TECNICAS DE ALGUNOS MATERIALES FERROMAGNETICOS

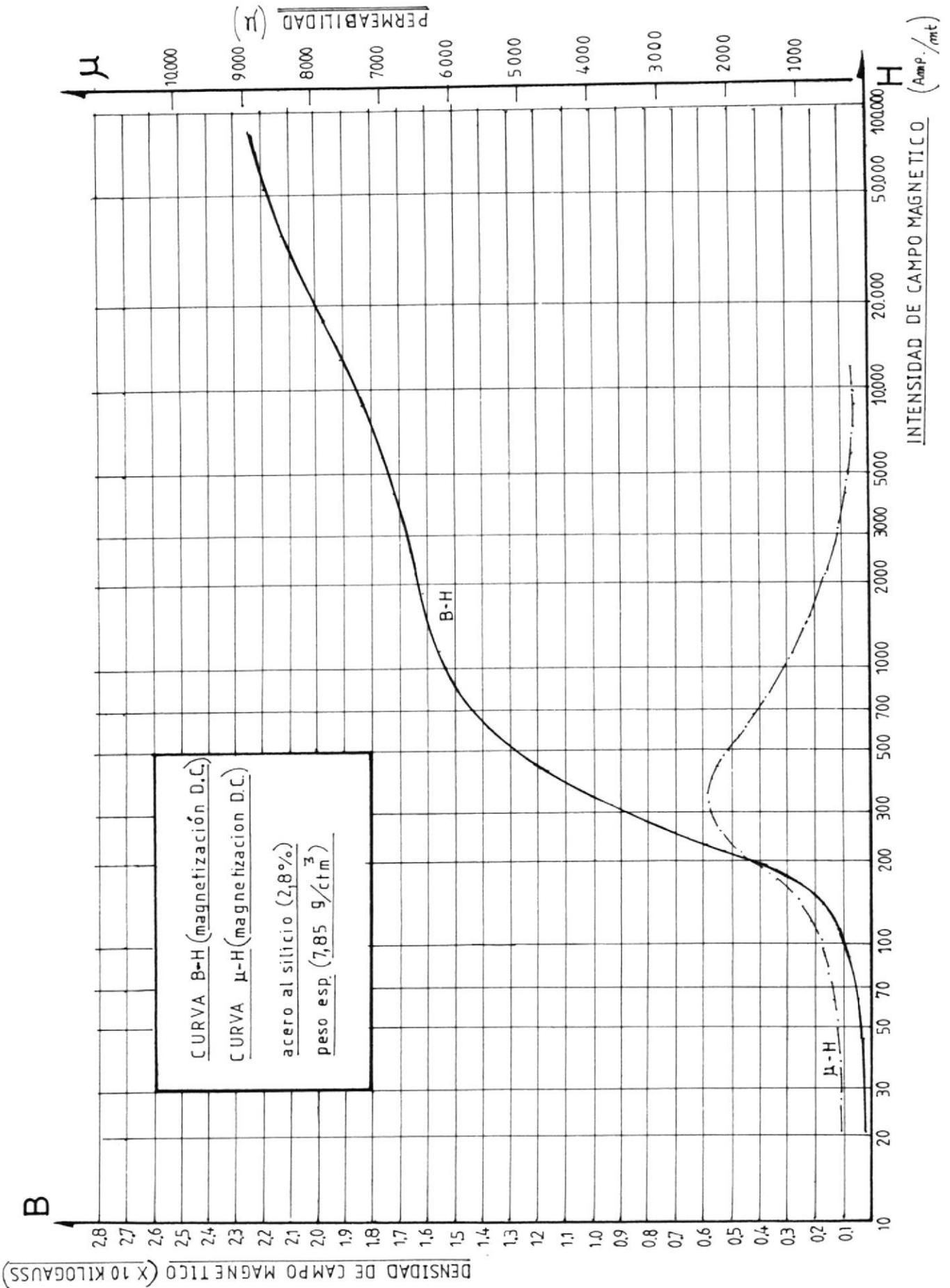
| ESPESOR | TIPO DE MATERIAL | CALIDAD | RESISTIVIDAD | PERDIDAS EN EL HIERRO VATIOS POR HORA | | | |
|---------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|--|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | | B max = 5000 GAUSS | B max = 10000 GAUSS | B max = 13000 GAUSS | B max = 15000 GAUSS |
| mm. | | | $\mu\Omega\text{-cm}$ | | | | |
| 0,358 | ACERO AL SILICIO LAMINADO | LOHYS RTBS #1 | 14 | 1,00 | 1,3 | 2,2 | 3,0 |
| 0,358 | ACERO AL SILICIO LAMINADO | SPECIAL LOHYS RTBS #2 | 15 | 0,95 | 1,3 | 2,2 | 3,0 |
| 0,325 | ACERO SILICIO GRANO ORIENTADO | STALLOY RTBS #4 | 45 | 0,06 | 1,0 | 1,8 | 1,9 |
| 0,500 | Ni - Fe ISOTROPICO | PERMALLOY (B) | 19 | 0,86 | 1,9 | 2,2 | 2,9 |
| 0,600 | 30% Ni - Fe | PERMALLOY (D) | 18 | 1,20 | 2,9 | 3,0 | 3,5 |

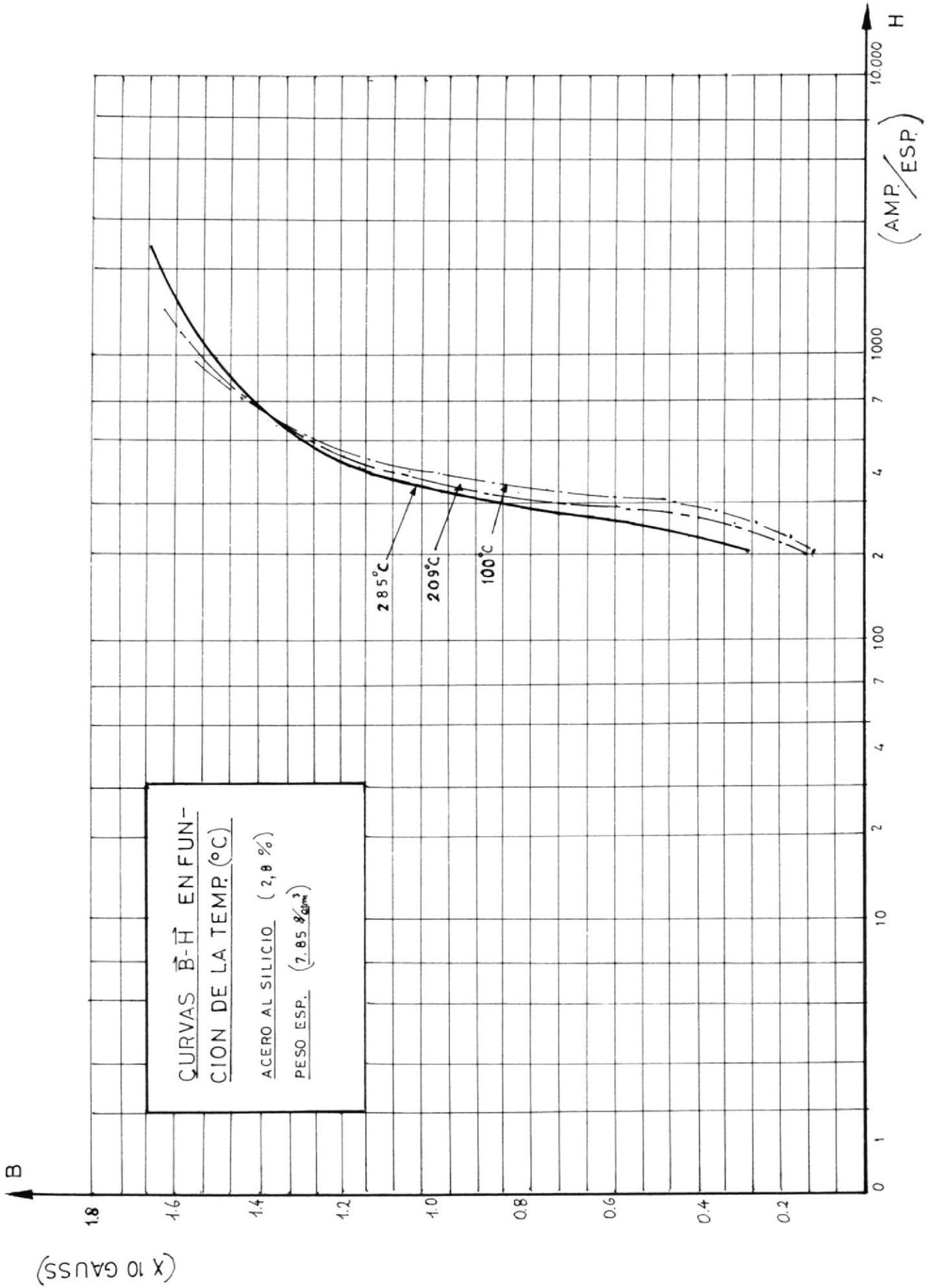
(TABLA # A-5-2) NOVEDADES FÍSICAS Y CARACTERISTICAS MAGNETICAS CON CORRIENTE CONTINUA DE MATERIALES MAGNETICOS DISPONIBLES EN EL MERCADO

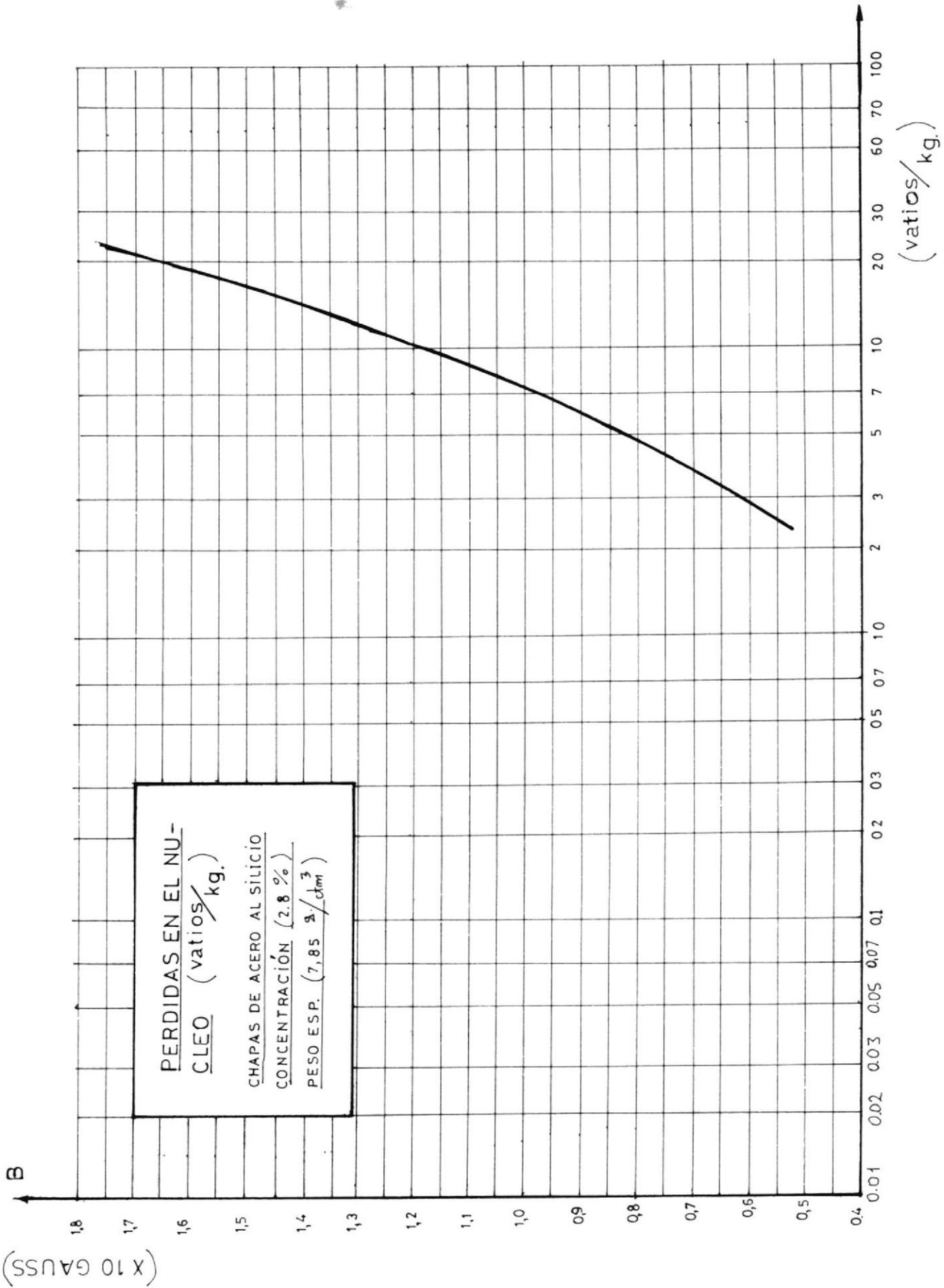
| TIPO DE MATERIAL | NOMBRE COMERCIAL | PERMEABILIDAD | | H. APROXIMAD. PARA U MAX. OERSTED | SATURACION (B-H) GAUSS | PERDIDAS POR HISTERISIS (Cerca o en Saturac.) |
|--------------------------------|------------------|---------------|--------|-----------------------------------|------------------------|---|
| | | INICIAL | MAXIMA | | | |
| ACERO AL SILICIO CONCENT. 2.8% | RTB #1 | 250 | 2400 | | 17.000 | 4500 $\frac{\text{Ergios/cic}}{\text{cm}}$ |
| ACERO - SILICIO CONCENT. 3.5% | RTB #2 | 300 | 6000 | 1,5 | 17.000 | |
| ACERO-SILICIO CONCENT. 4.0% | | 400 | 7000 | 0,8 | 18.000 | |
| ACERO SILICIO CONCENT. 4,5 % | | 1500 | 30.000 | 0,3 | 18.000 | |

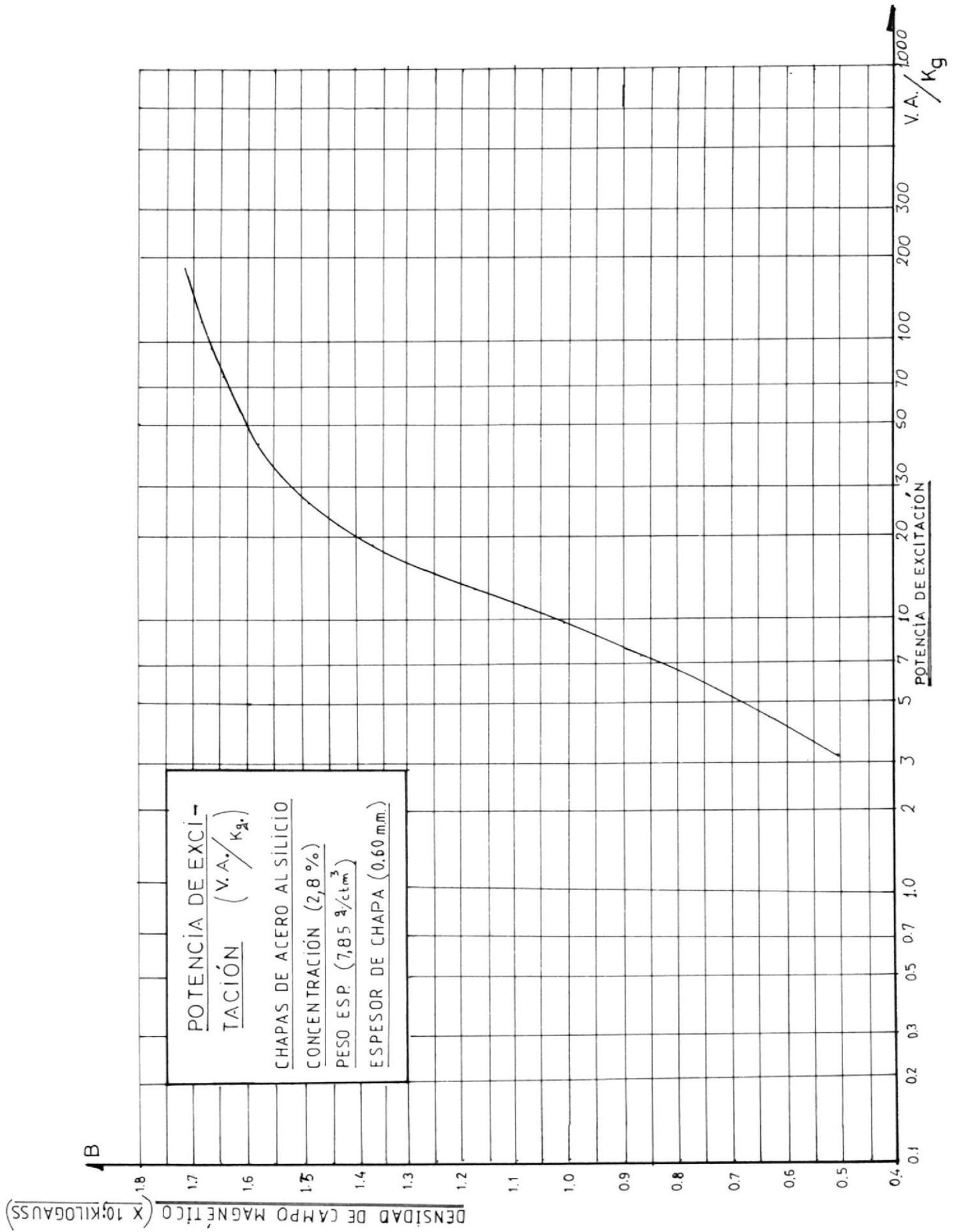
(cont. TABLA A-5-2)

| REMANENCIA B_r -(GAUSS) | COERCITIVIDAD H_c (OERSTED) | RESISTIVIDAD ρ ($\mu\text{-OHM-cm}$) | PESO ESPECIFICO (gr/cm) |
|------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------|
| 12.000 | 0,9 | 18 | 7,8 |
| | 0,75 | 42 | 7,7 |
| 12000 | 0,5 | 50 | 7,6 |
| | 0,15 | 47 | 7,6 |









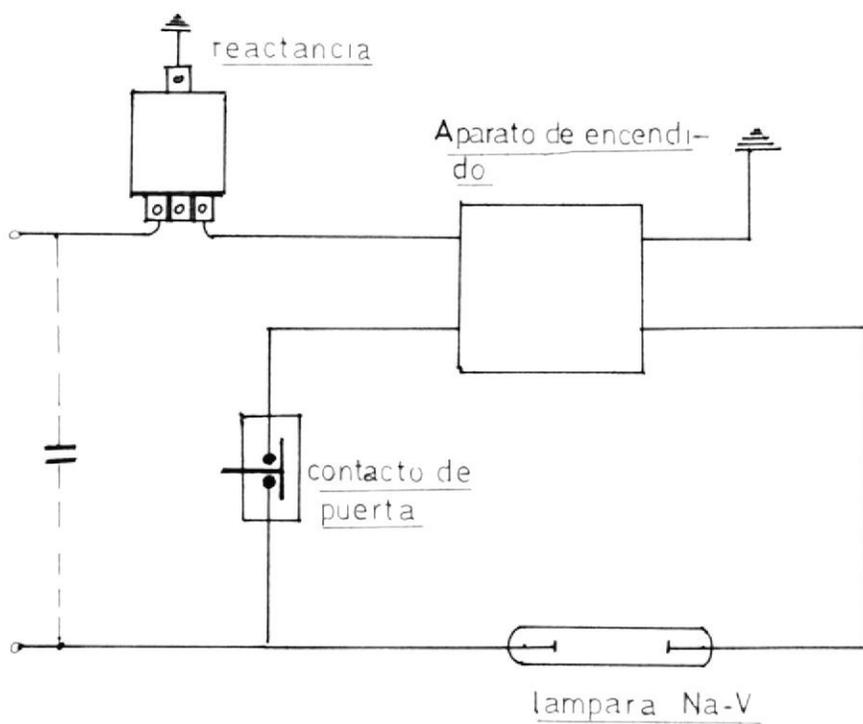
EL FACTOR DE HACINAMIENTO O APILAMIENTO
=====

A causa de la deposición de óxido, o de otro aislante sobre el material de las chapas ferromagnéticas, rugosidad de estas, y de sigualdad en el estampado sobre las mismas (defectos del troquelado) se tiene que área o sección transversal magnéticamente útil del núcleo de chapas no llega nunca al 100% de la sección transversal geométrica..

La relación entre estas dos áreas es lo que se llama factor de hacinamiento.

En la siguiente tabla se indica el factor de hacinamiento - (K) para algunos valores de espesor de la chapa magnética.

| FACTOR DE HACINAMIENTO (K) ===== PARA CHAPAS DE BALASTOS ===== | |
|---|------------|
| ESPESOR (m m) (t) | FACTOR (K) |
| CHAPA DE 0,60 m.m. | 0,960 |
| CHAPA DE 0,50 m.m. | 0,958 |
| CHAPA DE 0,48 m.m. | 0,940 |
| CHAPA DE 0,38 m.m. | 0,920 |
| CHAPA DE 0,15 m.m. | 0,830 |



ESQUEMA DE CONEXIONES



ANEXO C-1

DEFINICIONES

=====

Las siguientes definiciones están tomadas de las especificaciones A-127 de A.S.T.M., y puede servir de referencia para definir - otros términos correspondientes a los materiales magnéticos.

FLUJO MAGNETICO (\emptyset)

=====

Es aquel que se produce en un medio por una fuerza magnétomotriz cuando varía la magnitud del voltaje inducido, o las condiciones magnéticas.

Las unidades c.g.s. del flujo magnético es denominado MAXWELL y está definido por la siguiente ecuación:

$$e = - N \frac{d\emptyset}{dt} \times 10^{-8} \text{ voltios.}$$

Aquí (e) es la fuerza magnétomotriz inducida en voltios y $\left(\frac{d\emptyset}{dt}\right)$, es la velocidad de variación del flujo en MAXWELL por segundo

FUERZA COERCITIVA (H_c)

=====

La fuerza coercitiva H_c , es la fuerza magnetizante requerida - para anular la inducción en un material magnético, magnetizado en condiciones de ciclo simétrico.

La coercitividad es esta propiedad del material medida por el máximo valor de fuerza coersitiva.

INDUCCION INTRINSECA (B_i)

=====

Es el exceso de la inducción en un material magnético sobre - la inducción en vacío para un determinado valor de la fuerza magnetizante.

La ecuación para determinar la inducción INTRINSECA es la siguiente:

$$B_i = B - H$$

INDUCCION MAGNETICA (B)

=====

Es el flujo por unidad de superficie en una sección perpendicular a la dirección del flujo la unidad c.g.s. de inducción es denominada GAUSIO, y se define por la siguiente ecuación:

$$B = \frac{d\phi}{dA}$$

En condiciones de corriente alterna (C.A), B max. se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$B_{max} = \frac{E \times 10^{-8}}{4K N A f}$$

donde:

E = Son los voltios eficaces en los terminales de la bobina.

K = Es el factor de hacinamiento

N = Es el número de espiras de la bobina

A = Es el área de sección para el camino magnético.

f = Es la frecuencia del sistema.

ANEXO C - 3

INDUCCION NORMAL (B_N)
=====

Es el limite de inducción, ya sea positiva o negativa en un material magnético, magnetizado en ciclo simétrico.

INDUCCION RESIDUAL (B_r)
=====

Es la inducción magnética correspondiente al cero (o) de la fuerza magnetizante en un material magnético, magnetizado en ciclo simétrico. La retentividad es la propiedad de un material magnético, medida por el valor máximo de la inducción residual

INDUCCION DE SATURACION (B_s)
=====

Es la máxima inducción intrínseca posible de un material.

FUERZA MAGNETIZANTE (H)
=====

Es la fuerza magnetomotriz por unidad de longitud. la unidad c.g.s. es el OESTED y se define por la siguiente ecuación:

$$H = \frac{dF}{dl}$$

donde F está expresado en GILBERTS, y l en ctm, para un toroide, o en el centro de un solenoide largo, la fuerza magnetomotriz en oesterds, puede ser calculado del modo siguiente:

$$H = \frac{0,4}{l} NI$$

donde:

(I) esta expresada en Amperios.

y (l) en centímetros.

Anexo C - 4

FUERZA MAGNETOMOTRIZ (FMM)

Es la fuerza que tiende a producir un campo magnético. En ensayos magnéticos suele producirse haciendo pasar una corriente a través de una bobina, siendo su magnitud proporcional a la corriente y al número de espiras. La unidad c.g.s. de la fuerza magnetomotriz es el GILBERT, y se define por la siguiente ecuación:

$$F = 0,4 NI$$

donde:

I esta expresada en amperios. La fuerza magnetomotriz puede también ser producida por un campo magnetizado.

PERMEABILIDAD (C-a) U_c)

La permeabilidad a la c.a. es definida de formas variadas, y los valores que se obtienen para un material dado dependen de los métodos y de las condiciones de la medida. Medida según los métodos de ensayos para las propiedades magnéticas del hierro y del acero, es la relación entre el valor máximo de inducción, y de la fuerza magnetizante para un material magnético magnetizado en condiciones cíclicas simétricas.

Algunas veces se define por la relación de la densidad del flujo (valor eficaz o de raíz cuadrada media) o la fuerza magnetizante (valor eficaz).

Algunos de los factores que influyen en la permeabilidad para la C.A. son el espesor de las láminas, la frecuencia y la resistividad.

ANEXO C - 5

PERMEABILIDAD INCREMENTAL (μ)

=====

Es la relación entre la variación cíclica de inducción magnética y la correspondiente variación cíclica de fuerza magnetizante cuando la inducción media defiere de cero.

PERMEABILIDAD INICIAL (μ_0)

=====

Es el coeficiente angular de la tangente a la curva de inducción normal para el cero de la fuerza magnetizante.

PERMEABILIDAD NORMAL (μ)

=====

Es la relación entre la inducción normal y la fuerza magnetizante correspondiente. En el Sistema c.g.s. la densidad del flujo en el vacío es numéricamente igual a la fuerza magnetizante, y por consiguiente, la permeabilidad magnética es numéricamente igual a la relación entre la densidad de flujo y la fuerza magnetizante así:

$$\mu = \frac{B}{H}$$



FUERZA MAGNETIZANTE \vec{H} O GRADIENTE DE POTENCIAL MAGNETICO

| | | | |
|---|-------------------|------------------------|------------------------|
| MULTIPLICAR H EN EL NUMERO DE \rightarrow POR PARA OBTENER H EN \downarrow | (GILBERTS) cm. | (AMP-ESPIRAS) pulg. | (AMP-ESPIRAS) mts. |
| | ó OESTEDS | | |
| GILBERTS / cm. | 1 | 0,4950 | $1,257 \times 10^{-2}$ |
| AMP-ESPIRAS / pulg | 2,021 | 1 | 2540×10^{-2} |
| AMP-ESPIRAS / mts | 79,58 | 39,37 | 1 |

◇◇◇◇ DENSIDAD DE FLUJO MAGNETICO \vec{B}

| | | | |
|---|---|---------------------------------|-------------------------|
| MULTIPLICAR \vec{B} EN EL NUMERO DE \rightarrow POR PARA OBTENER \vec{B} EN \downarrow | GAUSSES O MAXWELLS / cm ² | MAXWELLS / pulg ² | |
| | ó LINEAS / cm ² | ó LINEAS / pulg ² | WEBERS / m ² |
| (GAUSSES) ó LINEAS / cm ² | 1 | 0,155 | 10^4 |
| LINEAS / pulg ² | 6,452 | 1 | $6,452 \times 10^4$ |
| WEBER / mt ² | 10^4 | $0,155 \times 10^{-4}$ | 1 |

ANEXO D - 1

CRITERIOS DE DISEÑO PARA LOS REACTORES DE LUMINARIAS (BALASTOS):
=====

D-1-1 Es conveniente diseñar la reactancia de modo que la densidad de flujo en las chapas (B) esté precisamente dentro del valor de saturación (Bmax). Cuando la corriente de arranque fluje a la tensión máxima de la red.

D-1-2 La pérdida de potencia por corrientes parásitas corresponden aproximadamente al 1/5 de las pérdidas en el hierro, y pueden ser calculadas mediante la siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{\pi B_{\max}^2 f^2 t^2}{6 \rho} \quad \left(\frac{\text{Vatios}}{\text{mt}^3} \right)$$

donde:

Bmax = densidad de campo magnético máxima correspondiente a la corriente de arranque.

f = frecuencia de la red.

t = espesor de las chapas

ρ = Resistividad del material ferromagnético - expresado en ohmios - mt³

D-1-3 El peso del núcleo ferromagnético para el balasto puede ser determinado mediante la siguiente ecuación:

$$W_B = \frac{P_f}{P_n} \quad (\text{Kg}).$$

donde:

Pf = Pérdidas totales en el hierro.

Pn = Pérdidas en el hierro por cada (kg)

(ver curva en anexo B-9)

D-1.4. El volumen bruto para el núcleo ferromagnético del balasto puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$V_B = \frac{W_B}{\text{Pes}} \text{ (mt}^3\text{)}$$

donde:

Pes = es el peso específico del material ferromagnético.

(ver recuadro en el anexo B-7-2)

D-1.5. En el diseño preliminar de las ventadas para el núcleo ferromagnético del balasto, es recomendable tomar el ancho de las láminas como $X = \frac{1}{3} D$ (ver figura 5.1.), puesto que el circuito magnético del núcleo tiene que ser lo más uniforme posible, y simétrico en su presentación y además funcional para hacer posible el montaje de los elementos del balasto (chapas en E y en I).

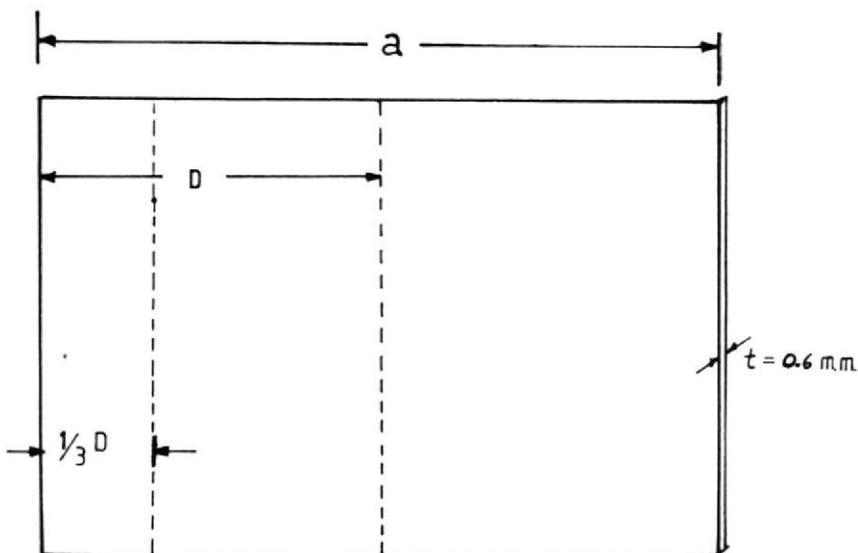


FIGURA # 5-1

DIMENSIONES PARA EL ESPESOR Y EL ANCHO DE LAS CHAPAS MAGNETICAS

La base (axb) para el núcleo del balasto quedará definida por los requerimientos de espacio en la caja de la luminaria, de manera que no estorbe.

D-1.6. El espacio de fuga recomendable para las ventanas, esto es la distancia entre la última capa del embobinado y la pared del fierro en la ventana tiene que ser de un valor mínimo de 2,8 m.m.

D-1.7. Para calcular el valor de la longitud del entrehierro se recomienda tener el 5,5% de la distancia más corta de la sección transversal del camino magnético en el fierro, para tener un diseño lo más próximo al óptimo deseado.

D-1.8. El óptimo op del balasto se lo define como la relación de sus V.A. reactivos respecto de sus V.A. resistivos.

$$\begin{aligned} \text{Op} &= \frac{\text{V.A. reativos}}{\text{V.A. resistivos}} \left(\frac{\text{Var.}}{\text{vatios}} \right) \\ &= 1 \end{aligned}$$

D-1.9. El número de espiras a designar para la construcción de la bobina tiene que ser el valor promedio entre el obtenido mediante la ley de ampere en el circuito magnético y el obtenido a partir de las dimensiones del núcleo ferromagnético y el espacio disponible en las ventanas del mismo.

$$N = \frac{N_m + N_n}{2}$$



D-1-10

Para el cálculo de la inductancia del reactor conviene utilizar la permeabilidad promedio para el circuito magnético, lo cual puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$U_{ave} = \frac{\mu_{ca}}{1 + \frac{(lg)_N}{LM} \mu_{ca}}$$

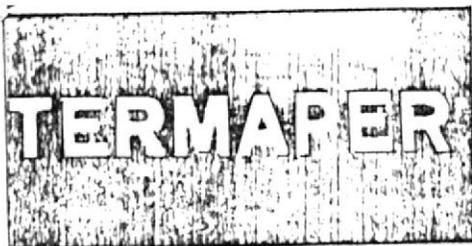
donde:

U_{ave} = es la permeabilidad promedio para el circuito magnético con entrehierro.

$(lg)_N$ = es la longitud efectiva del entrehierro

μ_{ca} = es la permeabilidad a la C.A. en el hierro.

LM = es la longitud promedio del circuito magnético.



GENERALIDADES : CEPER – Conductores Eléctricos Peruanos– coloca a disposición del mercado consumidor el alambre esmaltado aislado a base de poliéster imídico, que es muy recomendable para equipos eléctricos que deben resistir una temperatura de operación del orden de 180°C.

Además de gran resistencia a altas temperaturas, el alambre TERMAPER presenta también óptimas características mecánicas.

PROPIEDADES ELECTRICAS : El alambre esmaltado TERMAPER posee excelentes características eléctricas, gran rigidez y bajas pérdidas a altas temperaturas.

COMPATIBILIDAD : El alambre TERMAPER es compatible con barnices de los tipos alquilonólico, alquilsilicona, poliéster y silicona.

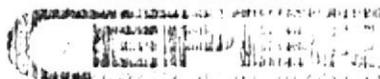
APLICACIONES : Motores de aparatos domésticos.
Transformadores, motores, reactores.
Bobinas de ignición y de corriente.
Alternadores

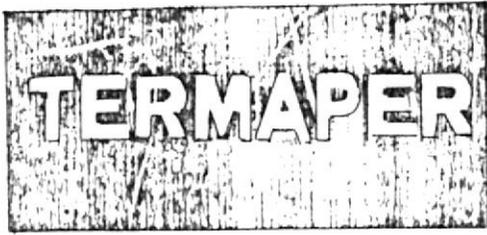
TIPOS : Esmaltado de capa simple de 14 AWG a 34 AWG
Esmaltado de capa doble de 8 AWG a 34 AWG.

EMBALAJE : De acuerdo a características técnicas especificadas.

NORMA DE FABRICACION : El alambre esmaltado TERMAPER se fabrica de acuerdo a las normas de la National Electrical Manufacturers Association.
NEMA 1000 MW 30 C

FABRICADOS POR





CARACTERISTICAS DEL ALAMBRE 18 AWG DOBLE CAPA

| PRUEBA | NORMA NEMA MW 30-C | MINIMO ESPECIFICADO | OBTENIDO CEPER |
|--|--|------------------------------|-------------------|
| CLASE TERMICA | ASTM D 2307; IEEE 1 | 180°C | 198°C |
| TERMOPLASTICIDAD | 2000 g.; 5°C/min. | Mínimo 300°C | 310°C a 330°C |
| CHOQUE TERMICO | 20% Brusco - 3 X ϕ 200°C - 30 minutos | Debe resistir | Resiste |
| ADHERENCIA Y FLEXIBILIDAD | 20% Brusco - 3 X ϕ | Debe resistir | Resiste |
| ALARGAMIENTO A LA RUPTURA | 300 ± 25 mm/min | Mínimo 32% | 35% |
| RIGIDEZ DIELECTRICA Temperatura Ambiente Temperatura 130°C | 1360 g. 8 vueltas — | Mínimo 5700v Mínimo 4275v | 9000v 7000v |
| RESISTENCIA A LA ABRASION | Unidireccional 400 mm/min | Mínimo 980 g. | 1350 g. |
| RESISTENCIA A SOLVENTES | Xileno, Percloroetileno, 50/50 Etilo celosolve/ xileno | — | Optimo |

FABRICADOS POR

CONDUCTORES ELÉCTRICOS GUATEMALA, S.A.

ALAMBRES ESMALTADOS

| Designación CEPER | Tipo de Esmalte | Tipo de Operación | Norma | <u>Usos Principales</u> |
|----------------------|---|-------------------|---------------|---|
| FORMAPER | ESMALTE A BASE DE POLIVINIL FORMAL MODIFICADO | A 105 | NEMA MW 15 | Bobinas para motores de refrigeradores Bobinas para motores de alta velocidad Motores, generadores, reguladores, arrancadores, dinamos en general. Bobinas moldeadas. |
| SOLDAPLR | ESMALTE A BASE DE POLIURETANO | B 130 | NEMA NW 2 | Aparatos de radio y T.V. Bobinas para aparatos electrónicos En cualquier caso que se requiera facilidad para soldar. Aparatos de medición. |
| TERMAPER | ESMALTE POLIESTER IMIDICO | H 180 | NEMA MW-30 | Alternadores Motores de aparatos domésticos Transformadores para aparatos de radio y T.V. Reactores, reguladores, bobinas de ignición Micro motores. Motores fraccionarios y universales. Bobinas de ignición y de corriente para medidores En general, todos los aparatos sujetos a condiciones de humedad y calor. |
| EPOXYPER | ESMALTE A BASE DE EPOXI | B 130 | NEMA MW 19 | |
| POLIPIER | ESMALTE A BASE DE POLIESTER | F 155 | NEMA MW 5 | |

COMPARACION DE CALIBRES

| MILS | m.m. | sistema americano A.W.G. | SISTEMA INGLES | SISTEMA METRICO |
|-------|-------|--------------------------------|-------------------|--------------------|
| 460.1 | 11.68 | 4/0 | — | — |
| 432 | 11.0 | — | 5/0 | — |
| 409.6 | 10.40 | 3/0 | — | — |
| 400 | 10.2 | — | 4/0 | — |
| 393.7 | 10.0 | — | — | 100 |
| 372 | 9.45 | — | 3/0 | — |
| 364.8 | 9.266 | 2/0 | — | — |
| 354 | 9.00 | — | — | 90 |
| 348 | 8.84 | — | 2/0 | — |
| 324.9 | 8.252 | 1/0 | — | — |
| 324 | 8.23 | — | 1/0 | — |
| 315 | 8.00 | — | — | 80 |
| 300 | 7.62 | — | 1 | — |
| 289.3 | 7.348 | 1 | — | — |
| 276 | 7.01 | — | 2 | — |
| 276 | 7.00 | — | — | 70 |
| 257.6 | 6.543 | 2 | — | — |
| 252 | 6.40 | — | 3 | — |
| 236 | 6.00 | — | — | 60 |
| 232 | 5.89 | — | 4 | — |
| 229.4 | 5.827 | 3 | — | — |
| 212 | 5.38 | — | 5 | — |
| 204.3 | 5.189 | 4 | — | — |
| 197 | 5.00 | — | — | 50 |
| 192 | 4.88 | — | 6 | — |
| 181.9 | 4.620 | 5 | — | — |
| 177.2 | 4.50 | — | — | 45 |
| 176 | 4.47 | — | 7 | — |
| 162.0 | 4.115 | 6 | — | — |
| 160 | 4.06 | — | 8 | — |
| 157 | 4.00 | — | — | 40 |
| 144.3 | 3.665 | 7 | — | — |
| 144 | 3.66 | — | 9 | — |
| 138 | 3.50 | — | — | 35 |
| 128.5 | 3.264 | 8 | — | — |
| 128 | 3.25 | — | 10 | — |
| 118 | 3.0 | — | — | 30 |
| 116 | 2.95 | — | 11 | — |
| 114.4 | 2.906 | 9 | — | — |
| 104 | 2.64 | — | 12 | — |
| 101.9 | 2.588 | 10 | — | — |
| 98.4 | 2.50 | — | — | 25 |
| 92 | 2.34 | — | 13 | — |
| 90.7 | 2.30 | 11 | — | — |
| 80.8 | 2.05 | 12 | — | — |
| 80.0 | 2.03 | — | 14 | — |
| 78.7 | 2.00 | — | — | 20 |
| 72.0 | 1.83 | 13 | 15 | — |
| 70.9 | 1.80 | — | — | 18 |
| 64.1 | 1.63 | 14 | — | — |
| 64 | 1.63 | — | 16 | — |
| 63 | 1.60 | — | — | 16 |
| 57.1 | 1.45 | 15 | — | — |
| 56 | 1.42 | — | 17 | — |
| 55.1 | 1.40 | — | — | 14 |
| 50.8 | 1.29 | 16 | — | — |
| 48 | 1.22 | — | 18 | — |
| 47.2 | 1.20 | — | — | 12 |
| 45.3 | 1.15 | 17 | — | — |
| 40.3 | 1.02 | 18 | — | — |
| 40 | 1.02 | — | 19 | — |
| 39.4 | 1.00 | — | — | 10 |
| 36 | 0.914 | — | 20 | — |
| 35.9 | 0.912 | 19 | — | — |
| 35.4 | 0.90 | — | — | 90 |
| 32.0 | 0.813 | 20 | 21 | — |
| 31.5 | 0.800 | — | — | 80 |
| 28.5 | 0.724 | 21 | — | — |
| 28 | 0.711 | — | 22 | — |
| 27.6 | 0.70 | — | — | 70 |
| 25.3 | 0.643 | 22 | — | — |

(continued on...)

(alpha)

COMPARACION DE CALIBRES

| MILS | m.m. | SISTEMA AMERICANO A.W.G. | SISTEMA INGLES | SISTEMA METRICO |
|------|--------|--------------------------------|-------------------|--------------------|
| 24 | 0.610 | — | 23 | — |
| 23.6 | 0.60 | — | — | 6.0 |
| 22.6 | 0.574 | 23 | — | — |
| 22 | 0.559 | — | 24 | — |
| 20.1 | 0.511 | 24 | — | — |
| 20 | 0.508 | — | 25 | — |
| 19.7 | 0.50 | — | — | 5.0 |
| 18 | 0.457 | — | 26 | — |
| 17.9 | 0.455 | 25 | — | — |
| 17.7 | 0.45 | — | — | 4.5 |
| 16.4 | 0.417 | — | 27 | — |
| 15.9 | 0.404 | 26 | — | — |
| 15.7 | 0.40 | — | — | 4.0 |
| 14.8 | 0.376 | — | 28 | — |
| 14.2 | 0.361 | 27 | — | — |
| 13.8 | 0.35 | — | — | 3.5 |
| 13.6 | 0.345 | — | 29 | — |
| 12.6 | 0.320 | 28 | — | — |
| 12.4 | 0.315 | — | 30 | — |
| 11.8 | 0.30 | — | — | 3.0 |
| 11.6 | 0.295 | — | 31 | — |
| 11.3 | 0.287 | 29 | — | — |
| 10.8 | 0.274 | — | 32 | — |
| 10.0 | 0.254 | 30 | 33 | — |
| 9.84 | 0.25 | — | — | 2.5 |
| 9.2 | 0.234 | — | 34 | — |
| 8.9 | 0.226 | 31 | — | — |
| 8.4 | 0.213 | — | 35 | — |
| 8.0 | 0.203 | 32 | — | — |
| 7.87 | 0.20 | — | — | 2.0 |
| 7.6 | 0.193 | — | 36 | — |
| 7.1 | 0.180 | 33 | — | — |
| 7.09 | 0.18 | — | — | 1.8 |
| 6.8 | 0.173 | — | 37 | — |
| 6.3 | 0.160 | 34 | — | 1.6 |
| 6.0 | 0.152 | — | 38 | — |
| 5.91 | 0.15 | — | — | 1.5 |
| 5.6 | 0.142 | 35 | — | — |
| 5.51 | 0.14 | — | — | 1.4 |
| 5.2 | 0.132 | — | 39 | — |
| 5.12 | 0.13 | — | — | 1.3 |
| 5.0 | 0.127 | 36 | — | — |
| 4.8 | 0.122 | — | 40 | — |
| 4.72 | 0.12 | — | — | 1.2 |
| 4.5 | 0.114 | 37 | — | — |
| 4.4 | 0.112 | — | 41 | — |
| 4.33 | 0.11 | — | — | 1.1 |
| 4.0 | 0.102 | 38 | 42 | — |
| 3.94 | 0.10 | — | — | 1.0 |
| 3.6 | 0.0914 | — | 43 | — |
| 3.5 | 0.0889 | 39 | — | — |

TABLA 50. Medidas y propiedades de hilos de cobre

| Diámetro del hilo del hilo desnudo con esmalte | Sección del hilo del hilo desnudo con esmalte | Peso por metro | Resistencia por metro | Número de espiras | Intensidad máxima admisible | |
|--|---|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | | | S = 2,55 A/mm ² / 2,55 mA | S = 1,00 A/mm ² / 1,00 mA |
| 0,05 | 0,062 | 20-10 ⁻⁴ | 9,1 | 20 000 | 5 | 2 |
| 0,06 | 0,075 | 28 | 6,31 | 15 000 | 7 | 3 |
| 0,07 | 0,085 | 39 | 4,94 | 11 000 | 10 | 4 |
| 0,08 | 0,095 | 50 | 3,55 | 9 000 | 13 | 5 |
| 0,09 | 0,108 | 64 | 2,76 | 7 000 | 16 | 6 |
| 0,10 | 0,115 | 75 | 2,22 | 6 000 | 20 | 8 |
| 0,11 | 0,13 | 95 | 1,84 | 5 000 | 24 | 9 |
| 0,12 | 0,14 | 113 | 1,55 | 4 400 | 29 | 11 |
| 0,13 | 0,15 | 133 | 1,32 | 3 600 | 34 | 13 |
| 0,14 | 0,16 | 154 | 1,14 | 3 200 | 39 | 14 |
| 0,15 | 0,17 | 177 | 0,99 | 2 800 | 45 | 17 |
| 0,16 | 0,18 | 211 | 0,87 | 2 500 | 51 | 20 |
| 0,17 | 0,19 | 227 | 0,772 | 2 250 | 58 | 22 |
| 0,18 | 0,20 | 254 | 0,715 | 2 050 | 65 | 25 |
| 0,19 | 0,21 | 284 | 0,627 | 1 800 | 72 | 28 |
| 0,20 | 0,22 | 314 | 0,557 | 1 600 | 80 | 31 |
| 0,21 | 0,23 | 346 | 0,502 | 1 500 | 88 | 34 |
| 0,22 | 0,24 | 38-10 ⁻⁴ | 0,460 | 1 400 | 97 | 38 |
| 0,23 | 0,25 | 42 | 0,422 | 1 300 | 106 | 41 |
| 0,24 | 0,26 | 45 | 0,425 | 1 200 | 116 | 45 |
| 0,25 | 0,27 | 49 | 0,400 | 1 100 | 125 | 49 |
| 0,26 | 0,285 | 53 | 0,405 | 1 000 | 135 | 53 |
| 0,27 | 0,295 | 57 | 0,433 | 950 | 145 | 57 |
| 0,28 | 0,305 | 62 | 0,471 | 870 | 157 | 61 |
| 0,29 | 0,315 | 68 | 0,412 | 800 | 168 | 66 |
| 0,30 | 0,33 | 71 | 0,445 | 770 | 180 | 70 |
| 0,31 | 0,34 | 75 | 0,496 | 720 | 192 | 75 |
| 0,32 | 0,35 | 80 | 0,440 | 670 | 205 | 80 |
| 0,33 | 0,36 | 86 | 0,486 | 620 | 218 | 85 |
| 0,34 | 0,37 | 91 | 0,535 | 600 | 231 | 90 |
| 0,35 | 0,38 | 96 | 0,480 | 580 | 245 | 96 |
| 0,36 | 0,39 | 102 | 0,540 | 540 | 259 | 100 |
| 0,37 | 0,40 | 108 | 0,594 | 520 | 274 | 107 |
| 0,38 | 0,41 | 113 | 0,646 | 500 | 289 | 113 |
| 0,39 | 0,42 | 120 | 0,702 | 475 | 304 | 120 |
| 0,40 | 0,43 | 126 | 0,760 | 450 | 320 | 125 |
| 0,41 | 0,44 | 132 | 0,820 | 430 | 336 | 132 |
| 0,42 | 0,45 | 139 | 0,880 | 410 | 353 | 139 |

| Diámetro del hilo del hilo desnudo con esmalte | Sección del hilo del hilo desnudo con esmalte | Peso por metro | Resistencia por metro | Número de espiras | Intensidad máxima admisible | |
|--|---|----------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | | | S = 2,55 A/mm ² / 2,55 mA | S = 1,00 A/mm ² / 1,00 mA |
| 0,43 | 145-10 ⁻⁴ | 1,342 | 0,1209 | 390 | 370 | 145 |
| 0,44 | 152 | 1,405 | 0,1154 | 380 | 367 | 152 |
| 0,45 | 159 | 1,490 | 0,1103 | 370 | 405 | 159 |
| 0,46 | 166 | 1,540 | 0,1054 | 350 | 423 | 166 |
| 0,47 | 173 | 1,610 | 0,1012 | 330 | 441 | 174 |
| 0,48 | 181 | 1,680 | 0,0979 | 320 | 461 | 181 |
| 0,49 | 189 | 1,750 | 0,0931 | 310 | 440 | 188 |
| 0,50 | 196 | 1,830 | 0,0904 | 300 | 500 | 196 |
| 0,51 | 204 | 1,920 | 0,0859 | 290 | 520 | 204 |
| 0,52 | 212 | 1,970 | 0,0826 | 280 | 541 | 212 |
| 0,53 | 221 | 2,043 | 0,0796 | 265 | 562 | 221 |
| 0,54 | 229 | 2,118 | 0,0766 | 255 | 583 | 228 |
| 0,55 | 238 | 2,200 | 0,0738 | 250 | 605 | 237 |
| 0,56 | 246 | 2,275 | 0,0713 | 240 | 627 | 246 |
| 0,57 | 255 | 2,355 | 0,0688 | 230 | 650 | 255 |
| 0,58 | 264 | 2,435 | 0,0664 | 225 | 673 | 264 |
| 0,59 | 273 | 2,51 | 0,0642 | 220 | 695 | 274 |
| 0,60 | 283 | 2,62 | 0,0621 | 210 | 720 | 283 |
| 0,65 | 334 | 2,97 | 0,0526 | 180 | 845 | 332 |
| 0,70 | 385 | 3,43 | 0,0455 | 160 | 940 | 364 |
| 0,75 | 444 | 3,95 | 0,0395 | 140 | 1125 | 442 |
| 0,80 | 504 | 4,48 | 0,0348 | 120 | 1280 | 502 |
| 0,85 | 570 | 5,07 | 0,0308 | 110 | 1445 | 566 |
| 0,90 | 636 | 5,66 | 0,0275 | 100 | 1620 | 636 |
| 0,95 | 711 | 6,34 | 0,0246 | 90 | 1805 | 709 |
| 1,00 | 786 | 7,09 | 0,0223 | 83 | 2000 | 785 |
| 1,10 | 951 | 8,49 | 0,0184 | 62 | 2420 | 960 |
| 1,20 | 1131 | 10,09 | 0,0155 | 55 | 2880 | 1130 |
| 1,30 | 1329 | 11,81 | 0,0132 | 45 | 3380 | 1340 |
| 1,40 | 1540 | 13,70 | 0,0114 | 40 | 3920 | 1540 |
| 1,50 | 1770 | 15,75 | 0,0099 | 33 | 4500 | 1760 |
| 1,60 | 2015 | 17,91 | 0,0087 | 28 | 5120 | 2010 |
| 1,70 | 2275 | 20,20 | 0,0077 | 24 | 5780 | 2270 |
| 1,75 | 2365 | 21,50 | 0,0073 | 23 | 6125 | 2400 |
| 1,80 | 2465 | 22,65 | 0,0069 | 22 | 6440 | 2540 |
| 1,90 | 2840 | 25,15 | 0,0062 | 14 | 7220 | 2840 |
| 2,00 | 3142 | 28,00 | 0,0056 | 12 | 8080 | 3140 |

Line que hacer observar que en los formularios la intensidad de corriente debe expresarse en A. Haber que multiplicar los valores de la tabla (mA) por 10⁻³.

Los valores de la tabla deberán multiplicarse por 10⁻⁴ o 10⁻³.



FORMA DE ONDA PARA LA CORRIENTE DE OPERACION, CONDICIONES NORMALES
DE OPERACION.

Con el valor nominal del voltaje aplicado al primario del balasto, la forma de onda para la corriente aplicada a una lámpara de referencia tendrá un factor de cresta (Razón de la corriente de pico al valor eficaz de la corriente)

$$f.c. = \frac{V_{pico}}{V.r.m.s.}$$

El cual no exederá de los siguientes valores:

| <u>TIPO DE BALASTO</u> | <u>FACTOR DE CRESTA</u> |
|------------------------|-------------------------|
| ARRANQUE POR SWICH | 1.70 |
| RAPIDO ARRANQUE | 1.70 |
| ARRANQUE INSTANTANEO | 1.85 |

En los sucesivos medios ciclos de corriente se indicarán sustancialmente la misma forma cuando se observe en un osciloscopio.

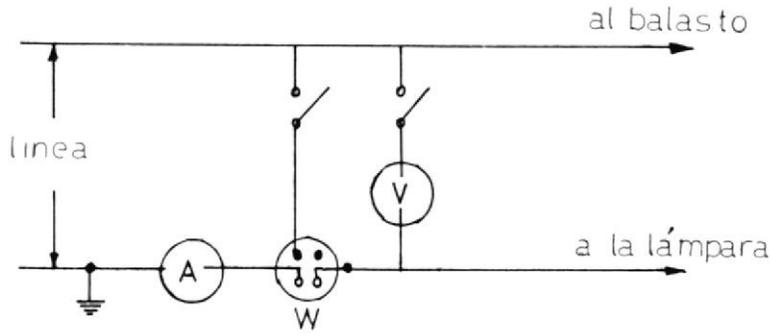


FIGURA # 3

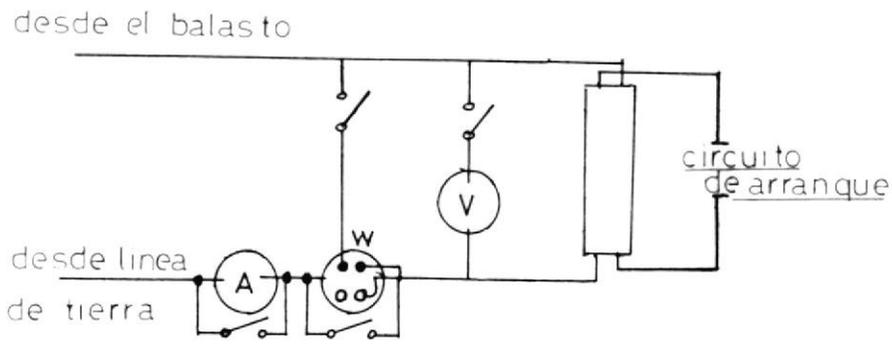


FIGURA #4

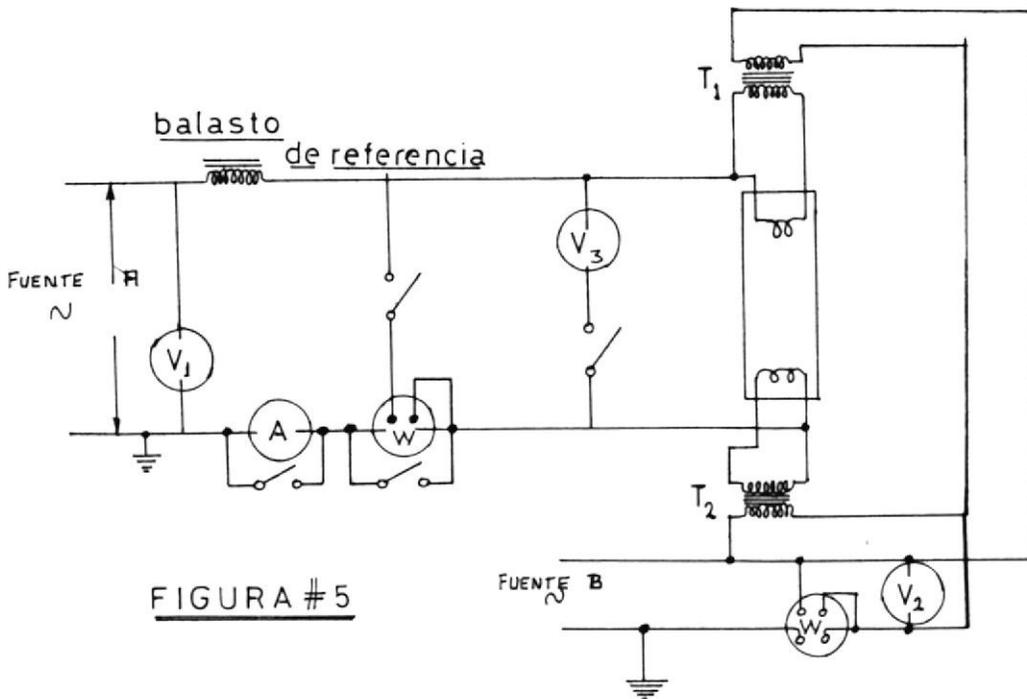


FIGURA # 5

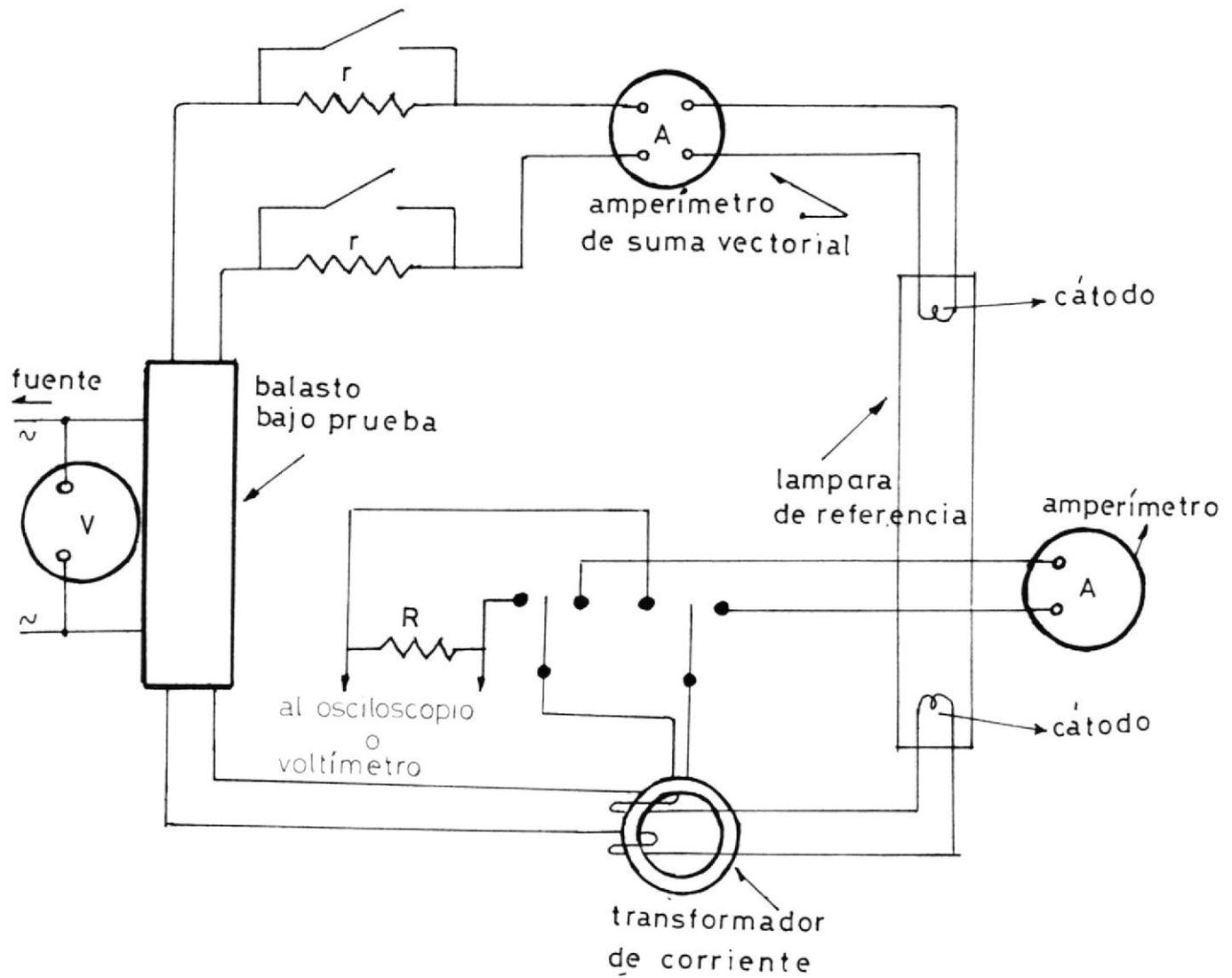


FIGURA #6

CIRCUITO DE MEDICIÓN PARA EL VALOR PÍCO

Y VALOR EFICÁZ DE CORRIENTE EN LA LÁMPARA

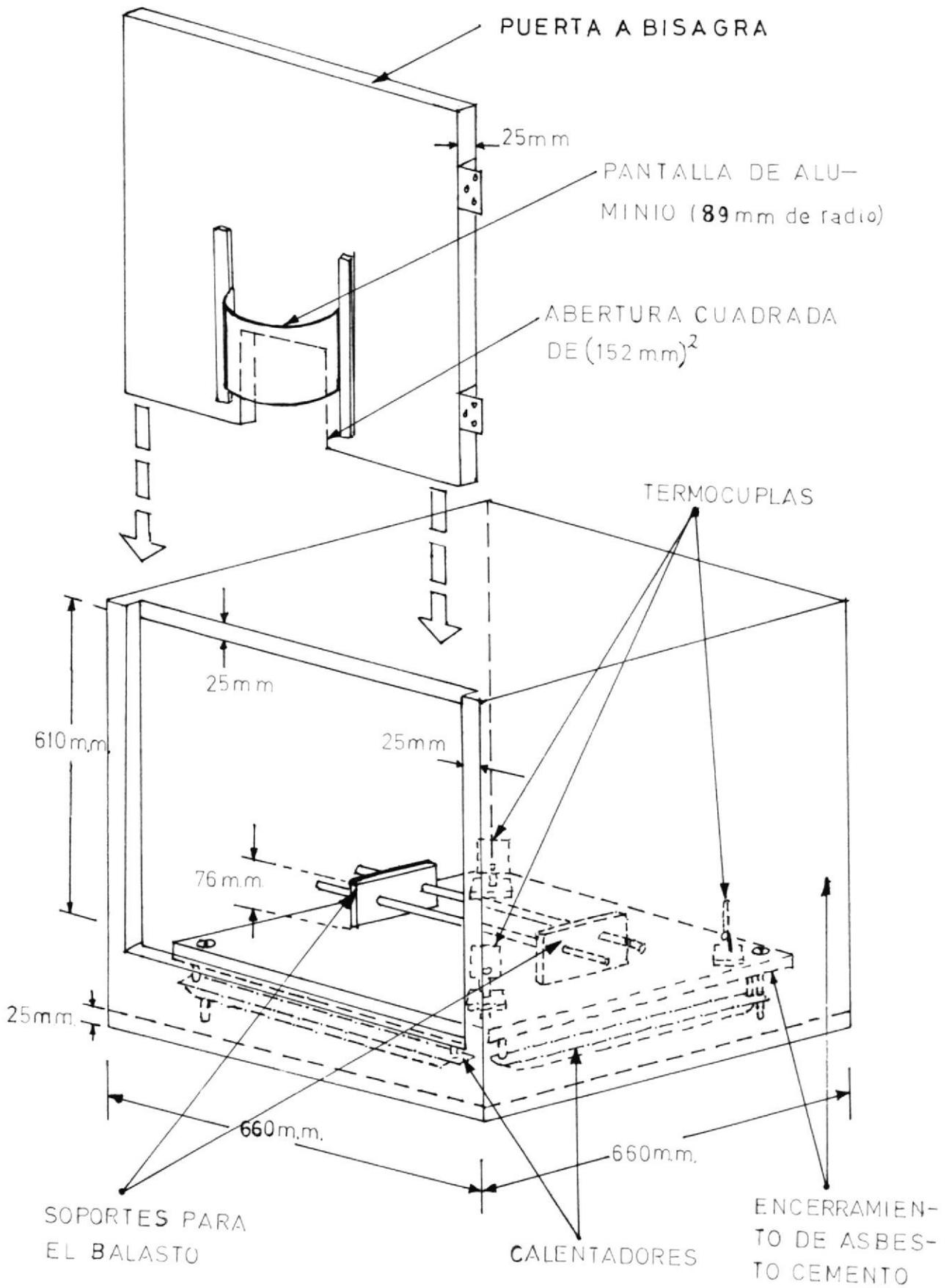


FIGURA # 8

PRUEBA DE CALENTAMIENTO
PARA BALASTOS

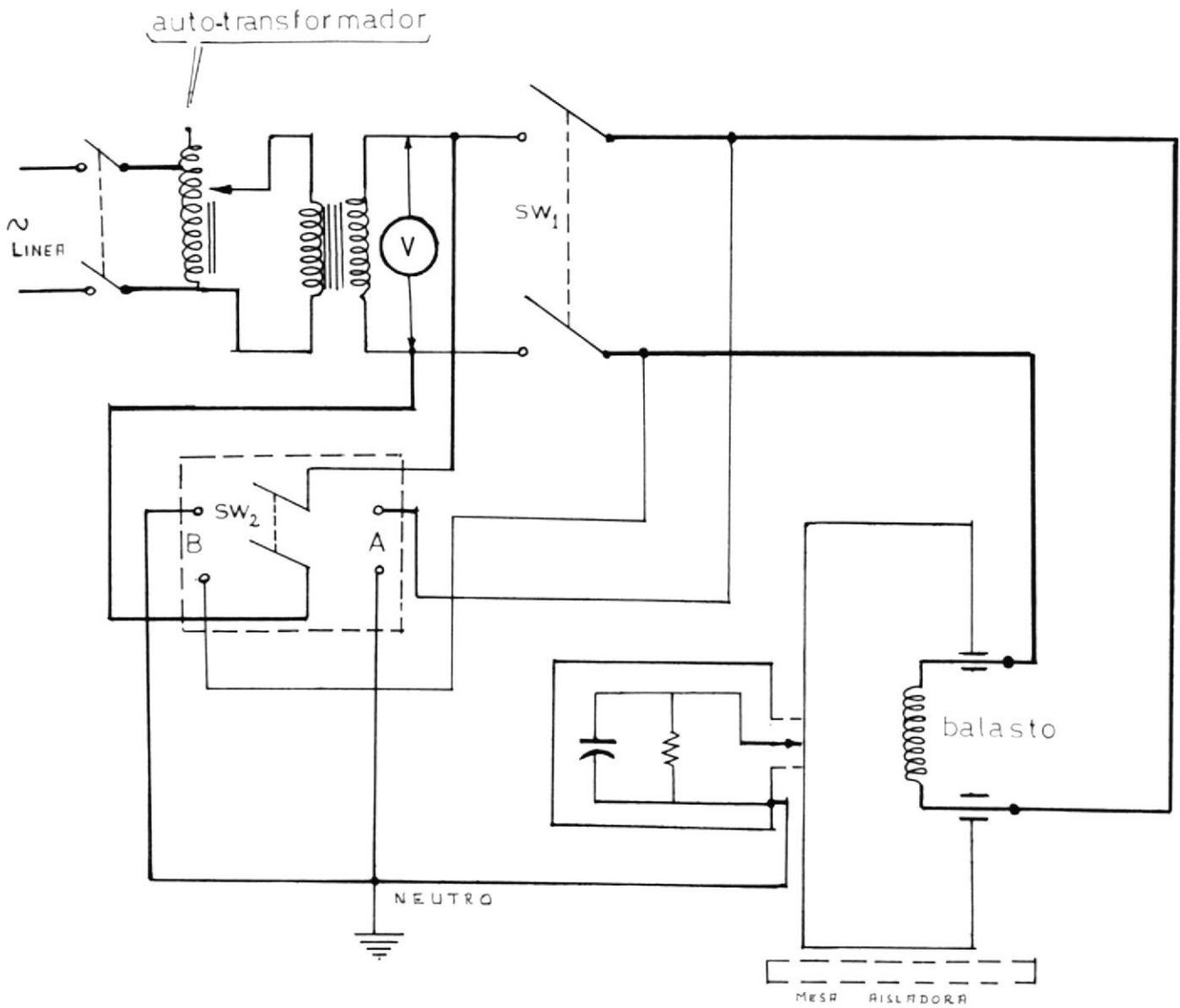


FIGURA #9

CIRCUITO PARA EL TEST DE CORRIENTE
DE FUGA EN EL BALASTO

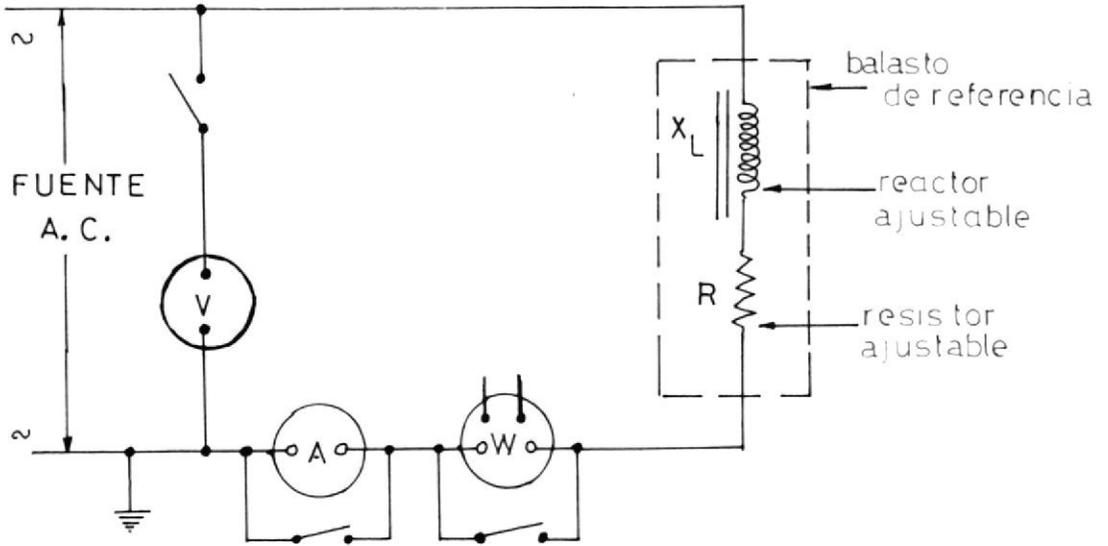
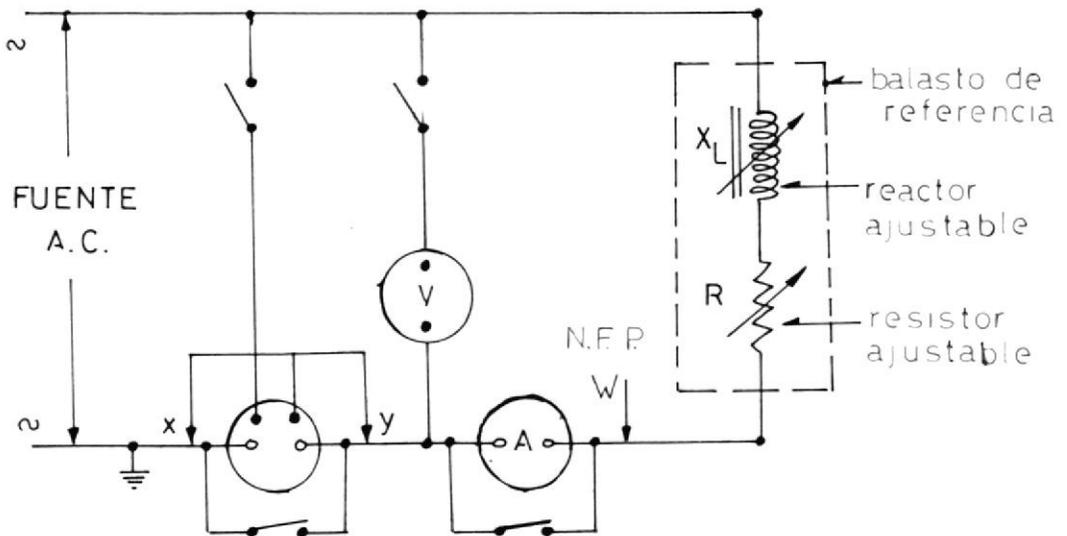


FIGURA #A1

CIRCUITO PARA MEDIR LA IMPEDANCIA DEL BALASTO



VATIMETRO DE BAJO FACTOR DE POTENCIA

FIGURA #A2

CIRCUITO PARA MEDIR EL FACTOR DE POTENCIA DEL BALASTO

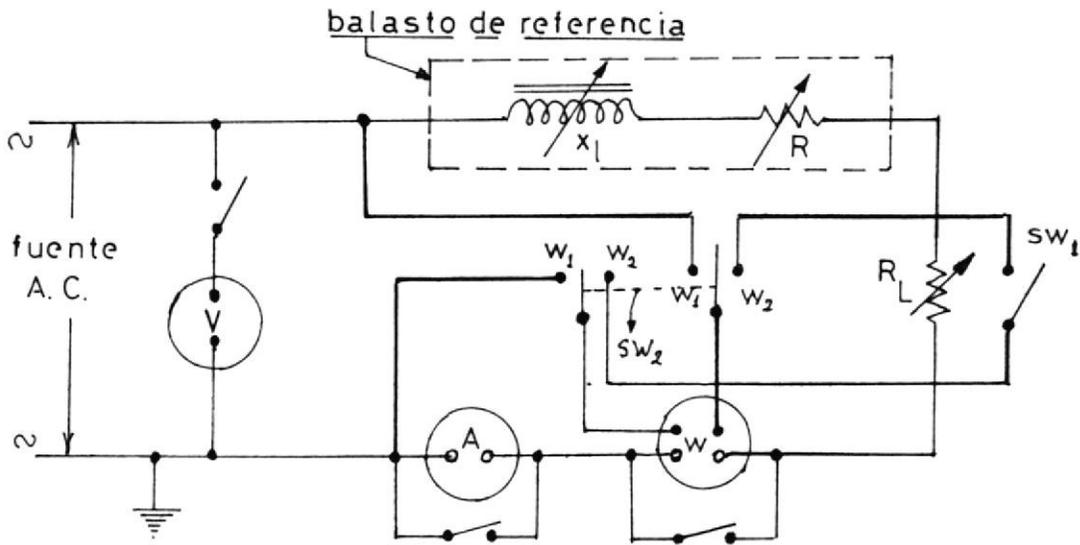


FIGURA # A3

METODO ALTERNATIVO PARA MEDIR EL FACTOR DE POTENCIA

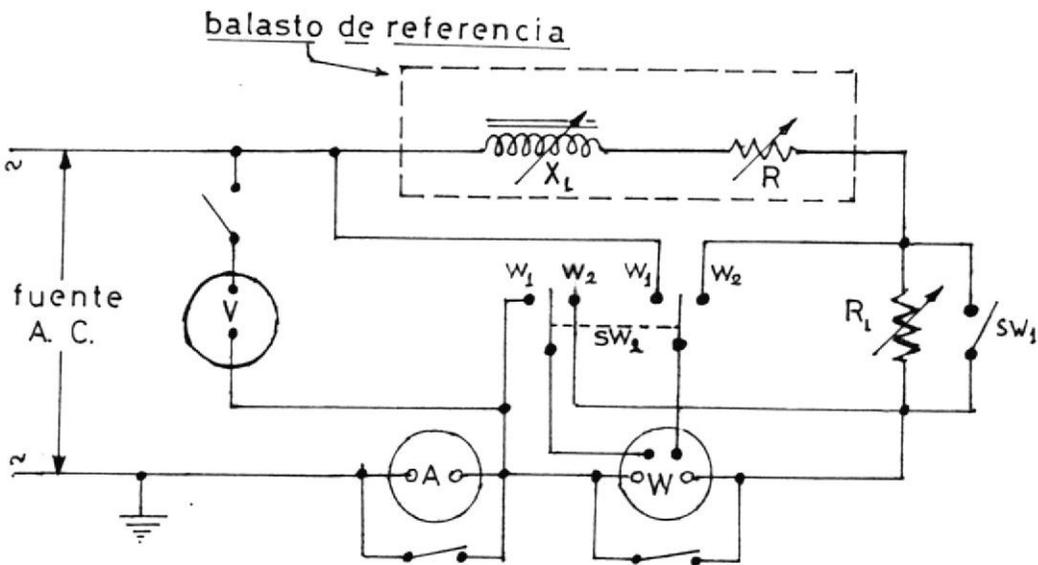


FIGURA # A 4

METODO ALTERNATIVO PARA MEDIR EL F. P. ($\cos \theta$)



