

ESTUDIO TEORICO EXPERIMENTAL
DE TRANSFLUXORES DE FERRITA
DE LAZO DE HISTERESIS RECTANGULAR

Tesis previa a la obtención del título
de Ingeniero en la especialización de
Electrónica y Telecomunicaciones de la
Escuela Politécnica Nacional

MARCELO ALEJANDRO ROSERO AGUIRRE

Quito, Marzo de 1973

Certifico que este trabajo ha sido
realizado en su totalidad por el Sr.
Marcelo Alejandro Rosero Aguirre.



Dr. Kanti Hore

CONSULTOR DE TESIS

Quito, Marzo de 1973

DEDICATORIA

A MI PADRE

LUIS FERNANDO ROSERO

cuyo sacrificio y rectitud fueron a la vez principio y meta de mi quehacer intelectual.

A MI MADRE

LUZ IMELDA AGUIRRE

cuya presencia cariñosa y estimulante fue cotidiana en los caminos de mi espíritu.

A LA ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

que al enriquecer nuestra vida con una nueva motivación nos legó la consigna profesional y sentimental de engrandecerla.

RECONOCIMIENTO

Al Dr. Kanti Hore bajo cuya eficiente supervisión y generosa cooperación fue realizada esta tesis.

Al personal de docencia y de laboratorio del Departamento de Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional por la asistencia brindada en la ejecución de la parte experimental de este trabajo.

A los ingenieros Fujio Yamada, Jefe de la sección de PROVAS FINAIS de la fábrica INBELSA de Equipos de Microondas de la PHILIPS DO BRASIL en SAO PAULO, a los Ing. Toshiyuki Tatani y Joao Kitahara de la sección Proyectos e Instalaciones de la misma firma por el apoyo y facilitación de equipos y asesoramiento en la ejecución de la parte experimental, en especial de los circuitos lógicos.

Al Sr. Hans Griesbach gerente de la firma SUCS. DE GRIESBACH S.A. quien puso a disposición el Equipo de Dibujo Industrial para la ejecución formal de esta tesis.

A la Srta. Ana Virginia Dávila que ejecutó la transcripción electrográfica de esta tesis.

- LISTA DE CAPITULOS

	PAGINA
Dedicatoria	1
Reconocimiento.	2
Índice.	3
Introducción.	5
CAPITULO I: Esbozo histórico y consideraciones sobre la importancia tecnológica actual de los materiales de ferrita.	7
CAPITULO II: 1.— ¿Qué son las ferritas? 2.— Ferritas suaves o de lazo histéresis común y ferritas duras o de lazo histéresis rectangular. 3.— Composición y estructura de los materiales de ferrita: spinel, exagonal y granada (garnet).	12
CAPITULO III: Propiedades magnéticas, mecánicas y termales: 1.— Su origen: tipos de unión en los sólidos. 2.— Momento atómico. 3.— Energía de intercambio (Exchange interaction energy). Paralelismo y antiparalelismo. 4.— Paramagnetismo, ferrimagnetismo y ferromagnetismo. 5.— Dominios. 6.— Temperatura Curie. 7.— Anisotropía: de cristal, de esfuerzo (STRESS) y geométrica (SHAPE). 8.— Propiedades mecánicas y termales. 9.— Preparación de componentes de ferrita.	19
CAPITULO IV: Los transfluxores: 1.— Concepto. 2.— Condiciones de construcción de un transfluxor. 3.— Magnetización de transfluxores de ferrita. 4.— ¿Cómo opera un transfluxor prototipo de dos aberturas?. 5.— Idealización simplificada del proceso de magnetización. 6.— Algunas desventajas del transfluxor de ferrita. 7.— Algunas aplicaciones del transfluxor de ferrita.	41

SECCION EXPERIMENTAL

CAPITULO V: Diseño de circuitos con transfluxores de ferrita y experimentación con los mismos.	55
Descripción y especificaciones de los componentes utilizados.	57
EXPERIMENTO No 1: Determinación de la curva característica de histéresis de las ferritas suaves y duras.	59
EXPERIMENTO No 2: Demostración de la capacidad de almacenamiento indefinido de los transfluxores de ferrita.	65
EXPERIMENTO No 3: Demostración de la propiedad de conmutación (SWITCHING) de las ferritas duras, cuando la corriente establecedora (SETTING CURRENT) es una función paso.	70
EXPERIMENTO No 4: Característica de operación del transfluxor triaperturado cuando la corriente establecedora es un tren de pulsos.	76
EXPERIMENTO No 5: Construcción de un conmutador o switch magnético a transfluxor.	86
EXPERIMENTO No 6: Construcción y prueba de un circuito lógico sumador COMPUERTA "O" (OR GATE) usando transfluxores de ferrita.	91
EXPERIMENTO No 7: Construcción y prueba de un circuito lógico multiplicador COMPUERTA "Y" (AND GATE) usando transfluxores de ferrita.	97
BIBLIOGRAFIA.	106

INTRODUCCION

SITUACION ACTUAL DE LA TECNOLOGIA DE FERRITAS.

El presente trabajo acerca de transfluxores de ferrita corresponde a un tipo de materiales y elementos cuya tecnología está todavía en las etapas medias de su desarrollo. Como acontece frecuentemente en las labores de investigación llevadas a cabo en diferentes regiones geográficas, el esfuerzo investigativo en el campo de las ferritas fue inconexo y desperdigado desde 1933 hasta 1949, en gran parte debido a las vicisitudes de la 2da. guerra; como efecto de estas circunstancias se cuenta actualmente con trabajos científicos de gran valor teórico pero que abarcan tópicos aislados de aplicación de las ferritas, enfatizando su utilización en frecuencias de microondas y UHF, resonadores, guías de onda etc.

Por otra parte, estos trabajos, por ser el resultado de investigaciones de grupos relativamente pequeños de científicos, ostentan gran profundidad académica y diversidad de criterios de interpretación de los fenómenos magnéticos, lo cual hace arduo su estudio por parte del estudiante que desea poseer un acervo a la vez conciso, claro y sistematizado de conocimientos en el campo de los nuevos materiales magnéticos de alta resistividad, alta permeabilidad y baja histéresis como son las ferritas.

PROPOSITO DEL PRESENTE TRABAJO:

Como consecuencia de lo anterior, se ha estimado conveniente elaborar un trabajo casi esquemático, que abarque de una manera coherente y conexas:

- a) el basamento electrostático de las propiedades magnéticas de la materia.
- b) la descripción fenomenológica de las propiedades típicas de los materiales magnéticos no lineales; concretamente, la rectangularidad del lazo de histéresis.
- c) algunas aplicaciones de elementos de ferritas en conmutación, almacenamiento de datos y circuitos lógicos elementales.

NOTA:

Dada la novedad del tema, nos hemos visto en la situación de manejar una terminología cuyas acepciones españolas no han sido todavía definidas ni mucho menos normalizadas, como por ejemplo, los términos "SPINEL", "LATTICE", "SUBLATTICE"; en tal virtud, cuando el caso se presente, se usará la acepción gramatical más aproximada indicando entre paréntesis su acepción original en idioma inglés o alemán.

ESBOZO HISTORICO Y CONSIDERACIONES SOBRE LA IMPORTANCIA TECNOLÓGICA ACTUAL DE LOS MATERIALES DE FERRITA.

A partir de mediados de la década 1940 - 1950, los componentes de tipo "no lineal", es decir las válvulas de vacío, el transistor, y los núcleos de ferrita de lazo de histéresis rectangular, han tenido una participación destacada en el desarrollo de aplicaciones de circuitos lógicos en la electrónica.

Y es que en ese lapso de tiempo se han efectuado investigaciones intensas acerca de las propiedades de los materiales, que han conducido a una creciente apreciación de los fenómenos del estado sólido.

Uno de los móviles para este proceso fue, por ejemplo, la creciente complejidad de los equipos de radio frecuencia después de 1930 que enfatizaba la necesidad de desarrollar un material ferromagnético, en el cual las pérdidas por corrientes de Eddy carecieran de importancia a tales frecuencias. Los problemas surgidos en la utilización de laminaciones y núcleos de polvo de hierro ("iron-dust cores"), promovieron la investigación de un material ferromagnético de baja conductividad. Aunque la magnetita o ferrita ferrosa que tiene una resistividad a corriente directa, 1.000 veces mayor que el hierro, fue el primer material en que se pudo observar el fenómeno del magnetismo, poco interés se puso en las posibilidades de este material, hasta que en 1909 Hilpert [H1] produjo óxidos magnéticos de muy baja conductividad, que sin embargo, carecían de una permeabilidad suficientemente alta lo cual les hacía técnicamente poco atractivos.

A Hilpert se debe la identificación de la fórmula básica de las ferritas $Me O(Fe_2 O_3)$ donde Me es el ión metal divalente.

1.1 DESARROLLO Y MEDICIONES DE FERRITAS SINTETICAS.

A partir de 1933 se llevó a cabo una extensa labor investigativa en los laboratorios de la PHILIPS en EINDHOVEN, HOLANDA, dirigida por SNOEK y VERWEY, que culminó con el establecimiento, en 1946, de un rango de ferritas técnicamente útiles y comercialmente significativas para los sistemas actuales de comunicaciones y procesamiento de datos. SNOEK emprendió luego una investigación que llevó a descubrir la gran influencia de las técnicas de preparación y de la composición en las propiedades magnéticas y de pérdidas.

Mediante adecuado tratamiento de preparación se podían lograr ferritas con cualidades óptimas de operación o sea dotadas de:

- a) baja histéresis (minimizadas las corrientes de EDDY).
- b) alta resistividad (hasta 10^8 ohm-cm).
- c) alta permeabilidad relativa μ_r (hasta 3000).

1.2 EL MODELO DE FERRIMAGNETISMO: NOTABLE CONTRIBUCION DE NEEL.

En 1948 NEEL anunció su celebrada contribución teórica tendiente a explicar el hecho de que las ferritas magnéticas de Mn, Fe, Co, Mg, Cu y Ni, tenían una estructura química de Spinel invertido* mientras que las ferritas de Zn y Cd que no eran ferromagnéticas tenían una estructura normal de SPINEL.

*Spinel invertido: Malla de un compuesto de oxígeno cuya mitad de iones trivalentes se halla en sitios tetraédricos.

NEEL postulaba para las ferritas la misma interacción de intercambio (EXCHANGE INTERACTION) que en los metales ferromagnéticos, excepto que sugería la posibilidad de SPINS alineados en sentido antiparalelo. Aplicando la teoría de CAMPO MOLECULAR a las ferritas, NEEL introdujo el concepto de SUBRETICULAS MAGNETICAS (MAGNETIC SUBLATTICES) y desarrolló curvas teóricas que describen el comportamiento de la susceptibilidad magnética como función de la temperatura, para diferentes tipos de interacción entre los SPINS.

Posteriormente ZENER (1951), YAFET y KITTEL (1952) entre otros, complementaron la teoría de NEEL, postulando el arreglo triangular u "oblicuo" (CANTED ARRANGEMENT) de tres subretículas cuando el intercambio antiferromagnético entre éstos, es comparable al existente entre momentos SPIN entre subretículas formadas por iones Fe^{3+} en "sitios" (SITES) tetraédricos y octaédricos.

Tratándose de materiales del tipo ferrita, es siempre importante el análisis de la influencia del PUNTO CURIE de temperatura en la magnetización; a esta labor se dedicaron, entre otros GORTER y SCHULKES en 1953, cuyos trabajos añadidos a los de SHULL y WOLLAN que hasta 1951 efectuaron mediciones de difracción de Rayos X, para analizar la distribución de los iones magnéticos y la orientación de sus respectivos SPINS en la retícula, proveyeron la 1a. prueba directa del modelo NEEL de ferrimagnetismo.

1.3 EVOLUCION CONTEMPORANEA DE LA TECNOLOGIA DE LAS FERRITAS:

Es de mencionar que casi todos los elementos básicos construídos con ferritas fueron diseñados originalmente para operar en bandas de microondas entre 5000

y 10.000 MHz. Los intentos efectuados para adaptar estos componentes a frecuencias más bajas fueron frustrados por el deterioro del rendimiento y por pérdidas de bajo campo. Estas últimas eran causadas por magnetización incompleta de la ferrita a bajos campos d.c., problema que también se tuvo que afrontar en el desarrollo de la experimentación de este trabajo.

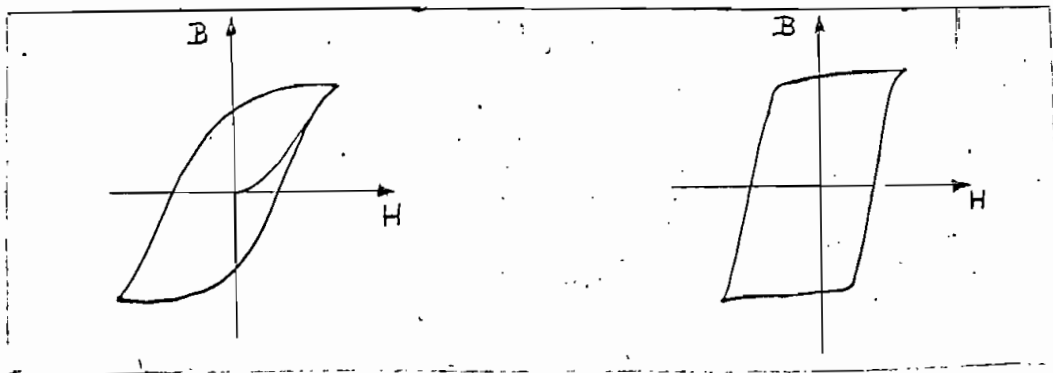
El resto de investigadores, aparte los ya mencionados, se dedicaron al análisis de las ferritas en rangos de microondas y UHF y en aplicaciones de alta potencia.

1. QUE SON LAS FERRITAS.. 2. FERRITAS SUAVES O DE LAZO DE HISTERESIS COMUN Y FERRITAS DURAS O DE LAZO DE HISTERESIS RECTANGULAR. 3. COMPOSICION Y ESTRUCTURA DE LAS FERRITAS: SPINEL, EXAGONAL y GRANADA ("GARNET").

2.1 Qué son las ferritas: Se da de ellas una definición en base tanto de su naturaleza como de sus propiedades: Cerámicas homogéneas, ferromagnéticas, dotadas de alta resistividad, alta permeabilidad y baja histéresis, capaces de ser utilizadas en frecuencias elevadas con pérdidas relativamente débiles.

Estas cerámicas provienen principalmente de óxidos de metales divalentes o trivalentes como Fe, Ni, Mn, Zn y Cu.

2.2 Ferritas Suaves y ferritas duras: Desde el punto de vista de la utilización pueden distinguirse las ferritas suaves o de lazo de histéresis común y las duras o de lazo de histéresis rectangular, representadas en las figuras adyacentes.



Las ferritas suaves poseen una inducción de saturación menor que los materiales ferromagnéticos pero poseen resistividades más elevadas.

En consecuencia, las pérdidas por corrientes parásitas son mucho menores; generalmente son menores que una millonésima parte que las de las aleaciones Fe-Si típicas. En tal virtud, para frecuencias mayores que 20 kHz los núcleos de ferritas son altamente convenientes y para frecuencias mayores de 1 MHz son prácticamente indispensables.

Las ferritas duras, por su parte, poseen los valores más elevados posibles de magnetización de saturación y fuerza coercitiva. Por ejemplo la ferrita de Bario $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ es una ferrita magnética dura. Posteriormente analizaremos cuidadosamente estas propiedades.

Las ferritas suaves son utilizadas en técnicas de UHF particularmente en aisladores o circuladores de guías de onda, o sea en ámbitos donde los campos magnéticos tienen generalmente pequeña amplitud. Además en circuitos de RF y de frecuencias intermedias (455 KHz).

Las ferritas duras en cambio, hallan su campo de utilización en los circuitos de procesamiento de datos, donde interesa un comportamiento biestable o sea la posibilidad de mantener un flujo remanente $+\phi$ o $-\phi$ en forma indefinida, en ausencia de una corriente desmagnetizante extraña y sin consumo posterior de potencia.

2.3 COMPOSICION Y ESTRUCTURA DE LAS FERRITAS.

Las ferritas son compuestos de óxidos cuyo principal constituyente es el óxido

de hierro Fe_2O_3 . La naturaleza química de los otros óxidos utilizados depende de la estructura que se desea obtener: hay 3 tipos de estructura en las ferritas desde el punto de vista físico-químico:

- a) la estructura "Spinel"
- b) la estructura exagonal
- c) la estructura granada (GARNET)

a) Ferritas con estructura "Spinel":

Estos óxidos son ferrimagnéticos y su componente principal es el óxido de Hierro Fe_2O_3 , pudiendo ser componentes secundarios los óxidos de metales de transición bivalentes (MnO , ZnO ...) o trivalentes (Al_2O_3 , Cr_2O_3 ...). La red cristalina elemental está constituida de 8 moléculas o sea 32 átomos de oxígeno que se apilan en forma cúbica compacta con un factor de relleno de 0,74. Esta red se divide en 8 cubos elementales donde se pueden observar dos clases de SITIOS (SITES):

— los sitios octaédricos que ocupan el centro de un octaedro de oxígeno están distribuidos en el medio de las aristas y en el centro de un cubo elemental de la red de oxígeno.

— los sitios tetraédricos que se confunden con el centro de un tetraedro de oxígeno y están localizados en los centros de los 8 cubos en que se divide el cubo elemental.

En la estructura spinel sólo la mitad de sitios octaédricos y sólo un octavo de los tetraédricos están ocupados por iones. Hay que señalar la posibilidad de 2 tipos de ocupación: en la estructura Spinel directa, todos los sitios tetraédricos están ocupados por iones bivalentes y todos los octaédricos están ocupados por iones trivalentes; en la estructura Spinel inversa, los iones ocupan indiferentemente los sitios. Son los mismos iones los que de acuerdo a su configuración electrónica, tienden a elegir un tipo de ligación fuerte dentro de una de las posibles estructuras señaladas.

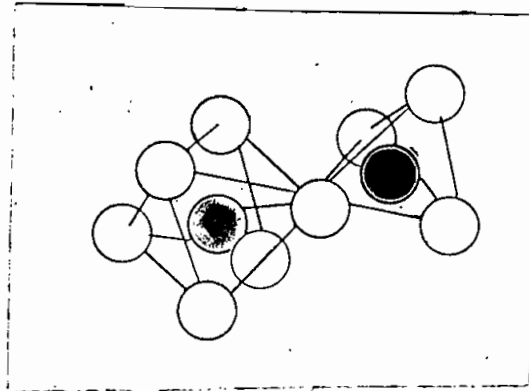


FIG. II-2 Modelo de una red con sitios tetraédricos y octaédricos. Los tres iones tetraédricos octaédrico y de oxígeno forman un ángulo de 125°

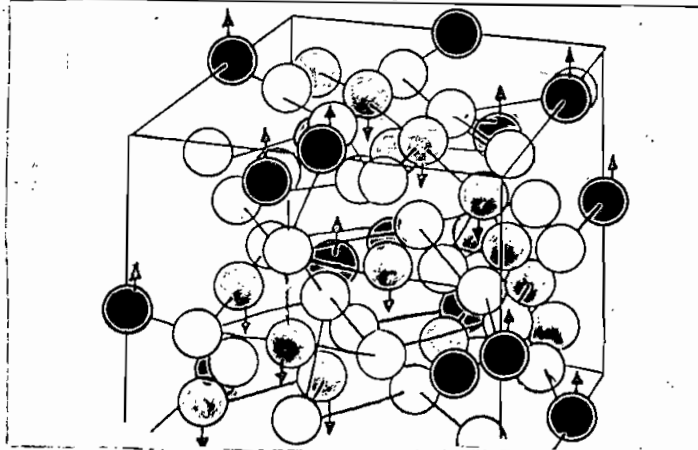


FIG. II-3 Celda elemental de un enrejado SPINEL. En amarillo: iones de oxígeno, En rojo: iones metálicos en sitios octaédricos. En verde: iones metálicos en sitios tetraédricos. Las flechas señalan la dirección del SPIN.

b) Ferritas con estructura exagonal:

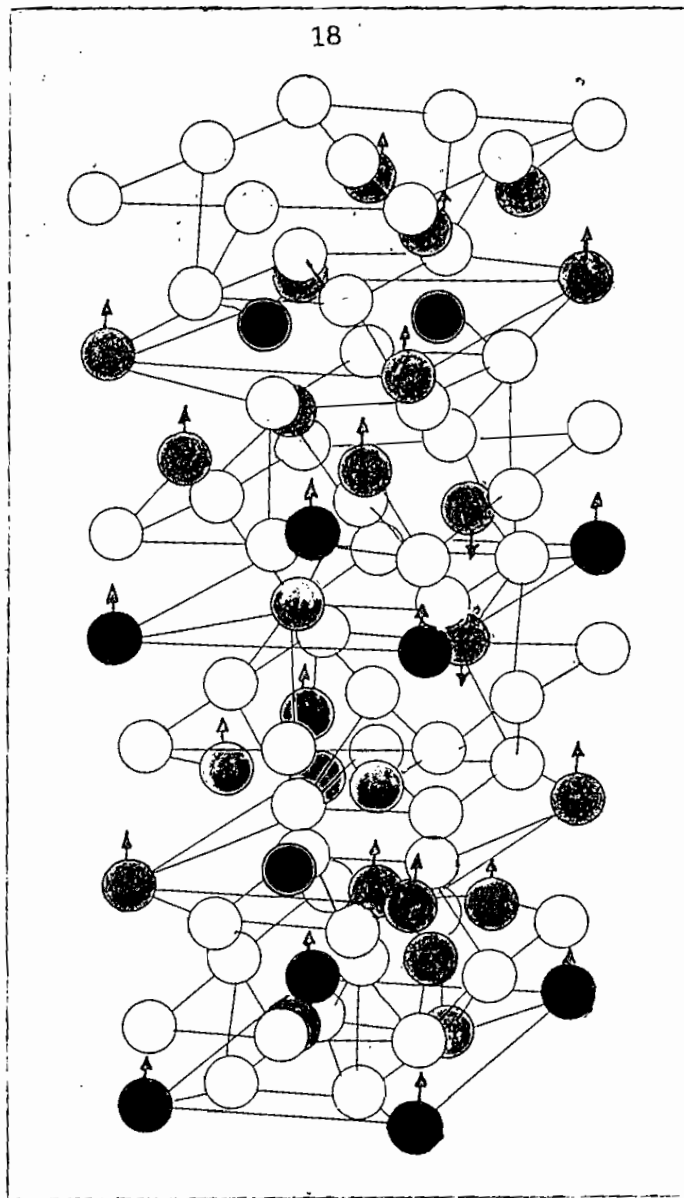
Esta estructura corresponde a una familia de óxidos ferromagnéticos cuyo tipo más conocido es la ferrita de Bario $\text{BaO}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$ o $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.

La malla elemental de $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ contiene 2 moléculas de ese óxido y está constituida por 10 capas de oxígeno que contienen 4 iones de O_2 cada una, uno de los cuales es reemplazado por un ion Bario cada 5 capas; el ion Bario es demasiado grande para ocupar un sitio (SITE) entre los iones O_2 .

En este caso no tenemos apilamiento compacto; en efecto, los iones férricos se encuentran en proporción de 4 sitios tetraédricos, 4 sitios octaédricos y 16 sitios especiales y habiendo 76 sitios tetraédricos y 38 sitios octaédricos disponibles, la estructura exagonal está lejos de ser saturada.

c) Ferritas con estructura granada (GARNET)

Esta es la estructura ferromagnética más reciente descubierta en 1956 por BERTAUT y FORET y corresponde a la fórmula $\text{M}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$; el ion hierro es trivalente y M representa el YTRIO (Y^{3+}) o un metal de valencia 3 de radio iónico muy cercano al de Y^{3+} . Contrariamente a la estructura spinel, en este caso no disponemos de red compacta de oxígeno y todos los sitios tetraédricos y octaédricos de esta estructura están ocupados.



FÍG. 11-4 Modelo de una ferrita de Bario. El ion Bario está en azul. El Fe $+++$ está en violeta.
El resto como en la Fig. 11-2.

PROPIEDADES MAGNETICAS

1.— ORIGEN: TIPOS DE UNION EN LOS SOLIDOS. 2.— MOMENTO ATOMICO. 3.— ENERGIA DE INTERCAMBIO (EXCHANGE INTERACTION ENERGY). PARALELISMO Y ANTIPARALELISMO. 4.— PARAMAGNETISMO, FERRIMAGNETISMO Y FERROMAGNETISMO. 5.— ESTRUCTURAS DE DOMINIOS. 6.— SATURACION MAGNETICA Y TEMPERATURA CURIE. 7.— ANISOTROPIA: DE CRISTAL, DE ESFUERZO (STRESS) Y GEOMETRICA (SHAPE). 8.— PROPIEDADES MECANICAS Y TERMALES. 9.— PREPARACION DE COMPONENTES DE FERRITA.

3.1 Propiedades magnéticas: Hay que insistir en que para obtener una adecuada visión del comportamiento de las ferritas, se debe estudiar sus propiedades magnéticas desde un punto de vista microscópico; dada la naturaleza de este trabajo, el estudio mencionado es de tipo más bien cualitativo.

Origen de las propiedades magnéticas: las fuerzas de unión en los sólidos: En el estado sólido, la materia está compuesta de átomos en fase condensada; cuando los átomos son aproximados unos de otros experimentan fuerzas atractivas si las distancias son grandes o medianas y fuerzas repulsivas si las distancias son muy pequeñas. La energía potencial asociada con esas fuerzas puede ser representada esquemáticamente como se muestra en la Fig./II-1.

La situación de equilibrio se obtiene cuando el espaciamiento atómico es igual a R_0 , punto en el cual la curva de energía potencial muestra un mínimo; este punto determina el espaciamiento de la red atómica en el material y sus constantes elásticas dependen de la pendiente de los flancos.

La forma específica de la curva depende del tipo de interacción atómica existente en el material; los principales tipos son:

- iónico
- covalente y homopolar
- metálico
- molecular o de Van der Waals.

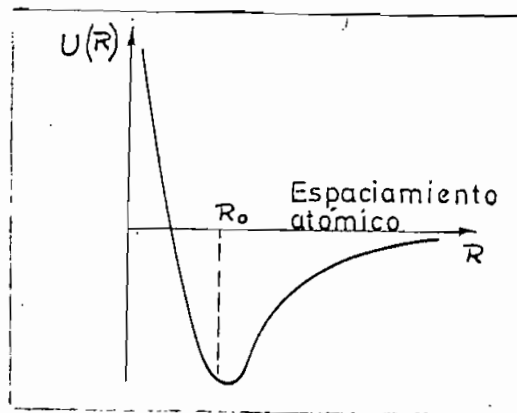


FIG.III-1 Representación esquemática de la función energía potencial interatómica.

a) Unión iónica: Ocurre en cristales iónicos constituídos por iones positivos y negativos. Los iones se arreglan de modo que la repulsión electrostática entre iones de igual signo es menor que la atracción electrostática entre iones de signo diferente. La configuración de equilibrio resulta cuando la repulsión es prácticamente cero, hasta que el espaciamento entre los iones constituyentes baje de cierto valor en el cual la repulsión sube rápidamente.

b) **Unión covalente:** Sabemos que en cristales iónicos la densidad de carga electrónica entre iones adyacentes es baja; esto nos lleva a aceptar la aproximación de que los electrones de valencia están ligados a átomos definidos. Por otra parte, la unión covalente u homopolar, se caracteriza por una alta densidad de carga electrónica entre átomos. Entonces la unión covalente está formada por dos electrones, uno de cada átomo que participa en la unión, con los SPINS de los dos electrones antiparalelos.

c) **Unión metálica:** Conceptualmente, este tipo de ligación es más complicado que el de los cristales iónicos y covalentes; en metales ligeros como el Sodio, se debe esencialmente a los electrones de conducción. En metales más pesados como el hierro o el tungsteno, la unión se debe considerablemente a la interacción de lugares huecos de átomos adyacentes.

Vamos luego, a estudiar las propiedades magnéticas de los sólidos, que también dependen de los parámetros que caracterizan la función Energía Potencial.

3.2 Momento magnético Atómico: El momento magnético atómico tiene dos principales contribuciones: una debida al movimiento orbital y otra al Spin de los electrones. Los electrones en un átomo o en un ión ejecutan movimiento orbital alrededor del núcleo; puesto que el electrón lleva una carga, ese movimiento constituye una corriente eléctrica.

Por otra parte, el electrón rotando sobre sí mismo (SPIN), actúa como un pequeño imán y de acuerdo a los resultados de la mecánica cuántica, la dirección del Spin de cada electrón debe ser paralela o antiparalela a una dirección específica en el espacio; no existen direcciones intermedias. La suma vectorial,

pues, de los momentos orbitales y espinales constituye el momento magnético neto.

3.3 Energía de intercambio: (Exchange interaction energy): Los conceptos de paramagnetismo y ferromagnetismo, fundamentales en la técnica de ferritas, se basan en un concepto de origen totalmente cuántico y sin análogo clásico: el de ENERGIA DE INTERCAMBIO (Exchange energy) que denominaremos W_{ex} .

En mecánica cuántica se demuestra que el momento angular Spin puede tener lugar sólo en múltiplos enteros o medio enteros de $\frac{h}{2\pi}$ donde h es la constante de Planck. El vector Spin neto está denominado por S ; si dos átomos i y j llevan Spins S_i y S_j , entonces se puede demostrar que la energía de interacción de los átomos i y j contiene un término

$$W_{ex} = -2JS_i \cdot S_j \quad (3-1)$$

donde S_i y S_j son números cuánticos que expresan los Spins de dos átomos i y j respectivamente; W_{ex} es energía de intercambio y J integral de intercambio. Cualitativamente, W_{ex} expresa la diferencia en energía de los átomos i y j cuando sus Spins son paralelos o antiparalelos. El integral J juega un papel muy importante en el comportamiento magnético de materiales en estado sólido. Cuando J es positivo, los momentos Spin son paralelos; si J es negativo, entonces los momentos Spins son antiparalelos. Ahora bien, al principio de este capítulo se indicó que el signo de J depende de la separación entre átomos; a distancias grandes y medias J es positivo; si se aproximan los átomos, llega un instante en que J se vuelve negativo y los Spins se colocan antiparalelamente. Este efecto se ilustra en la Fig. III-2.

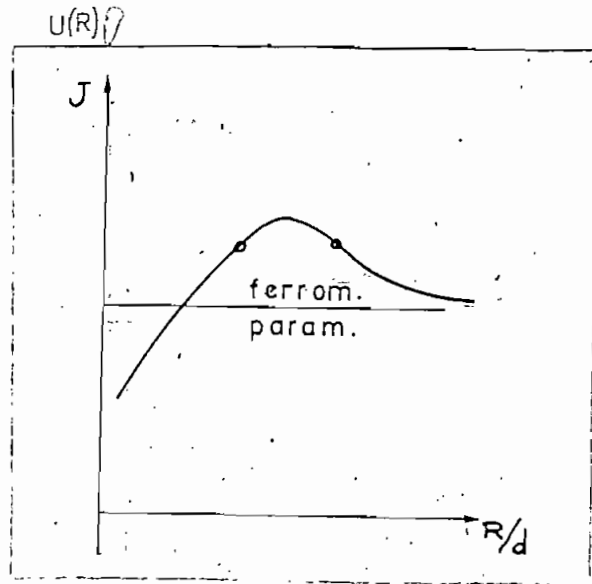


FIG. III-2

La energía de interacción J está representada como función de la relación $\frac{R}{d} = \frac{\text{separación atómica}}{\text{diámetro del hueco}}$, porque nos interesa aplicar esta teoría a metales de transición.

Así mismo J determina la temperatura Curie de ferromagnetos comunes. Se puede demostrar que

$$J \cong \frac{k T_c}{Z} \quad (3-2)$$

donde Z es el número de vecinos más próximos con los que la interacción ocurre, k la constante de Boltzmann y T_c la temperatura Curie.

3.4 Paramagnetismo, Ferromagnetismo y Ferrimagnetismo. Una vez visualizado por medio de la fig. III-2 el comportamiento ferromagnético de las aleaciones metálicas conviene entrar a estudiar los cambios producibles en el comportamiento macroscópico de las ferritas por medio de variaciones en su composición puesto que éstas se comportan análogamente que los ferromagnetos.

Para muchas aplicaciones las ferritas mezcladas en las cuales los iones metálicos divalentes son de más de un tipo, tienen propiedades más deseables que las ferritas simples.

a) **Paramagnetismo:** Una sustancia exhibe paramagnetismo si en ausencia de un campo aplicado, los momentos magnéticos individuales de sus átomos están orientados al azar. Considerando una sustancia con N átomos por m^3 , poseyendo cada uno un momento magnético μ_m . Entonces para un campo aplicado H , la densidad de energía asociada con la magnetización es:

$$W = -H \sum N_i \mu_m \cos \theta_1 \quad (3-3)$$

donde $N = \sum N_i$

$\theta_1 =$ ángulo entre H y μ_m para cada átomo.

La cantidad N depende de la fuerza del campo aplicado y de la temperatura. Para una temperatura dada, e incrementando el campo magnético aplicado, el número de momentos atómicos con componentes paralelas al campo aumenta y para un campo dado, si se incrementa la agitación termal, entonces el alineamiento neto en la dirección H disminuye.*

A partir de la ecuación citada y usando mecánica cuántica se puede establecer que para altas temperaturas la Susceptibilidad K_{mp} varía con $1/T$ y es

* El análisis cuantitativo de estas variaciones se puede encontrar en la pág. 44 del libro "Solid State Magnetic and Dielectric Devices" de H.W. KATZ.

001674

independiente de H , siendo T temperatura absoluta.

b) **Ferromagnetismo y Ferrimagnetismo:** La presente discusión sobre Paramagnetismo abarcó a sistemas cuyos átomos no interactúan uno con otro. Ahora, nos aproximamos más a los materiales de ferrita objeto de nuestro trabajo y que exhiben magnetismo ordenado.

Por materiales con magnetismo ordenado entendemos materiales:

- a) cuyos átomos están distribuidos en retículas periódicas (material cristalino)
- b) con un arreglo ordenado de momentos atómicos sobre la retícula.

En la figura III-3a se exhiben átomos similares con momentos atómicos paralelos; este arreglo corresponde al **FERROMAGNETISMO** y abarca los fenómenos observables en el hierro, cobalto y níquel.

Los fenómenos magnéticos asociados con el arreglo de la fig. III-3b, se clasifican como **ANTIFERROMAGNETISMO**; ejemplos de materiales que exhiben este tipo de arreglo son los óxidos de hierro y níquel FeO y NiO .

Si los 4 átomos de la fig. III-3a se consideran una molécula, entonces la molécula tiene un momento magnético neto igual a 4 veces el valor del momento atómico individual. La molécula de la fig. III-3b, en cambio, tiene un momento magnético neto igual a cero debido al alineamiento antiferromagnético. La molécula de la fig. III-3c manifiesta claramente un carácter magnético híbrido y

su momento atómico neto es

$$M = 2(\mu_B - \mu_A) \quad (3-4)$$

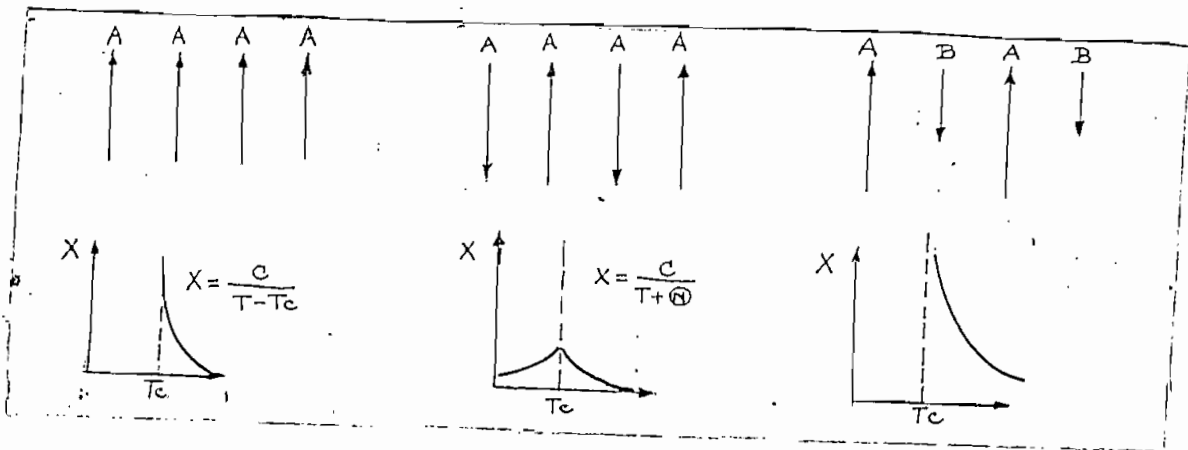


FIG. III-3a

Ferromagnetismo

FIG. III-3b

Antiferromagnetismo

FIG. III-3c

Ferrimagnetismo

este tipo de ordenamiento magnético se llama FERRIMAGNETISMO. Los materiales de ferrita que no son metales y por tanto son buenos aisladores eléctricos y magnéticos son ejemplos de ferrimagnetos.

En este tipo de materiales existen fuertes campos internos que tienden a alinear los momentos atómicos individuales en un arreglo particular; estos campos tienen su origen en fuerzas de intercambio entre átomos si bien la energía de intercambio es de naturaleza electrostática.

La figura III-3 muestra además la variación de la susceptibilidad magnética $X_m = \frac{M}{H}$ en función de la temperatura T ; T_c define la temperatura Curie que

va a ser estudiada luego y que afecta al comportamiento magnético de los materiales. Las ferritas, objeto de esta tesis, requieren de alta magnetización M ; por tanto X_m debe ser muy alta; este requisito es cumplido, como se ve, por los materiales ferromagnéticos y ferrimagnéticos, por debajo de T_c .

3.5 Estructuras de dominios (Domains)

Por vía experimental se ha determinado que en una muestra no magnetizada de material ferromagnético existen pequeñas regiones en las cuales, los momentos atómicos están alineados paralelamente uno con otro, a temperaturas por debajo del punto Curie. (El concepto de PUNTO CURIE se va a detallar luego en la siguiente sección).

Estas regiones se denominan DOMINIOS (DOMAINS). Cada región está magnéticamente saturada y posee un momento magnético neto.

Los dominios están orientados al azar, de tal modo sin embargo, que el momento magnético total (Bulk magnetic moment) es cero. Ahora bien, para que el material pueda tener una magnetización neta ($M \neq 0$), se requiere que una dirección predomine en los dominios: existen, pues, dos maneras de magnetizar una estructura de dominios. La más obvia es permitir la rotación de los dominios individuales; sin embargo, se requiere menos energía si los dominios inicialmente paralelos al campo aplicado crecen a costa de sus vecinos con orientaciones menos favorables. Este concepto se usa en la Fig. III-4. Los dominios con orientación favorable crecen primeramente y luego rotan cuando se aproxima la saturación. Como la rotación de los dominios exige mayor energía que su crecimiento, la inclinación de B sobre H disminuye. Una vez eliminado el campo, la muestra queda magnetizada. Aunque los dominios tienden a girar de vuelta, los grandes dominios alineados no vuelven a la anterior disposición caótica. Una vez

magnetizado, no se puede ya lograr el estado $H = 0$, $B = 0$ mediante cambio del campo aplicado.

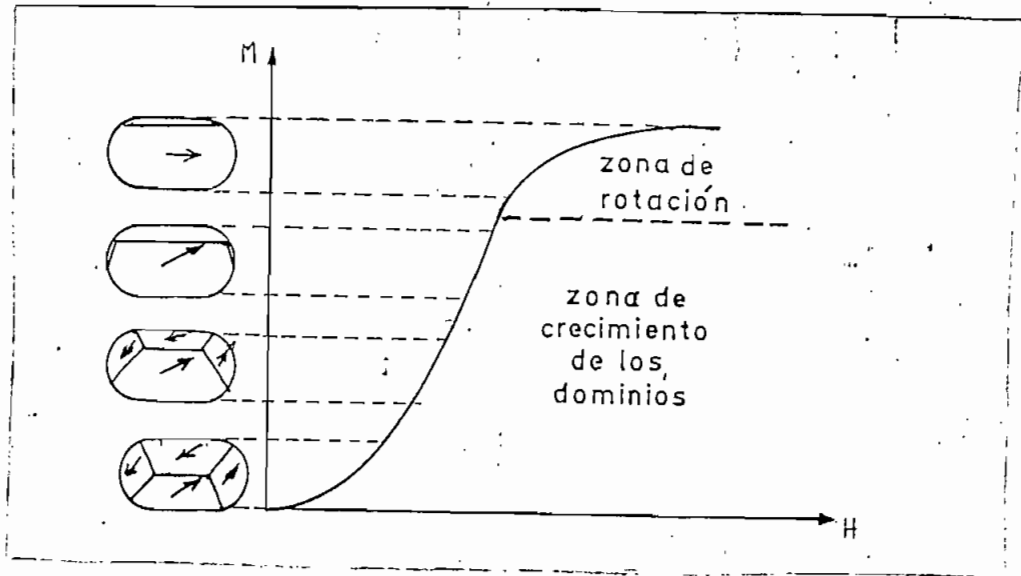


FIG. III-4 Crecimiento y rotación de dominios en un material ferromagnético y curva asociada de magnetización en función de H .

Expliquemos ahora, por conveniencia, el origen de los dominios. Como sabemos todo sistema físico tiende a alcanzar estados de mínima energía.

Consideremos el dominio con un solo campo dipolar, de la fig. III-5. Cualquier reducción en la intensidad o alcance del campo magnético se traduce en disminución de la energía magnetostática; esto podemos lograr en este caso, si introducimos un mecanismo que cambie la distribución dipolar mostrada, a una configuración polar de orden mayor. Para el efecto creamos una región de

transición entre las dos mitades de la muestra A y B. Con esta distribución de polos superficiales, la energía magnética asociada es menor: en efecto, los polos en el lado A de la muestra producen un campo paralelo a M en la región B y los polos en el lado B producen un campo paralelo a M en la región A.

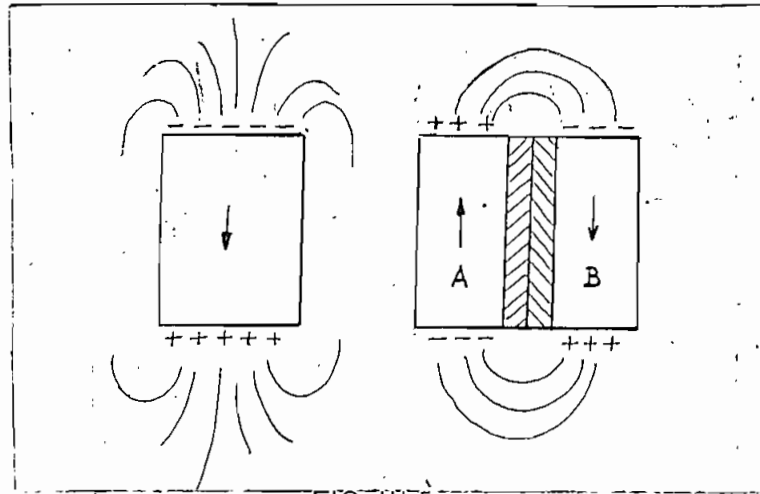


FIG. III-5

Esta interacción mutua contribuye con términos positivos al integrando

$$\int H_p \cdot M \, dV \quad (3-5)$$

así W_p queda reducido. Las regiones A y B son DOMINIOS y la capa de transición se llama PARED O LIMITE DE DOMINIO (DOMAIN WALL).

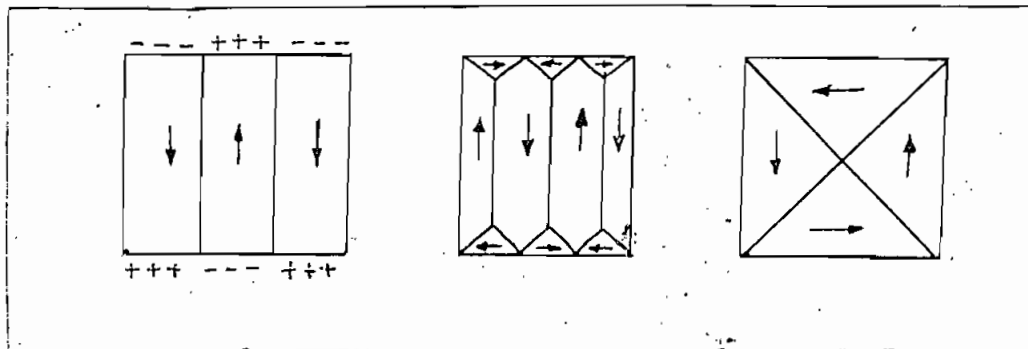


FIG. III-6 Algunas posibles configuraciones de dominios:

El dominio consta de átomos cuyos momentos atómicos hacen pequeños ángulos con átomos vecinos. En el caso en cuestión, la variación angular total es 180° y la capa de transición se conoce como pared de 180° . Para minimizar más aún la energía neta, se pueden introducir más paredes de dominio, pudiéndose obtener configuraciones como las de las figuras III-6.

Requerimiento para condición de equilibrio: La configuración de equilibrio en una muestra real está gobernada por el requerimiento siguiente: "la suma de la energía total absorbida en la formación de paredes con la energía de polos superficiales debe ser mínima". En el estado de total desmagnetización se cumple lo siguiente:

$$M = \frac{\sum M_i \cos \theta_i}{\sum \delta} = 0$$

donde:

- M_i = magnetización del dominio i
- θ_i = ángulo entre M_i y una dada dirección
- δV_i = volumen del dominio i
- N = número total de dominios en el volumen

Cuando $M \neq 0$ se tiene estado de magnetización; esto puede resultar de la aplicación de un campo externo: $\cos \theta_i$ varía por efecto de la rotación de M_i ; V_i cambia debido al incremento de dominios orientados favorablemente.

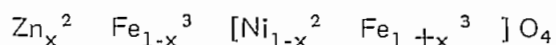
3.6 Saturación magnética y Punto Curie de temperatura.

Nos conviene ahora retornar a la fig. III-3. Cuando describíamos el ferromagnetismo desde el punto de vista de magnetismo ordenado, se asumía que

ferromagnetismo desde el punto de vista de magnetismo ordenado, se asumía que todos los momentos atómicos en un dominio dado estaban paralelos; tal estado, sin embargo, sólo es posible a temperatura absoluta 0° ; encima de ella, la agitación termal por aumento de temperatura produce desorden en el alineamiento y por tanto la saturación magnética decrece en amplitud. "A una temperatura crítica llamada PUNTO CURIE, la magnetización en un dominio bajo campo externo nulo, desaparece. Encima del PUNTO CURIE la sustancia deja de ser ferromagnética y se vuelve paramagnética. Para los transfluxores experimentados en esta tesis la temperatura Curie es 210°C .

Este PUNTO CURIE puede sufrir variación, tratándose de ferritas; en una ferrita mezclada — objeto de esta tesis y tecnológica e industrialmente útil — el contenido de Zinc tiene efecto marcado en la temperatura Curie; cuando el contenido de Zn aumenta, las fuerzas que producen el alineamiento de los iones magnéticos se reduce y consecuentemente la energía termal de los átomos necesaria para producir desorden se reduce. Por lo tanto, la temperatura Curie decrece continuamente con el incremento de Zinc.

De modo análogo la magnetización de saturación es afectada por la adición de iones de Zinc en ferritas mezcladas en las cuales los iones del metal divalente consisten parte de iones magnéticos como Ni^{2+} y parte de iones no-magnéticos de Zn. Siempre que el porcentaje de iones no sea grande, la mezcla de una ferrita de Zn con una ferrita magnética simple, produce un material con más alta magnetización de saturación que la simple ferrita. La razón se esclarece cuando se recuerda que el Zn ocupa sitios tetraédricos; por ejemplo, la ferrita Níquel-Zinc, en la cual los iones de Zn forman una fracción X de los iones de metal divalente, puede ser escrita así:



Los paréntesis cuadrados incluyen iones en sitios octaédricos; si todos

los iones magnéticos en sitios tetraédricos son paralelos, como también aquellos en sitios octaédricos y los dos sets son antiparalelos, el momento magnético neto por molécula sería.

$$[2\beta (1-X) + 5\beta (1 + X)]_{\text{octaed}} - [5\beta(1-X)]_{\text{tetraed}} \quad (3-7)$$

o sea $(2 + 8X)\beta$, que es mayor que el 2β de una molécula de ferrita de níquel.*

* β expresa el MAGNETON DE BOHR y es un coeficiente útil para expresar momentos magnéticos;

$$\beta = \frac{\mu_0 e \hbar}{4\pi m} = 1,165 \times 10^{-29} \text{ Web-m} \quad (3-7)$$

donde:

$\frac{e}{m}$ = relación carga-masa del electrón

μ = constante de permeabilidad del espacio libre: $4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$

h = constante de Planck = $6,624 \times 10^{-34}$ joule-seg

El momento magnético por molécula de ferrita de Níquel es $2,3\beta \approx 2\beta$. Si la ferrita fuese realmente ferromagnética, sería de esperar un valor de 12β , puesto que cada molécula contiene un ión de níquel, Ni^{2+} , teniendo 2 Spins no compensados y 2 iones férricos Fe^{3+} , con 5 Spins no compensados cada uno.

La teoría descrita se cumple por lo menos hasta un valor de $X = 0,5$ según lo reportado por Went y Gorter. [W,1]

3.7 Anisotropía magnética: de cristal, de esfuerzo (Stress) y geométrica. (Shape)

Habíamos mencionado que un material ferromagnético o ferrimagnético en estado desmagnetizado, consiste de un gran número de pequeños dominios, dentro de los cuales el material está saturado.

Ahora bien, la dirección de magnetización dentro de un dominio no es arbitraria, sino que adopta la dirección preferida; si se promedia en todos los dominios, la magnetización total es cero. Cuando el material es magnetizado, la dirección de magnetización en un dominio que no esté inicialmente alineado con la fuerza magnetizante, rotará a partir de su dirección preferencial. La facilidad con que este proceso se efectúa y, por tanto, las fuerzas implicadas en esta anisotropía, se reflejará en el valor de la PERMEABILIDAD μ . Cuando se quite la fuerza magnetizante, la magnetización total tendrá un valor diferente de cero.

El comportamiento de los materiales magnéticos por debajo de la saturación depende pues ampliamente de la magnitud de las fuerzas anisotrópicas y sus direcciones. Existen 3 factores contributivos: las anisotropías de cristal, de esfuerzo y de geometría.

3.7a Anisotropía cristalina. Las direcciones preferenciales dependen de la orientación de los ejes del cristal debido a razones electrostáticas. En efecto, las fuerzas de Coulomb entre electrones orbitales de átomos o iones vecinos, constriñen a las órbitas en relación con el patrón de estructura atómica.

En las ferritas con estructura cúbica con excepción de la ferrita de Cobalto, las direcciones preferenciales son las diagonales del cubo, tal como se muestra en la fig. III-6, habiendo 8 direcciones posibles.

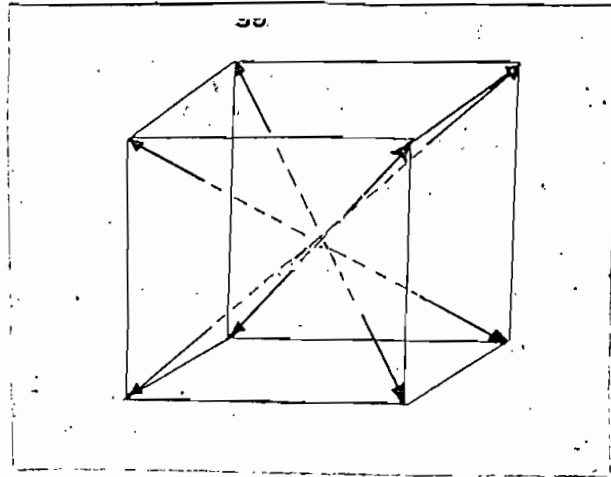


FIG. III-7 Direcciones preferenciales de magnetización en ferritas cúbicas, debido a anisotropía de cristal.

De acuerdo con Gans [G,1], se acostumbra expresar la energía de anisotropía cristalina E , en términos de los cosenos directores $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ del vector de magnetización, con respecto a los ejes del cristal.

Sabemos que:

$$\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 = 1 \quad (3-8)$$

Ahora: \vec{E}

$$E = K (\alpha_1^2 \alpha_2^2 + \alpha_2^2 \alpha_3^2 + \alpha_3^2 \alpha_1^2)$$

donde $K =$

dependencia de la energía de magnetización por unidad de volumen, de la dirección de magnetización y tiene un valor mínimo para una dirección potencial.

Ahora, para ferritas cuyas diagonales son las direcciones preferenciales ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$), K debe ser negativo puesto que $(\alpha_1^2 \alpha_2^2 + \alpha_2^2 \alpha_3^2 + \alpha_3^2 \alpha_1^2)$ es un máximo para una diagonal.

En ferritas en las que las fuentes de anisotropía son predominantemente cristalinas, se encuentra que la permeabilidad inicial μ_0 es, aproximadamente, inversamente proporcional a K [W,2]. Es deseable, por tanto, para muchas aplicaciones, encontrar una ferrita con pequeño K .

Es de notar que en los componentes que se usan en la parte experimental de esta tesis, la anisotropía cristalina no da lugar a variación de la permeabilidad, porque los transfluxores SIFERRIT no son obviamente un cristal compacto, sino consisten de un agregado de cristales cuyos ejes están orientados al azar.

3.7b Anisotropía de esfuerzo. (STRESS) Con excepción del óxido férrico Fe_3O_4 , la ferrita simple tiene una constante de magnetostricción negativa λ ; o sea, al ser magnetizada se contrae en la dirección de la magnetización.

Esta propiedad tiene ventajas y desventajas, dependiendo del tipo de aplicación.

En efecto, bajo una fuerza compresiva controlable, la ferrita puede ser magnetizada muy fácilmente en la dirección de la fuerza; sin embargo, la ocurrencia de esfuerzos arbitrarios es indeseable; para el caso de transfluxores de ferrita, nos interesa una mínima magnetostricción.

3.7c Anisotropía geométrica (SHAPE) Es una cuestión de experiencia común, que la forma externa de un cuerpo ferromagnético, influye ampliamente en la facilidad de ser magnetizado en una u otra dirección. De hecho, se magnetizará más fácilmente en la dirección de la mayor dimensión, puesto que en ese caso, los "polos libres" aparecen en las extremidades y producirán, por tanto, el menor

efecto desmagnetizante. [S,2] Cualquier inclusión no magnética o vacío en un cuerpo ferromagnético, tiene una influencia similar produciendo una dirección preferencial local en la magnetización, paralela a su mayor dimensión.

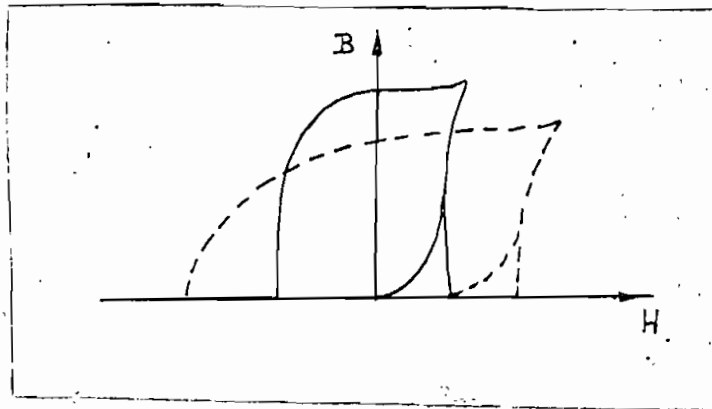


FIG. III-8 Efecto de la porosidad en la curva de magnetización. La línea llena se refiere a la ferrita no porosa y la línea cortada a la porosa.

Aquí se considera el problema de la porosidad. Cuando se preparan ferritas, se atiende constantemente a la total eliminación de porosidades. El efecto de la anisotropía geométrica en la curva de magnetización se muestra en la Fig. III-8.

Si bien las permeabilidades iniciales difieren ligeramente, los lazos de histéresis ofrecen marcadas diferencias: el nivel de saturación baja, las pérdidas por desmagnetización aumentan; el nivel de inducción remanente baja a un punto que haría totalmente desaconsejable el uso de un material tal para construir transfluxores de ferrita.

3.8 Propiedades mecánicas y termalés: Las ferritas del tipo SIFERRIT B 714 provenientes de la fábrica SIEMENS de Alemania y utilizadas en nuestros experimentos son materiales cerámicos duros, quebradizos, manufacturados mediante ruedas cortantes impregnadas de diamante y sometidas a esmerilado.

Resulta interesante presentar en una tabla, las propiedades mecánicas tanto del hierro como de una ferrita del tipo "Ferroxcube" y extraer conclusiones de su análisis comparativo.

PROPIEDADES	FERRITA	HIERRO
Gravedad específica	4,3	7,8
Módulo de Youn [lb/pg ²]	21 x 10 ⁶	31 x 10 ⁶
Coef de tensión [lb/pg ²]	2,600	43,000
Coef de aplastamiento (CRUSHING) [lb/pg ²]	10.400	43.000
Coef de expansión lineal [°C ⁻¹]	11 x 10 ⁻⁶	12 x 10 ⁻⁶
Calor específico	0,17	0,1
Conductividad termal [8 x 10 ⁻³	0,18

Como podemos observar, las propiedades en que difieren mucho más, son el coeficiente de fuerza de tensión y la conductividad termal. Podemos concluir que un diseño mecánico que incorpore un componente de ferrita, debe ser tal, que indirecta, mediante arqueo; en nuestros experimentos, este requisito sí se cumplió.

Por otra parte, la baja conductividad termal podría limitar seriamente la operación del componente en ciertas aplicaciones; así, cuando se producen frecuentes reversiones de grandes flujos magnéticos, las pérdidas por histéresis podrían generar altas temperaturas locales, con fuertes gradientes de temperatura en el material; en tal caso pueden suceder dos accidentes:

- a) una fractura mecánica debida a la susodicha gradiente y
- b) lo más probable, que la temperatura se aproxime al PUNTO CURIE, lo cual produce modificación de la polarización molecular y por tanto, disturbación en el comportamiento magnético.

Durante la experimentación, los núcleos de ferrita no superaron la temperatura ambiental, debido a que se controló la corriente mediante el uso de bobinados de conveniente número de vueltas.

3.9 Preparación de Componentes de Ferrita. A manera de complementación del estudio acerca del magnetismo en ferritas, se ofrece luego una descripción corta, casi sinóptica de la secuencia de procedimientos típicos a seguirse en la preparación de componentes de ferrita.

En general, debe prestarse gran atención a los detalles de preparación, porque estos influyen grandemente en las propiedades de las muestras.

Los óxidos constituyentes se mezclan en las debidas proporciones en una pequeña porción de agua, por ejemplo, y luego se somete la mezcla a un molino de bolas por varias horas. Luego después de eliminar el agua en una estufa, se presinterizan las muestras a una temperatura de varios cientos de grados. Enseguida, con el fin de darle homogeneidad, se vuelve la mezcla al molino de bolas, disuelta en un medio orgánico como alcohol; posteriormente, se elimina el alcohol y se coloca el material junto con el agente cohesivo en moldes donde se le da forma, bajo presiones de hasta 10 ton/pg²; el material prensado es cocido a 1100° o 1400°C durante unas horas. Las dimensiones finales se logran mediante esmerilado o lijado.

Durante los procesos de cocido, se producen contracciones de hasta el 20% del volumen total, de modo que siempre se requiere un esmerilado final de la pieza sobredimensionada.

EL TRANSFLUXOR

1. CONCEPTO. 2. CONDICIONES DE CONSTRUCCION DE UN TRANSFLUXOR. 3. MAGNETIZACION DE TRANSFLUXORES DE FERRITA. 4. ¿COMO OPERA UN TRANSFLUXOR PROTOTIPO DE DOS ABERTURAS? 5. IDEALIZACION SIMPLIFICADA DEL PROCESO DE MAGNETIZACION. 6. ALGUNAS DESVENTAJAS DEL TRANSFLUXOR DE FERRITA. 7. ALGUNAS APLICACIONES DEL TRANSFLUXOR DE FERRITA.

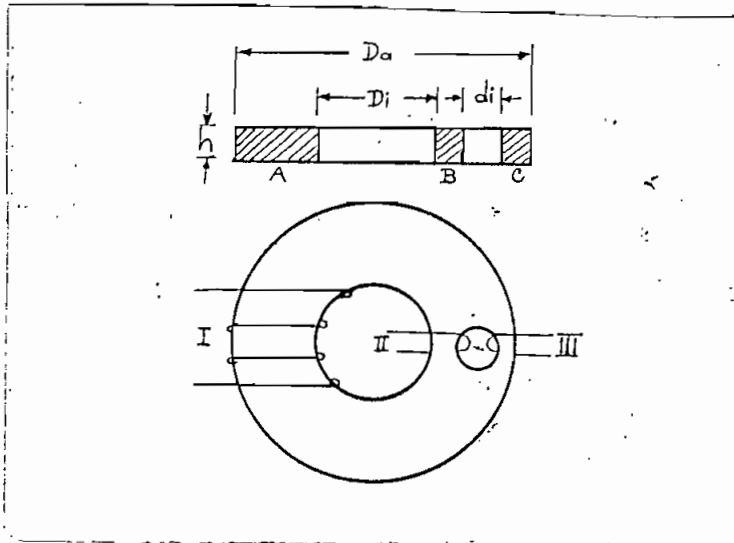
4.1 El transfluxor: Concepto: El transfluxor, en cortas palabras, es una placa de material magnético poseedora de un lazo de histéresis rectangular y dotada de perforaciones adecuadamente ordenadas, con el fin de posibilitar dos o más circuitos magnéticos inmediatamente acoplados entre sí.

Por tanto, el transfluxor puede ser considerado como una red magnética.

La forma geométrica del transfluxor, ante todo, determina sus posibilidades de utilización y sus propiedades; en realidad, el constructor puede diseñar formas más o menos complicadas de transfluxores, con el propósito de llenar determinados requisitos de operación.

En la presente tesis, sin embargo, se utilizan sólo tipos básicos triaperturados.

El principio del transfluxor ha sido estudiado en un prototipo biperforado como el de la Fig. IV-1.



— FIG. IV-1 Transfluxor circular biaperturado. Constan las medidas, bobinados y definición de las secciones A, B y C.

- I = Bobina de Control
- II = Bobina de entrada
- III = Bobina de salida

El diámetro de la perforación menor debe ser pequeño en comparación con el espesor radial del anillo, con el fin de que la sección transversal de éste no quede debilitada. Tenemos pues, la posibilidad de producir 2 circuitos magnéticos, uno alrededor de cada perforación.

Este núcleo debe ser luego adecuadamente bobinado; la figura muestra 3 devanados independientes unos de otros:

- I ← = Bobinado de control, para bloqueo o fijación de estado magnético (Setting)
- II = Bobinado de entrada o excitación (Drive)
- III = Bobinado de salida o respuesta (Output)

Luego de esta sencilla descripción geométrica, se puede explicar la operación del transfluxor en términos generales:

Si se envían impulsos de corriente por el bobinado de control (I), podemos variar el acoplamiento magnético entre los bobinados de entrada y salida (II y III), modificando la sección transversal efectiva. Posteriormente analizamos el proceso de magnetización del transfluxor, observado en la parte experimental de esta tesis.

IV-2 Condiciones de construcción del transfluxor: Como ya mencionamos, las propiedades del transfluxor dependen definitivamente de su geometría. Para que la operación del transfluxor sea satisfactoria, la forma geométrica debe ser regida por los siguientes objetivos:

- a) Luego del bloqueo, aquella parte del núcleo (secciones B y C), que contribuye para la transferencia entre los devanados de entrada y salida, debe estar totalmente saturada para garantizar el estado de magnetización.

Para ello, refiriéndose a la fig. IV-1:

$$A = K_i(B + C) \quad K_i > 1 \quad (4-1)$$

Un $k_i=1,5$ es suficiente en los casos normales y es el existente en los componentes SIFERRIT B64715 utilizados para la experimentación de esta tesis.

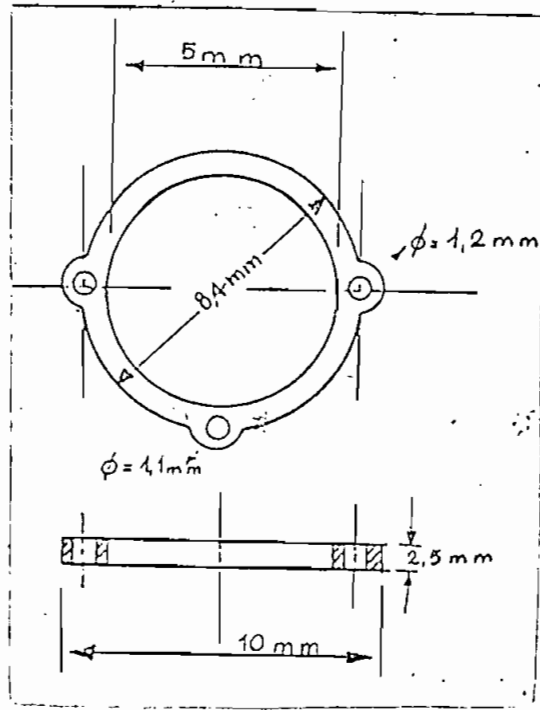


FIG IV-2 Transfluxor triaperturado Siferrit R 402-B 64715

b) La corriente de excitación no debe inducir ningún flujo en el circuito de control, por tanto el camino magnético alrededor de la perforación menor, debe ser mucho menor que el menor camino magnético alrededor de la perforación mayor. O sea

$$D_1 = K_2 \frac{D_2 - D_1}{2} \quad (4-2)$$

(para un $K_2 > 1$ y siempre haciendo referencia a la fig. IV-1)

En la tabla IV-1 que se muestra a continuación, se indica cómo influyen los coeficientes K_1 y K_2 en el factor de calidad de los transfluxores.

K_1		1,5	0,9	1	1,5	2
K_2	1	1,5	3		1,5	
Q	50	210	219	23	90	315

c) Si existen más de 2 circuitos magnéticos de control, deberán estar independientes entre sí lo más posible, con el fin de evitar alteraciones de los flujos respectivos.

IV-3, Magnetización de transfluxores de ferrita: ¿Cómo opera el transfluxor biaperturado? De la experimentación efectuada con los transfluxores SIFERRIT, resulta que una de sus más importantes propiedades, es su habilidad para almacenar un nivel de control establecido por un solo pulso eléctrico.

Una corriente alterna energizante en el bobinado de entrada, producirá o no una salida alterna, dependiendo de la naturaleza del último pulso de control a que estuvo sometido el transfluxor. (positivo o negativo)

Más aún, es posible obtener salidas de cualquier nivel que se desee en una banda continua, desde casi cero hasta un nivel máximo, de acuerdo con la amplitud de un solo pulso de control.

IV-4 Descripción de la operación del transfluxor biaperturado: Se hace referencia siempre a las figuras IV-3 y IV-4 al explicar la operación del transfluxor.

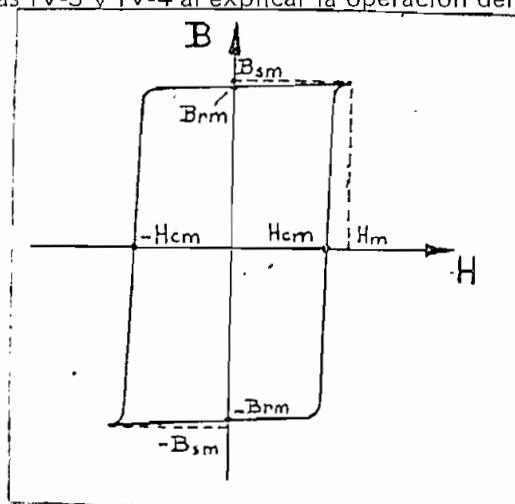


FIG IV-3 Lazo de histéresis rectangular.

Asumamos que al principio, un intenso pulso de corriente se envía por A_1 en la rama 1, en una dirección que produzca un flujo en sentido horario, que sature las ramas 2 y 3; éstas quedan saturadas después de quitar el pulso ya que, por principio, la inducción remanente B_{rm} en el material, es casi igual a la inducción de saturación B_{sm} . Consideremos ahora, el efecto de una corriente alterna energizante en A_3 , que produzca una fuerza magnetomotriz alterna alrededor del orificio pequeño, pero insuficiente para provocar un cambio significativo de flujo alrededor de las 2 aberturas, como se muestra en la área sombreada de la fig. IV-4.

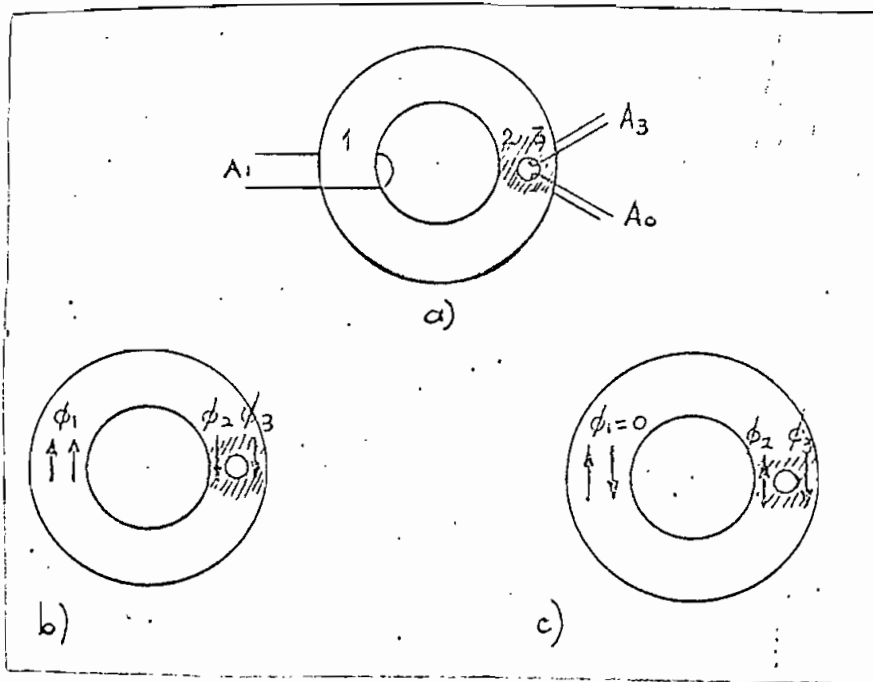


FIG IV-4 Principio del transfluxor.

Cuando esta fuerza magnetomotriz actúa en sentido horario tiende a producir un incremento de flujo en el ramal 3 y un decremento en el 2. Pero, puesto que el ramal 3 está saturado, no es posible en él un incremento de flujo;

consecuentemente, no puede haber ningún flujo, puesto que, necesariamente, se requieren caminos cerrados para que se produzca flujo magnético. De manera similar, durante la fase opuesta de la corriente alterna, la f.m.m. actúa en sentido antihorario y tiende a producir un incremento de flujo en el ramal 2, lo cual es también imposible, puesto que dicho ramal está saturado. Consecuentemente, el flujo está "BLOQUEADO", como resultado de la dirección de saturación de los ramales 2 y 3. El transfluxor está, pues, en su estado BLOQUEADO y no se induce ningún voltaje en el bobinado de salida A_0 que concatena el ramal 3. Consideremos ahora, el efecto de un pulso de corriente a través del bobinado A_1 , en una dirección que produzca una f.m.m. de sentido antihorario. Sea este pulso lo bastante intenso para producir una fuerza magnetizante en el cercano ramal 2, mayor que la fuerza coercitiva H_c , pero no lo bastante amplia para permitir que la fuerza magnetizante en el ramal distante 3, exceda su valor crítico. Este pulso, llamado "pulso establecedor" (setting pulse), causará la reversión de la saturación del ramal 2, la cual resultará dirigida hacia arriba (Fig. IV-4c), pero no afectará al ramal 3, cuya saturación continuará dirigida hacia abajo. En estas circunstancias, la f.m.m. alterna alrededor del orificio pequeño, resultante de la corriente alterna en A_3 , producirá un correspondiente flujo alrededor del orificio pequeño. La primera fase antihoraria de la corriente alterna revertirá el flujo, la siguiente fase horaria lo volverá a revertir y así indefinidamente. Este flujo puede ser imaginado como una constante transferencia "de acá para allá", entre los ramales 2 y 3. Este flujo alternante inducirá un voltaje en el devanado de salida A_0 . Este estado del transfluxor se llama de "DESBLOQUEO o ESTADO MAXIMO" (MAXIMUM SET).

Hemos visto que el transfluxor queda "bloqueado", cuando las direcciones de inducción remanente de las ramas que rodean el pequeño orificio son las mismas y queda "desbloqueado" cuando son opuestas. En el estado de bloqueo, el material

magnético alrededor del orificio pequeño, no provee acoplamiento alguno entre el primario A_3 y el secundario A_0 , mientras que provee un acoplamiento relativamente grande entre ellos, en el estado de desbloqueo. Es interesante notar que la información de que el transfluxor está bloqueado o desbloqueado puede ser interpretado como un almacenamiento en términos del flujo a través de A_1 , y que este flujo almacenado no cambia, cuando se produce una salida por intercambio de flujo entre 2 y 3. Este tipo de información de dos estados extremos se llama "ON-OFF" o "UNO-CERO".

VERSATILIDAD EN EL ALMACENAMIENTO DEL FLUJO. El transfluxor puede ser establecido (SET), a cualquier nivel, en un rango continuo, mediante la aplicación de un solo pulso de corriente en A_1 .

Una vez establecido (SET), entregará indefinidamente una salida proporcional al pulso estabilizador.

IV-5 Idealización simplificada de este proceso: Este proceso puede ser explicado mediante idealizaciones simplificadas, de la siguiente manera:

Consideremos primero, al transfluxor en su posición de bloqueo; supongamos, además, que exista una corriente establecedora (SETTING CURRENT), a través del devanado A_1 , de una amplitud elegida y, naturalmente, de polaridad opuesta a la del pulso bloqueador original. Una fuerza magnetizante H proporcional a esta corriente se produce alrededor del orificio grande. En el material magnético, esta fuerza es mayor en la periferia del orificio y disminuye gradualmente con la distancia e inversamente con el radio. Por tanto, para la amplitud I_1 escogida, habrá un círculo crítico, que separe una zona interna, en la cual la fuerza magnetizante es mayor que la fuerza magnetizante de umbral H_c , requerida para revertir el sentido del flujo y una zona externa, donde este campo es menor que el

valor umbral. Estas dos zonas se muestran en la Fig. IV-5. Consideremos ahora, la f.m.m. alterna en el ramal 3, producida por una secuencia indefinida de pulsos alternos. El primer pulso, aplicado en el ramal 3, en una dirección para producir magnetización hacia abajo en el ramal 2, puede cambiar sólo aquella parte del flujo en 2, que está dirigida hacia arriba o sea la parte "atrapada" por el pulso establecedor I_1 . Esta parte cambiante de flujo, fluirá a través de 3 hasta que el ramal 2 alcance su saturación original hacia abajo. Por tanto, la cantidad de flujo establecido en el ramal 2 es transferido al ramal 3. El siguiente pulso aplicado al ramal 3, lo saturará en la dirección original y con ello retransferirá la cantidad de flujo atrapada al ramal 2. No existe peligro de transferencia de flujo al ramal 1 puesto que el camino magnético es mucho más largo en esa rama y puesto que el ramal 3 está saturado, ningún flujo posterior es posible, no importa cuán fuerte sea este segundo pulso.

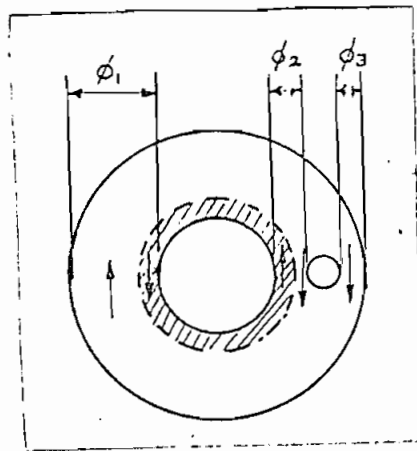


FIG. IV-5 Establecimiento del transfluxor a cualquier nivel en un rango continuo.

Ahora bien, una sucesión de pulsos alternos en A_3 , (Fig. IV-4a), producirá un intercambio continuo de flujo, entre los ramales 2 y 3, lo cual, a su vez, generará

en el devanado A_0 un tren indefinido de pulsos de voltaje de salida.

Como en el caso anterior de información "ON—OFF", la magnitud de la salida o „información analógica", puede ser interpretada, en este caso, como un almacenamiento en términos de flujo en el ramal 1 (o también la suma algebraica de los flujos en 2 y 3). Este flujo almacenado, no se ve afectado por el intercambio de flujo entre las ramas 2 y 3.

A continuación del siguiente párrafo, presentamos la parte experimental de nuestro trabajo, lo cual incluye, en cada experimento, la teoría concerniente, la comparación de los resultados experimentales con los teóricos y los comentarios y conclusiones correspondientes, los cuales procurarán concordar siempre con una de las finalidades primordiales de esta tesis: la de ofrecer a los estudiantes de electrónica un esquema de estudio y experimentación coherente y conexo de este nuevo tipo de materiales industriales: las ferritas.

IV-6 Algunas desventajas del transfluxor de ferrita. Las cualidades excepcionales del transistor, como son resumiendo, la alta resistividad, la alta permeabilidad, las bajas pérdidas por histéresis; la posibilidad de utilizar altas corrientes, sin que el componente se destruya, lo hacen recomendable para circuitos, en los cuales se trabaja en un rango amplísimo de frecuencia, que va desde 20 KHz hasta más de 10 GHz.

No obstante, se debe citar unas cortas desventajas de este componente, que deben tomarse en cuenta en el tratamiento de transfluxores.

La primera desventaja es su geometría de pequeñas dimensiones, que dificulta la construcción de bobinados de considerable número de circuitos tales como circuitos lógicos de memoria que requieren complicados devanados.

La segunda desventaja, es de que las cualidades notables del transfluxor, se aprecian más como resultado de mediciones experimentales, que de análisis teórico; por otra parte, los transfluxores están sometidos a amplias dispersiones en sus características. En estas condiciones, es preciso no confiar excesivamente en análisis matemáticos de los núcleos de ferrita y más bien, se requiere una considerable profundización experimental en circuitos magnéticos; por esta razón los transfluxores se usan con mayor seguridad y confiabilidad en circuitos que utilizan sólo los valores extremos ON y OFF, o sea estados extremos de magnetización, controlados por un bobinado recorrido por una corriente directa.

Si bien teóricamente, la salida de un transfluxor tiene niveles controlables, desde casi cero hasta un nivel máximo correspondiente al máximo estado de saturación del camino magnético alrededor del pequeño orificio, no obstante, en la práctica no se utiliza todavía en gran escala esta propiedad ya que cada transfluxor ostenta cierta peculiaridad en sus características, tal como lo hemos anotado.

IV-7 Algunas aplicaciones del transfluxor de ferrita. Se citan a continuación las aplicaciones que luego, en la parte experimental de esta tesis se estudian y se construyen.

CONMUTADORES MAGNETICOS: dotados de 3 circuitos magnéticos interrelacionados entre sí, para proveer un voltaje de salida a voluntad, en un sentido o en otro.

NUCLEOS DE MEMORIAS CON LECTURA NO DESTRUCTIVA: En estos circuitos, existen dos estados almacenados, que son las remanencias de bloqueo y desbloqueo. El dato puede ser leído sin que cambie el estado físico que representa la información.

Considérese dos bobinados selectivos en la rama 1, y dos en la rama 3, de cada transfluxor. Si se conecta, por comodidad, estos bobinados en filas y columnas como en la fig. IV-6, se tiene una unidad de memoria completa.

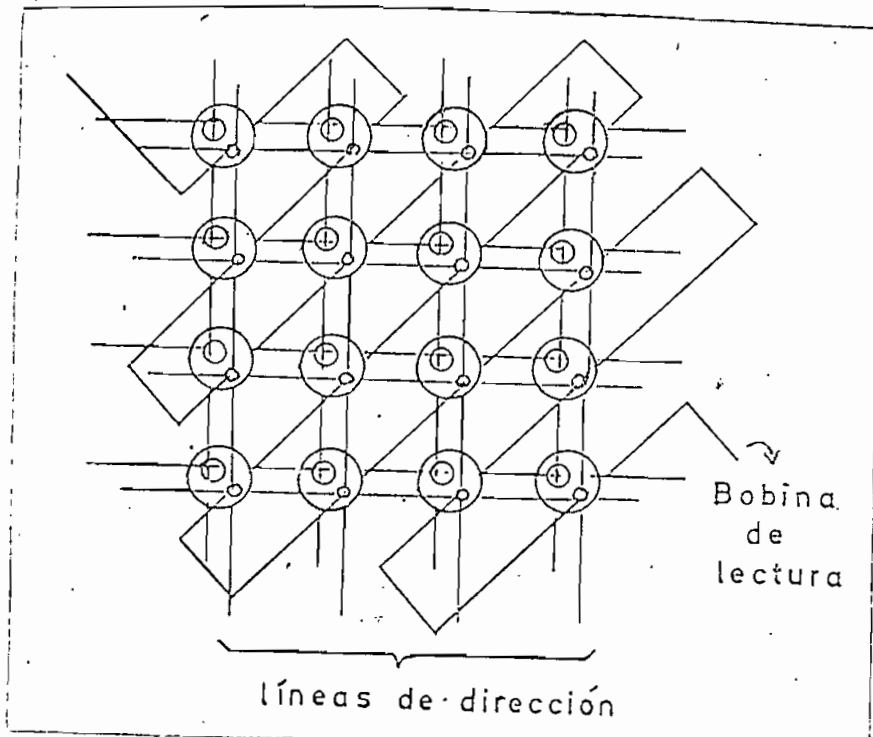


FIG. IV-6 Arreglo de transfluxores usado como memoria de acceso al azar (random access memory) con lectura no destructiva.

Se envían pulsos de escritura, simultáneamente, por una fila y una columna que concatene las ramas 1. El efecto aditivo de estos pulsos en el transfluxor seleccionado, (intersección), es suficiente para establecer un estado, pero la amplitud de los pulsos individuales es insuficiente para afectar a los restantes transfluxores de la fila y la columna. La dirección de los pulsos de escritura determina si el estado establecido es bloqueo o desbloqueo.

La lectura se efectúa usando también el procedimiento de selección por coincidencia de corrientes; se envían pulsos de amplitud apropiada por la fila y columna que concatene ramas 3. Estas corrientes generan flujos que, en caso de estar bloqueado el transfluxor, inducen voltajes leíbles en un circuito común, que concatena todas las ramas 3.

Este proceso es denominado de "lectura no destructiva", porque el flujo en la rama 1 no se altera debido a los pulsos interrogadores, retiene indefinidamente la información almacenada y además, su valor determina si habrá o no intercambio de flujo en las ramas 2 y 3, como resultado de la interrogación.

CIRCUITOS LOGICOS AND Y OR: en computadoras digitales, pueden usarse transfluxores como elementos lógicos, adecuando los bobinados, de tal manera que cumplan las condiciones algebraicas de los circuitos AND y OR.

CAPITULO QUINTO

TABLA COMPARATIVA DE VALORES OPERACIONALES.

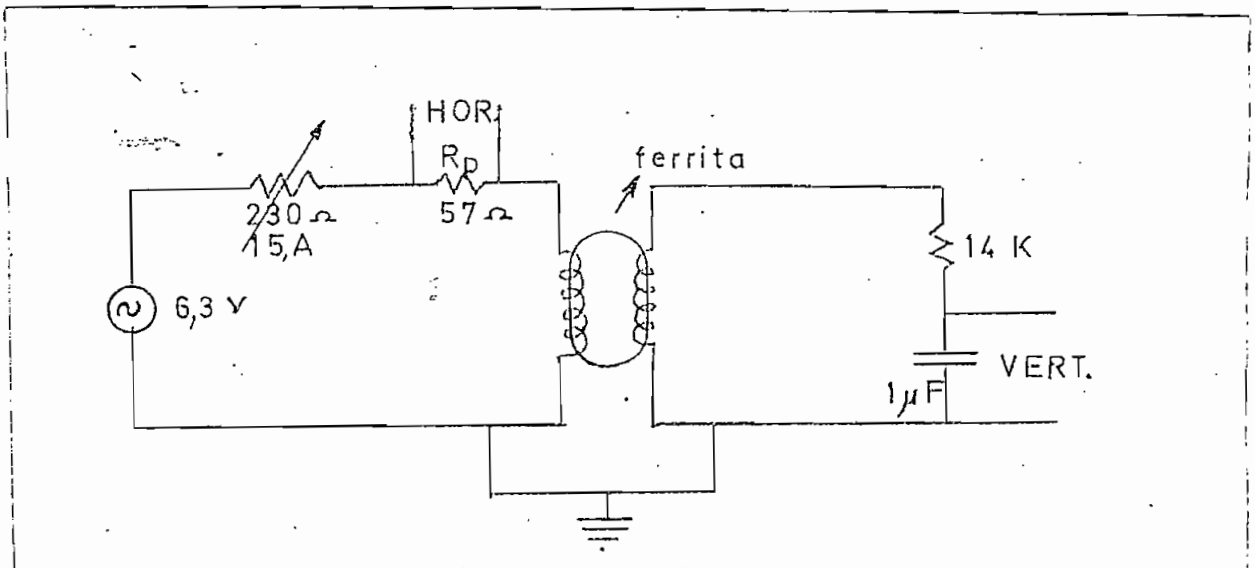
MAGNITUD	TRANSFLUXOR	TRANSFLUXOR
	B64716A1X402	B64715A2X402
Temperatura de trabajo	25°C	25°C
Excitación de bloqueo	2A.v.	3A.v.
Excitación de Setting	1A.v.	1,2A.v.
Excitación de entrada a $f = 30$ Khz	0,6A.v.	0,7A.v.
Voltaje de salida (pico)	280mV _{max}	270mV _{max}
Q = Factor de discriminación o calidad	140	135
$(V_{\text{bloq}}/V_{\text{desbl}})$		

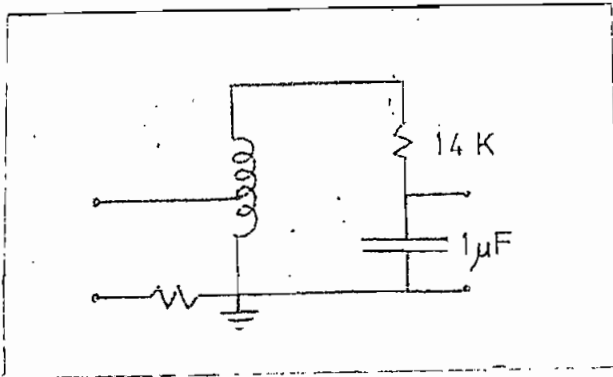
DETERMINACION DE LA CURVA CARACTERISTICA DE HISTERESIS DE LAS FERRITAS SUAVES Y DURAS.

Equipo utilizado:

- 1 Variac o autortransformador
- 1 transformador de aislamiento 110 V /6,3 V /3,1 V
- 1 osciloscopio Hewlett Packard 130 C
- 1 voltímetro de válvula RCA
- 2 Ferritas duras SIFERRIT: B64716 y B64715
- 1 Ferrita suave SIFERRIT
- 1 reóstato variable: 230Ω ; 1,5 A
- resistencias 50Ω /10 W, 14 K
- condensadores: $0,082\mu\text{F}$, $0,5\mu\text{F}$

DIAGRAMA DE CIRCUITO:





Para mejorar la respuesta y corregir las fallas debidas a la falta de tierra, variamos la conexión del transfluxor, a la forma de autotransformador.

Resultados gráficos: Los resultados gráficos fotografiados, se obtuvieron bajo las siguientes condiciones para la FERRITA SUAVE:

- Excitación fija del primario = 6,3 volts.
- Número de vueltas del primario = 120
- Número de vueltas del secundario = 35
- $C_{sec} \cong 0,47 \mu F$
- $R_{sec} = 100 K$

y bajo las siguientes condiciones para la FERRITA DURA:

- Voltaje de excitación = 2 volts.
- Número de vueltas del primario = 100
- Número de vueltas del secundario = 25
- $C_{sec} = 0,47 \mu F$
- $R_{sec} = 47 K$; $R_p = 57 \Omega // 39 \Omega \approx 23 \Omega$
- Usando transformador de aislamiento con razón 1 a 1

— — ESCALA DE FOTOGRAFIAS

FERRITA DURA

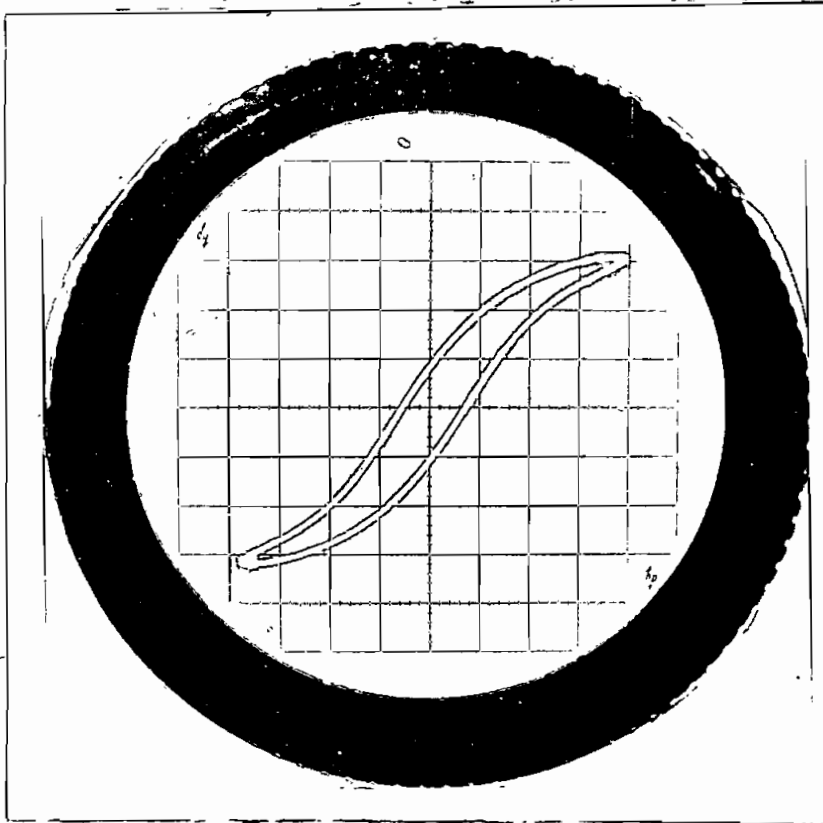
Escalas : vert: 0,5 mV/cm

horíz: 20 mV/cm

FERRITA SUAVE

Escalas: vert: 10 mV/cm

horíz: 20 mV/cm



→ Ferrita suave

$$V_{SAL} : 3,15 \text{ cm} \times 10 \frac{\text{mV}}{\text{cm}}$$

$$V_{SAL} : 31,5 \text{ mV}$$

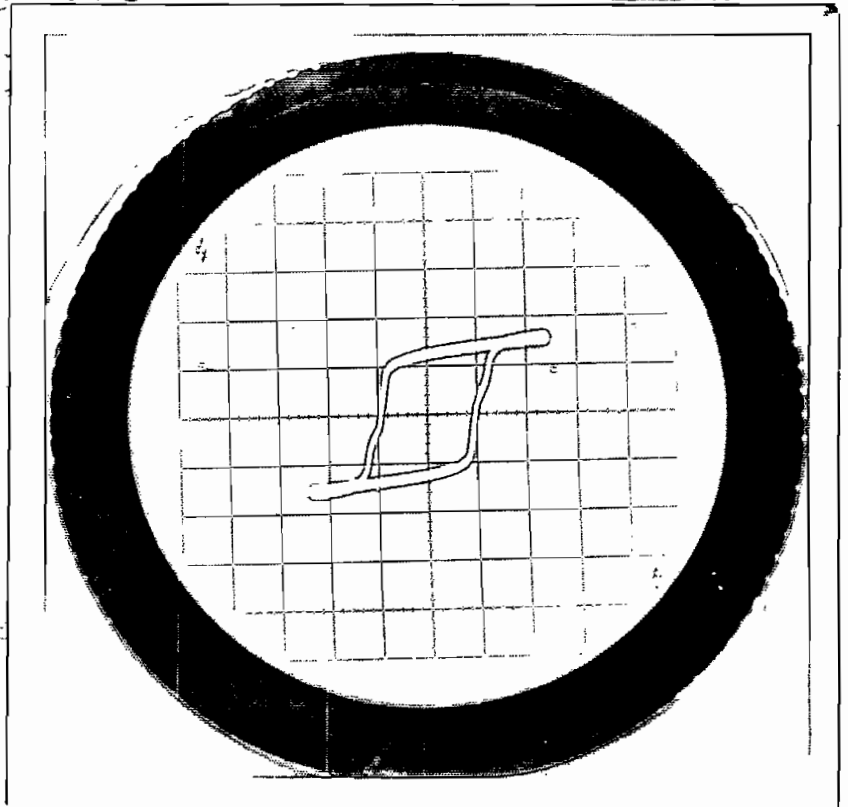
Ferrita dura →

$$V_{SAL} : 1,6 \text{ cm} \times 0,5 \frac{\text{mV}}{\text{cm}}$$

$$V_{SAL} : 0,8 \text{ mV}$$

$$B_{sm} = 0,8 \text{ mV}$$

$$B_{rm} = 0,7 \text{ mV}$$



COMENTARIOS:

Observamos que, debido a los bajos niveles de voltajes y corrientes, se agudizó el problema de las tierras; para resolverlo conectamos el transfluxor a tierra común y utilizamos un transformador de aislamiento. La observación de las fotografías nos muestra que los resultados obtenidos concuerdan con la teoría respectiva.

La ferrita suave exhibe esa redondeza en sus extremos debido a la imposibilidad de obtener una fuerza coercitiva H_c suficientemente alta para llegar a la saturación.

La ferrita dura exhibe una relación de rectangularidad: $B_{rm}/B_{sm} = 0,87$ que es muy aproximada a la especificación del fabricante

$$\text{Error: } (0,95 - 0,87) 100\% / 0,95 = 8,5\%$$

Se cumple también la 2a. condición de rectangularidad: $B_{rm} = 0,7 \text{ mV}$, permanece casi constante hasta un valor de $-H_m/2 = -0,016 \text{ V}$ cercano al valor $-H_{cm} = -0,018 \text{ V}$.

CONCLUSIONES:

Los elementos con los cuales trabajamos, cumplen con las especificaciones dictadas por el fabricante, por tanto son aptas para ser utilizadas en los circuitos de experimentos posteriores.

No obstante el problema existente de lograr una suficiente corriente de excitación, sin embargo los resultados fotográficos muestran claramente la

diferencia de características entre la ferrita suave y la dura. Las aristas laterales de la ferrita dura que caen con una pendiente tendiente a la del ángulo recto constituyen el carácter más valioso del transfluxor junto con su alta remanencia B_{rm} ; porque permiten establecer 2 estados extremos de magnetización del componente que son $+B_{rm}$ y $-B_{rm}$, estados utilizables para codificación ON-OFF en circuitos lógicos.

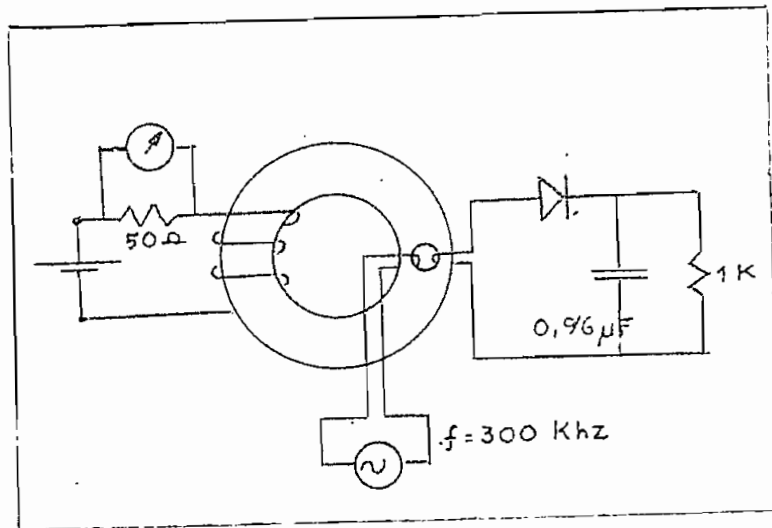
Concluimos también que el componente es altamente resistente a la temperatura ya que al aplicarse $I = 3A$ en el devanado de excitación, se observó que si bien el conductor subió de temperatura, la ferrita se mantuvo a la temperatura ambiente. En los experimentos de esta tesis, se utilizan corrientes máximas de 1,5 Amperios que producen calentamientos no significativos; siempre se estuvo muy alejados del PUNTO CURIE de Temperatura = $210^{\circ}C$ en el que este componente altera su comportamiento magnético.

DEMOSTRACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO INDEFINIDO DE LOS TRANSFLUXORES DE FERRITA.

Equipo utilizado:

- 1 transfluxor de ferrita dura SIFERRIT B64716 biaper turado .
- 1 fuente DC (0-25 volts) regulada. Oltronix No, 150
- 1 oscilador, RCO 6K Oltronix
- 1 reóstato $50\ \Omega/5\ A$
- 1 resistencias 1K

Diagrama del circuito:



No. de vueltas de los devanados del transfluxor:

Entrada = 22

Salida = 22

Control = 35

Descripción del proceso: El oscilador envía por el bobinado de entrada, una corriente I_E apropiada, a una frecuencia F_E ; esta f.m.m. genera un flujo alrededor del pequeño orificio, el cual a su vez, induce un voltaje en el bobinado de salida que es detectado por el osciloscopio.

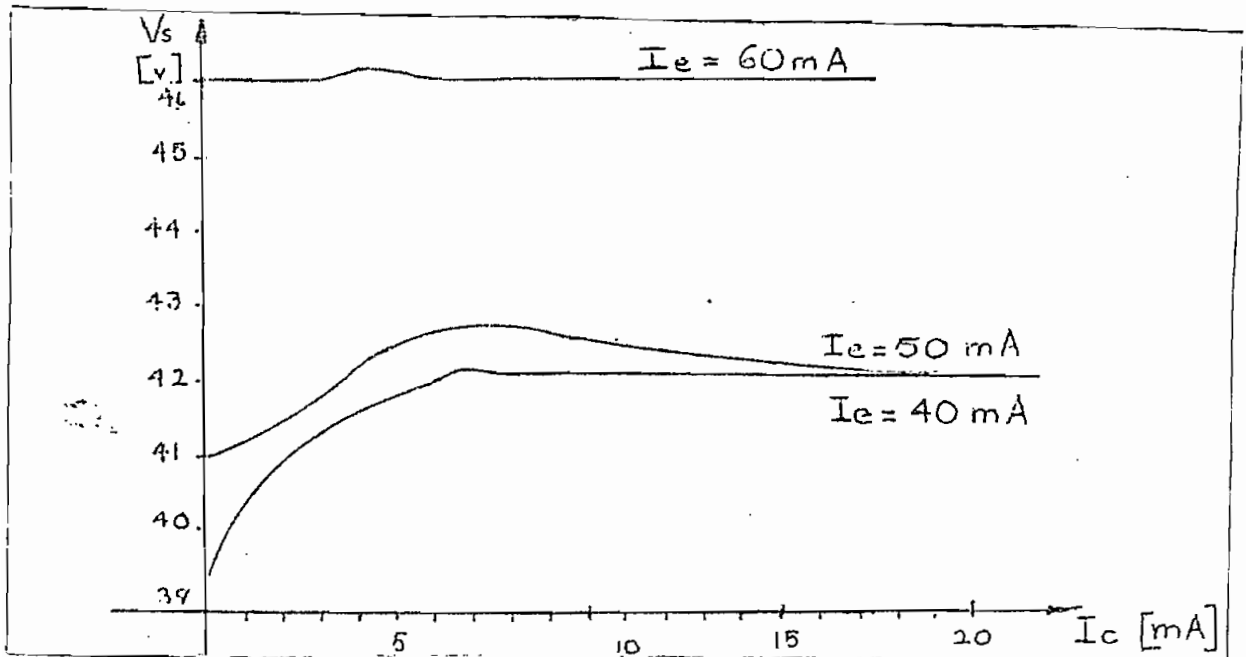
Enviamos luego, un pulso I_c de corriente directa a través del bobinado de control, que anule la salida, o sea que "bloquee" al transfluxor. Enseguida, invertimos el sentido de la corriente d.c. en el bobinado de control y enviamos por él una corriente que aumenta progresivamente de amplitud.

La salida del transfluxor entonces, aumenta progresivamente desde cero hasta llegar a la saturación; muestra entonces, el osciloscopio una amplitud invariable de salida, para cualquier corriente de control I_c , mayor o menor que la I_c coercitiva. No importa cualquier I_c esté circulando por el bobinado de control, la respuesta V_s permanece igual o casi igual. Si en este punto invertimos el sentido de la corriente directa I_c , la salida V_s del transfluxor se reduce súbitamente a cero o casi cero.

Resultados experimentales:

$I_e = 40 \text{ mA}$		$I_e = 50 \text{ mA}$		$I_e = 60 \text{ mA}$	
I_c [mA]	V_s [V]	I_c [mA]	V_s [V]	I_c [mA]	V_s [V]
0	39	0	41	0	46
2	41	2	41,2	2	46
4	41,5	5	42,4	4	46,2
6	42	10	42,4	6	46
10	42	20	42	10	46
20	42	-20	0	20	46
-20	0			-20	0

GRAFICO



Funcion de salida de valores casi óptimos y constantes

Comentarios a los resultados experimentales: El gráfico superior muestra valores de Voltaje de salida constantes para un rango amplio de valores de corriente de control. En efecto, una vez que el transfluxor se ha saturado, lo cual en este caso ocurre para una salida de más o menos 40 volts, cualquier variación de I_c , desde cero hasta varios amperios, no afecta a la amplitud de salida.

Se han efectuado tres mediciones, para diferentes magnitudes de I_e , debido a que el comportamiento del transfluxor es óptimo sólo a partir ~~de~~ cierta * alto; para valores bajos de I_e , la curva de salida ostenta una forma de campana, o sea, creciendo hasta un máximo y luego decreciendo hasta cerca de cero. Esta cuestión se analiza exhaustivamente en el 4o. experimento.

CONCLUSIONES:

La cualidad de almacenar indefinidamente un flujo magnético, hace del transfluxor un componente excelente para uso en circuitos matriciales de memorias, en máquinas de procesamiento de datos. En efecto, cualquier accidente que ocurriera, sea de sobrecarga de corriente o de caída de la tensión en los circuitos de memoria, no ocasiona la destrucción del dato almacenado. Igualmente, el dato puede ser leído indefinidamente, en forma no destructiva, debido a que los circuitos magnéticos son totalmente independientes. Si I_e aumenta excesivamente, con todo, existe la posibilidad de que se produzcan magnetizaciones espurias alrededor del orificio grande, pero, por lo general, esto no afectará a la operación total, puesto que al trabajar con transfluxores, lo que interesa son estados extremos de respuesta y no niveles intermedios individuales. Los transfluxores admiten, por tanto, un amplio rango de corrientes, limitado tan sólo por la geometría del componente y la capacidad de los conductores.

* amplitud de I_e ; como se nota, para $I_e = 60$ mA, el estado de saturación es muy alto;

ANALISIS DE LA INFLUENCIA DE LA FORMA DE EMBOBINAJE EN EL FACTOR DE DISCRIMINACION Q O DE CALIDAD DEL TRANSFLUXOR.

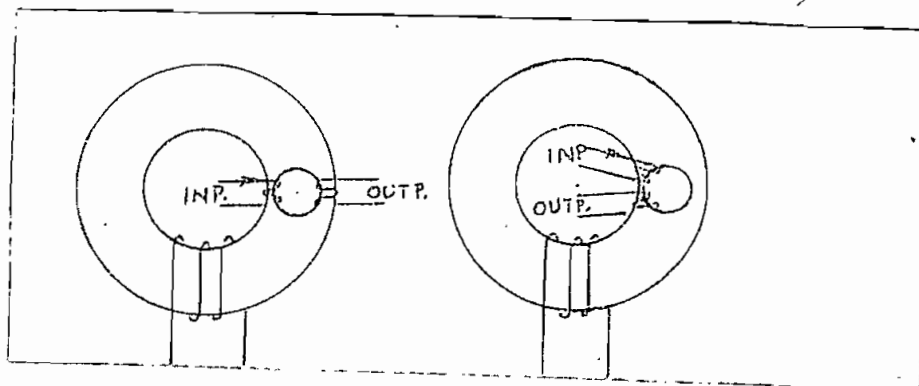
Equipo utilizado y circuito construido: Los mismos del experimento No. 2, con las variantes luego anotadas.

Conceptos Básicos: Por factor de discriminación o de calidad, Q, entendemos, al hablar de Transfluxores, la relación óptima entre la Tensión V_{smax} de salida en estado de completo desbloqueo y la Tensión de salida V_{smin} , en estado de completo bloqueo.

En la mayoría de los casos prácticos importa solamente la diferencia entre estos dos estados extremos de salida del transfluxor; tal es el caso de los circuitos lógicos ON-OFF.

$$Q = V_{smax}/V_{smin}$$

Configuración de las muestras:



Esquema de las dos muestras SIFERRIT, A y B usadas en este experimento.

Se usaron 2 muestras A y B SIFERRIT B64716, con bobinados de entrada y salida alrededor del pequeño orificio, dispuestas como en la fig. adjunta.

Operación: Partimos del estado de bloqueo. El oscilador de excitación de entrada envía una I_e a través del bobinado de entrada; comenzamos a enviar una I_c directa de amplitud creciente, a través del bobinado de control hasta lograr la máxima salida. Comparamos luego en un gráfico, los resultados de ambos transflores.

Resultados Experimentales:

CONSTANTE: $I_e = 50 \text{ mA}$

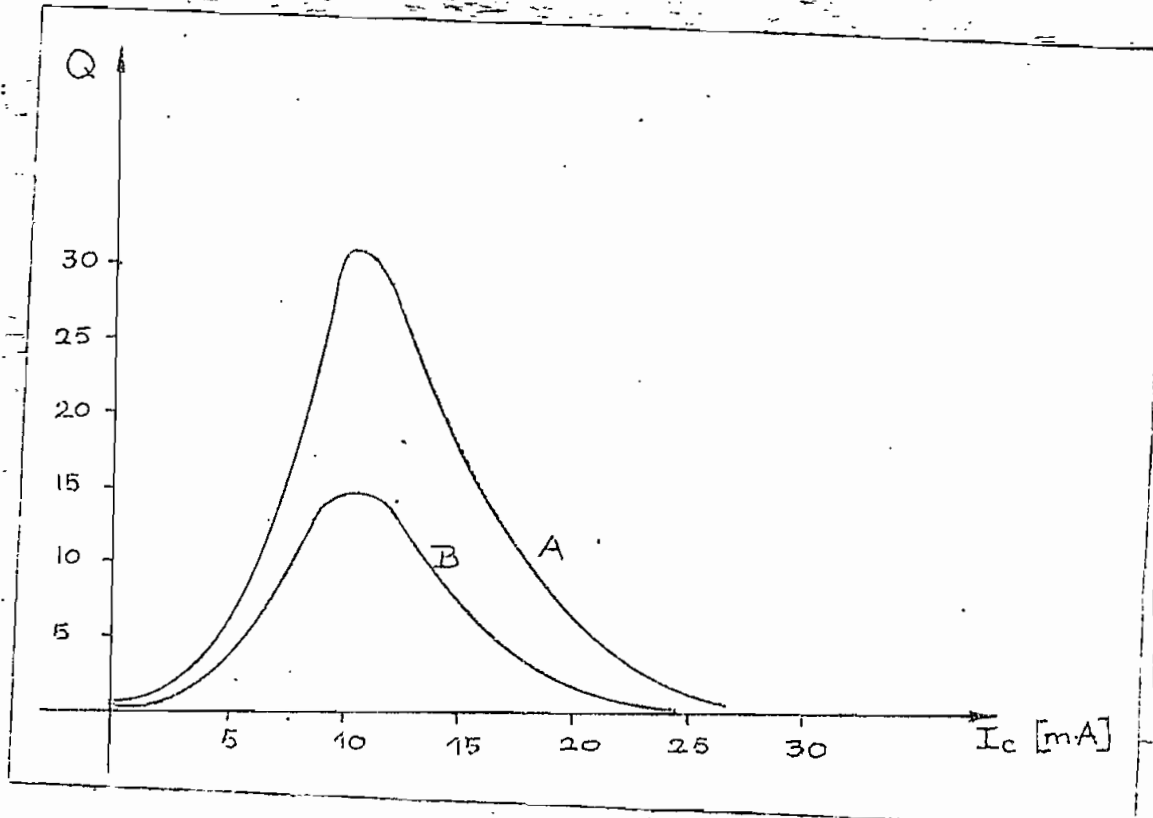
Número de vueltas de los bobinados:

Control: 35
Entrada. 15
Salida. 15

I_c	Muestra A			Muestra B		
	V_{\min}	V_{\max}	Q_A	V_{\min}	V_{\max}	Q_B
[mA]	[V]	[V]		[V]	[V]	
0	0,8	0,8	1	0,6	0,6	0,6
6		5	6,2		2,4	4
8		16	20		6	10
10		25	31		8,4	14
12		22	27,5		8,4	14
16		9	11		7,2	12

23	2,5	3,1	1,2	2
30	0,8	1	0,6	1

Gráfico:



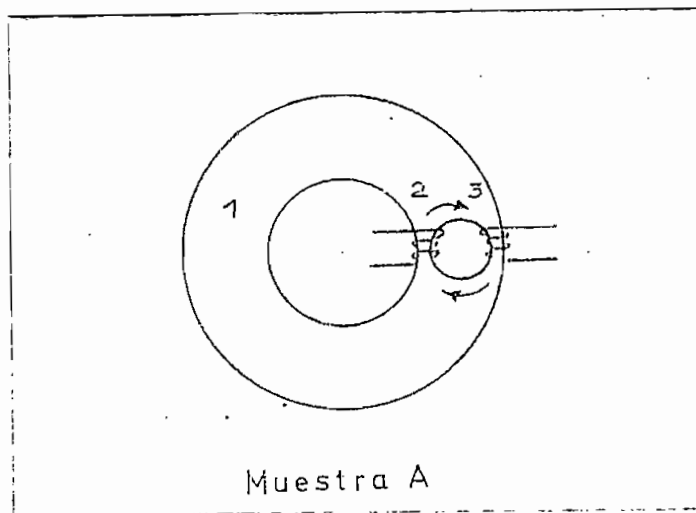
Variación del factor de discriminación Q de un transfluxor con la forma de embobinado.

Comentarios a los resultados experimentales y al gráfico: Claramente se nota la influencia marcada de la forma de embobinado, en el factor de calidad del transfluxor. La muestra A, cuyos bobinados se encuentran en distinto ramal del

orificio pequeño, ostenta un factor de calidad 2,2 veces mayor que la muestra B, en la zona más cercana a la saturación. Para este experimento, nos interesa sólo la zona del pico de la curva representada en el gráfico; la forma total de la respuesta es analizada en el siguiente experimento.

Este experimento nos visualiza las ventajas y desventajas de una u otra disposición de los devanados.

Conclusiones: cuando se construyen circuitos con transfluxores, debe procurarse que los devanados estén lo más separados entre sí, para evitar interferencias en la inducción.



La muestra A, cuyo esquema se representa arriba, posee enrollamientos distribuidos con mayor uniformidad y simetría; así, el camino magnético es más uniforme y circular. Con este fin, debe colocarse, además, un solo bobinado en cada rama del orificio pequeño, porque así se distribuye el flujo en secciones transversales uniformes.

porque se trabajan con corrientes mucho mayores que en las ramas 2 y 3 y su objetivo es solamente magnetizar el componente total hasta saturarlo; este estado de magnetización, no es utilizado operativamente en un sistema electrónico usual, sino que es meramente un controlador, una válvula que comanda apertura o cierre; por esta razón, son menos importantes en este circuito las alteraciones de flujo. En los circuitos lógicos, en que la geometría del transfluxor impone incomodidades al devanado, conviene tomar en cuenta la forma del embobinaje para obtener la mayor amplitud de salida posible, como en el caso del presente trabajo, en que se usan transfluxores de geometría usual, para construir circuitos que requieren componentes con geometría adaptada al uso particular que se les desea dar.

CURVA CARACTERISTICA DE SALIDA DE UN TRANSFLUXOR Y DEMOSTRACION DE LA UTILIZACION DE UN TRANSFLUXOR DE FERRITA PARA CONMUTACION (SWITCHING), PARA EL CASO EN QUE LA CORRIENTE ESTABLECEDORA (SETTING CURRENT) ES UNA FUNCION PASO.

Equipo y circuitos utilizados: Los mismos que para el experimento No. 2.

Descripción del proceso: Ante todo, se toman varias muestras de transfluxores, con diferente número de espiras en sus bobinados, con alambres de diferente grosor, para tratar de obtener:

- a) magnitudes de salida (Voltaje) apreciables
- b) amplitudes de excitación de entrada y control suficientes para lograr la saturación del transfluxor.

Se seleccionan los 2 resultados mejores, logrados por los componentes que llamaremos: transfluxor A y transfluxor B.

Sus características son iguales y se varía el número de vueltas de los bobinados así:

Transfluxor A:

Entrada: 15 v; alambre No. 28

Salida: 15 v; alambre No. 28

Control: 35 v; alambre No. 40

Transfluxor B:

Entrada: 22 v; alambre No. 28

Salida: 22 v; alambre No. 28

Control: 35 v; alambre No. 40

La característica de salida del transfluxor, se la obtiene en un gráfico que represente la tensión de salida V_s , como función de la corriente de control I_c ; se construyen curvas para diferentes valores de corriente de excitación I_e . Para este efecto, se saca del oscilador de entrada una I_e fija, y se observa en el osciloscopio las variaciones de V_s , conforme I_c va creciendo en amplitud.

Resultados Experimentales:

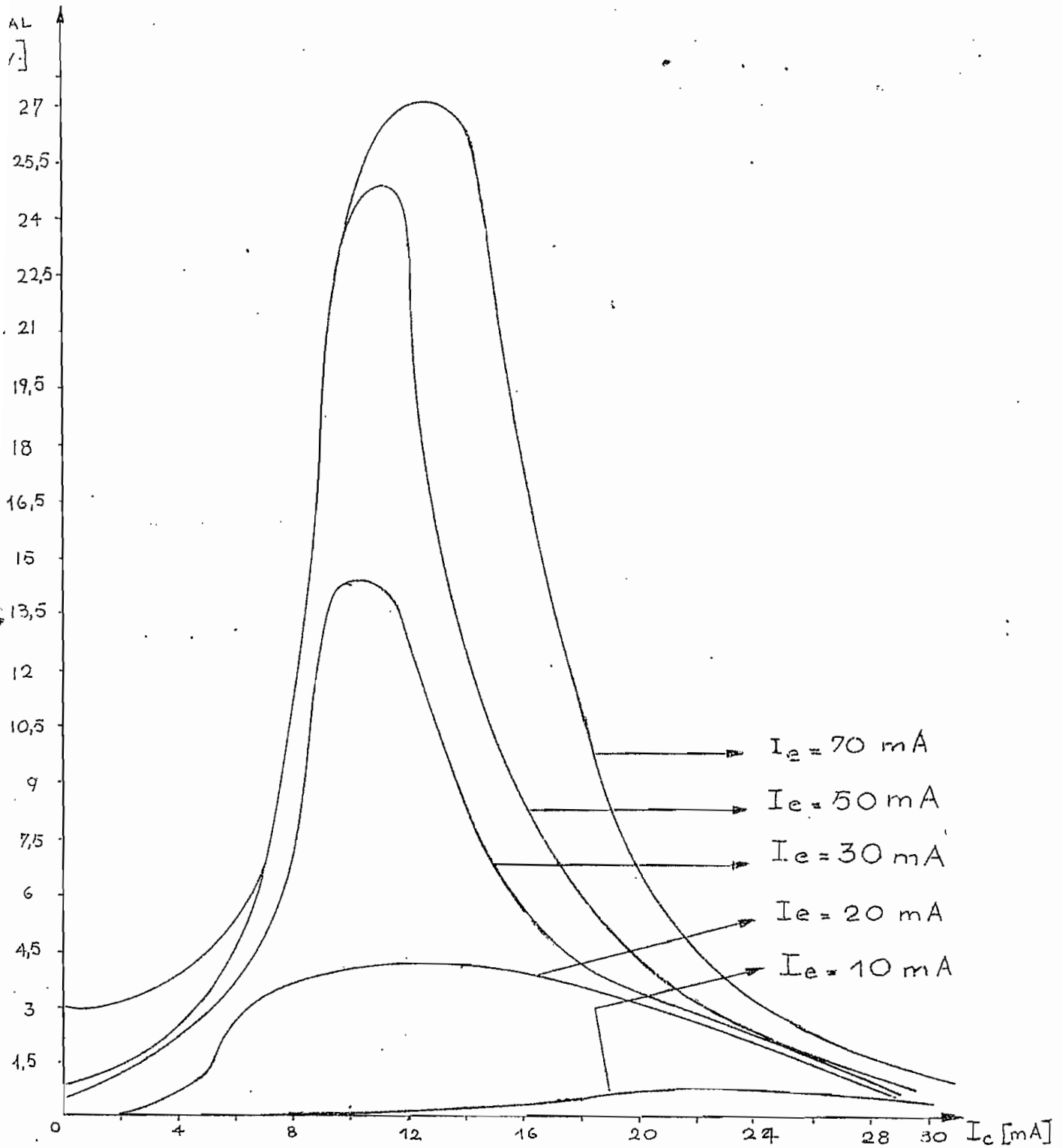
TRANSFLUXOR No.1

$I_e \rightarrow$	10mA	20mA	30mA	50mA	70mA
$I_c \text{ [mA]}$	$V_s \text{ [v]}$	$V_s \text{ [v]}$	$V_s \text{ [v]}$	$V_s \text{ [v]}$	$V_s \text{ [v]}$
0	0,1	0	0	0,8	2
5	0,12	1	3	5	4
8	0,14	2,5	6	16	7,6
10	0,17	4	14	25	22
12	0,2	4	13,5	22	27
14	0,25	4	12,8	15	24
16	0,32	3,8	5,2	9	18
18	0,5	3,7	3,8	5	10
20	0,6	3,2	1,6	4,5	6,2
22	0,66	2,4	1,2	2,5	3,5
24	0,72	1,6	1	2,7	2,5
27	0,5	1	0	1,8	1,8
30	0,48	0	0	0,8	1,3
35	0,25			0,8	1
40	0,16			0,6	1
45	0,1				1
50	0,05				1

$$Q_{OPTIMO} = 27/0,1 \approx 270$$

TRANSFLUXOR No 2

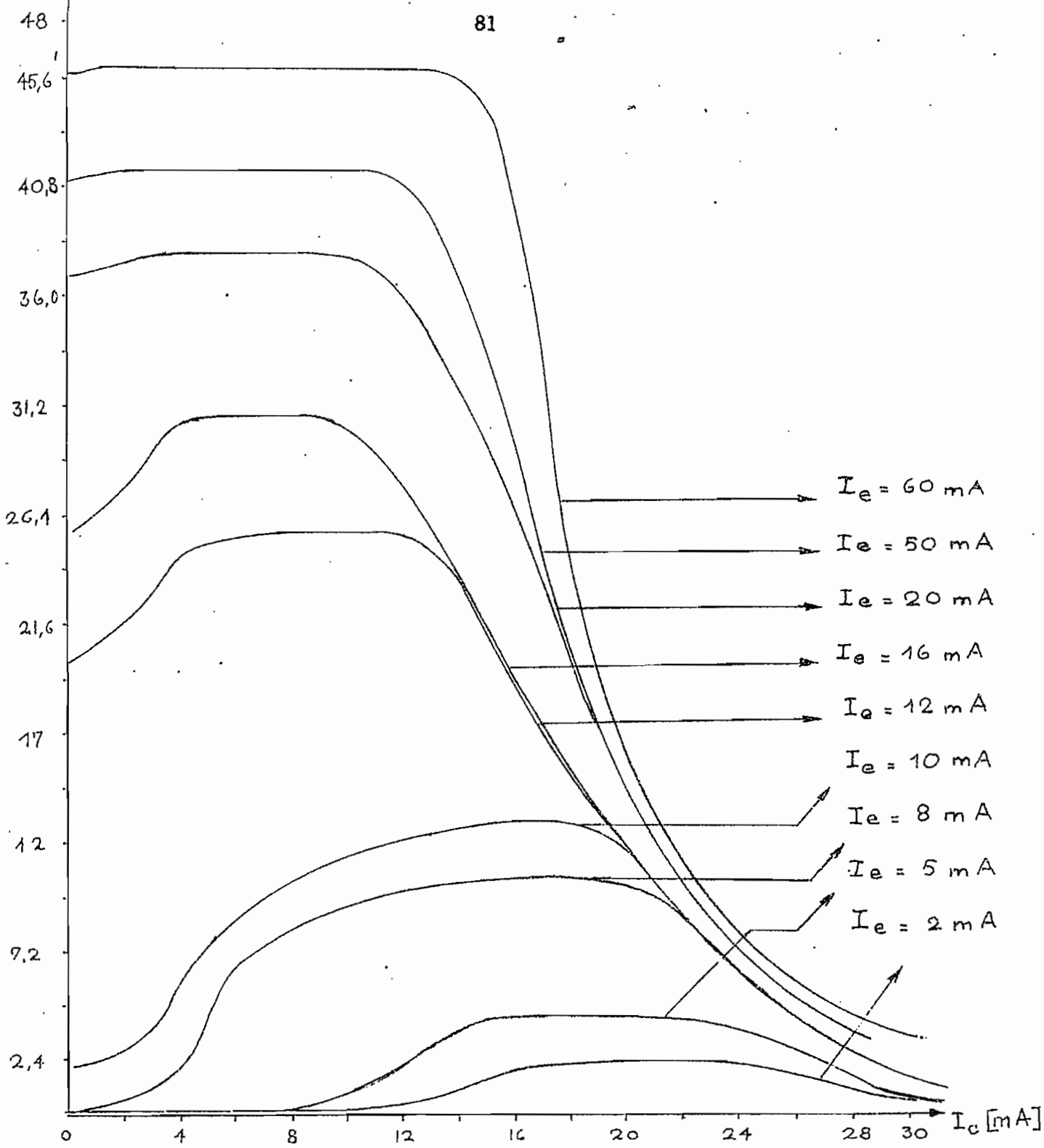
I_e [mA]	2	5	8	10	12	16	20	50	60
I_c [mA]	V_s [V]	V_s	V_s	V_s	V_s	V_s	V_s	V_s	V_s
0	0,25	0,36	0,8	2	20	25	37	41	46
2	0,25	0,36	0,8	3	22	27	38	41,2	46
4	0,28	0,4	1,8	5,4	24	30	38	41,4	46,2
6	0,3	0,44	7	8,5	25	30	38	41,6	46,2
8	0,35	0,44	8,2	10	25	30	38	41,6	46,4
10	0,35	0,5	9	11,2	25	28	37,5	41,6	46,4
12	0,4	1,28	9,8	12,6	24,6	27	36,2	41	46,4
14	1	3,5	10	13	23,5	23,5	33	36	46
16	2	4,2	10	13	20	20	27	29	34
18	2	4,3	10	12,8	16	16	21,8	21,8	24
20	2,2	4,4	9,8	11	10	10	18	15	21
22	2,2	4,1	9	10	10	10	12	12	14
24	2,2	2,9	7,5	7,6	7,8	7,8	8	8	10
26	2	2	4,8	5	5	5	6	6	7
28	1,4	1,2	4	4,6	4,6	4,6	4	4	5
30	1		2	3,6	2	2	3,2	3,2	4
32	0,7		1,8	2	2	2	2,5	2,5	3
34	0,6					2	2	2,5	2,5



Característica de salida asimétrica de un transfluxor circular SIFERRIT B64716. TRANSFLUXOR 1
MUESTRA A

V_{SA}
[V]

81



Característica de salida asimétrica de un transfluxor circular SIFERRIT B64716. TRANSFLUXOR 2

MUESTRA B

Análisis de los resultados experimentales. Una observación primera de los 2 gráficos, nos indica que el transfluxor B posee una capacidad de saturación, en un rango mayor que el transfluxor A. Este último logra saturarse a un valor de más o menos 12 ± 2 mA, o sea, en una banda estrecha de I_c lo cual hace a este circuito técnicamente indeseable. En cambio, el circuito B muestra una banda de más o menos 14 mA de I_c , tendiendo a optimizarse para un valor de $I_e \geq 60$ mA. La curva ideal es prácticamente, una línea paralela al eje de abscisas, sin decaer hacia cero, pero no se logró ese estado ideal de saturación por las siguientes razones:

a) Los osciladores y fuentes de D.C., del laboratorio en que se efectuaron los experimentos, no tienen la suficiente corriente de salida para lograr una ideal inducción de saturación B_s .

b) Se trató de optimizar la saturación, variando el número de vueltas de los 3 devanados, sin embargo, la geometría del componente limitó la posibilidad de construir devanados tales, que permitan disponer de una F.m.m., que genere un flujo de saturación total, alrededor del orificio menor.

Explicación de la energización asimétrica. La forma peculiar de los gráficos expuestos, puede explicarse de la siguiente manera: el cambio de flujo ϕ_1 en la rama 1 establecido por I_c , se divide en dos cambios de flujo ϕ_2 y ϕ_3 , correspondiente a las ramas 2 y 3 respectivamente ($\phi_1 = \phi_2 + \phi_3$). Cuando el flujo establecedor ϕ_1 es más pequeño que el máximo flujo contenible en la rama más angosta, (en este caso, por construcción es la rama 3); el establecimiento (SETTING), se denomina "normal". Para establecimiento normal, el 1er. pulso de excitación I_e en la rama 2, saturará la rama 3 en su dirección de saturación original bloqueada, transfiriendo al flujo ϕ_2 establecido en 2 a la rama 3. Cuando el pulso excitador de entrada es de una amplitud justa para saturar la sección de la

rama 3, el flujo concentrado en dicha rama será retransferido a la rama 2. Por consiguiente, el flujo intercambiado de salida entre 2 y 3 en el estado estacionario, será precisamente el flujo establecido en la rama 1 que es la suma de ϕ_2 y ϕ_3 . Este flujo crece linealmente hasta el límite de establecimiento normal, que, para el caso del transfluxor 1, es más o menos 10 mA. Cuando la excitación no basta para transferir todo el flujo de la rama 3 a la 2, sólo una parte del flujo intercambiable de la rama 3, será efectivamente transferido. Esto explica la forma de la característica para bajas excitaciones (menores de 60 mA) y, como consecuencia, la parte útil de la característica es aquella en la cual hay saturación del flujo a transferirse.

Cuando el ϕ_1 establecido en la rama 1 excede al contenible en la más ancha de las ramas 2 y 3, comienza a reverter los flujos en las 2 ramas produciendo bloqueo. Por consiguiente, la cantidad de flujo de salida intercambiado entre 2 y 3 disminuye.

Se observa, además, que la pendiente de descenso de la curva es menor que la de ascenso: la razón de ello, es la naturaleza asintótica de la curva cerca de la saturación.

Conclusión parcial. Para lograr, pues, una salida máxima, hay que corregir la pérdida de flujo debido al "sobreflujo de control, mediante una "sobreexcitación" de entrada. Una amplia I_e , (superior a 60 mA), saturará completamente la rama 3 en la dirección original de bloqueo hacia abajo, transfiriendo flujo primero a la rama 2 hasta saturarla y luego transfiriendo el exceso a la rama 1.

Conclusiones generales: Este experimento es el más importante en el tratamiento de transfluxores, porque muestra todas sus características de operación; es decir, se puede observar todas las interrelaciones entre las corrientes de excitación y de control, con el voltaje de salida.

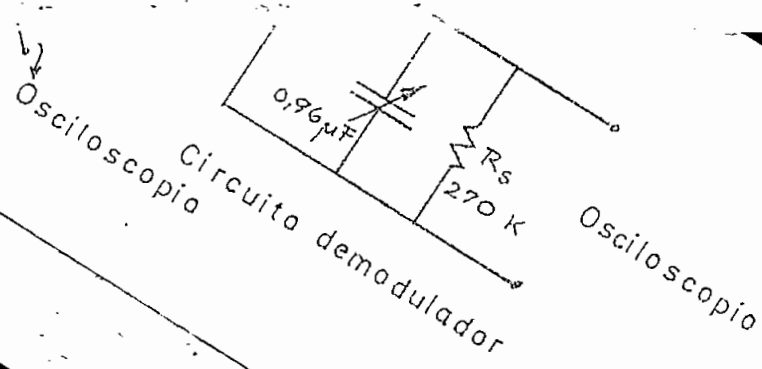
Por otra parte, hay que notar que cada transfluxor individual tiene su característica peculiar, sin que se pueda generalizar una curva para todos los elementos de igual especificación; y es que, en este caso, al igual que en transistores o válvulas de vacío, en que la operación del componente se efectúa a nivel atómico microscópico, no es posible todavía controlar plenamente el fenómeno.

Los transfluxores de ferrita poseen, en general, altísima resistividad y definido carácter ferrimagnético, pero en la práctica, cada muestra puede ser afectada por uno u otro tipo de anisotropía, que se refleja en la forma de la curva.

Anotemos, finalmente, que para los usos más comunes del transfluxor, en circuitos digitales o como conmutador (switch) magnético, etc., lo importante son los dos estados extremos de bloqueo y desbloqueo, es decir, la información "ON — OFF"; por tanto, en estos experimentos, se ha tratado de proveer una I_e de entrada, mayor que 60 mA, para lograr la saturación total y continua del transfluxor.

Por esta misma razón, no nos interesa en la práctica, calcular el valor medio o efectivo (RMS) del voltaje de salida; todos los datos tabulados y grafizados corresponden a valores pico a pico.

EXPERIMENTO No. 5



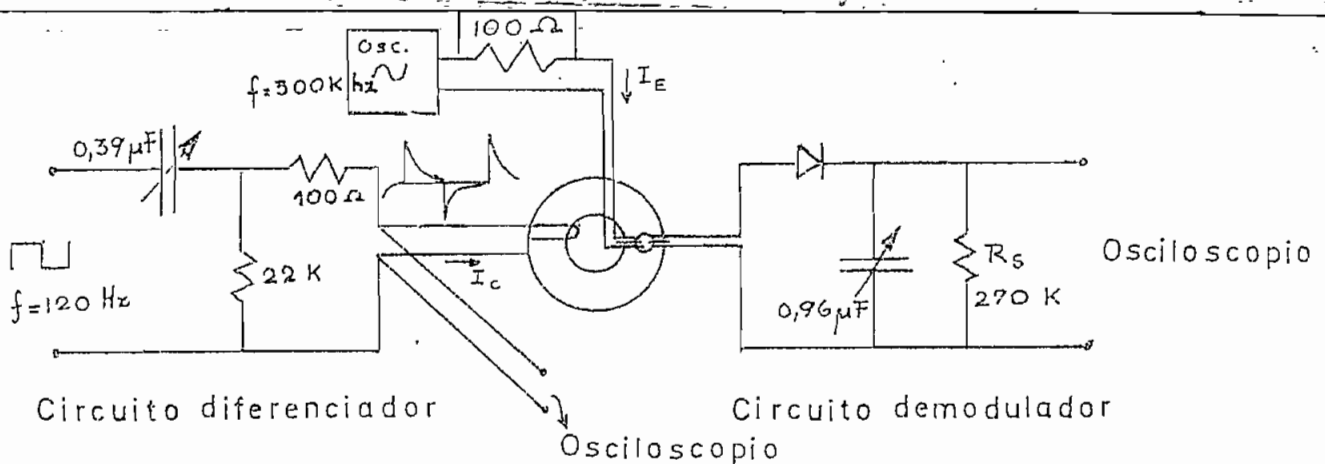
USO DEL TRANSFLUXOR COMO SWITCH O CONMUTADOR MAGNETICO.

Para esta demostración, encontraremos la curva característica de salida de un transfluxor biaperturado B64716, usando la muestra TRANSFLUXOR No. 2 del experimento anterior, cuando la corriente establecedora I_c (Setting current) es un tren de pulsos positivos y negativos.

Equipo utilizado:

- 1 Transfluxor SIFERRIT B64716 A1R402
- 1 Oscilador RCO 6k, Oltronix, 100V.
- 1 Oscilador Hewlett Packard 200 CD
- 1 Osciloscopio Tektronix 3A72 (doble trazo)
- Resistencias y capacitores
- 1 diodo 10 mA.

Circuito utilizado:



Devanados del transfluxor:

Entrada: 22 vueltas
Salida: 22 vueltas
Control: 35 vueltas

Explicación del proceso: Usamos simultáneamente dos osciladores, uno para dar señal de entrada: $f = 300$ KHz y otro para controlar el bloqueo y desbloqueo, de frecuencia obviamente mucho menor: $f = 120$ Hz.

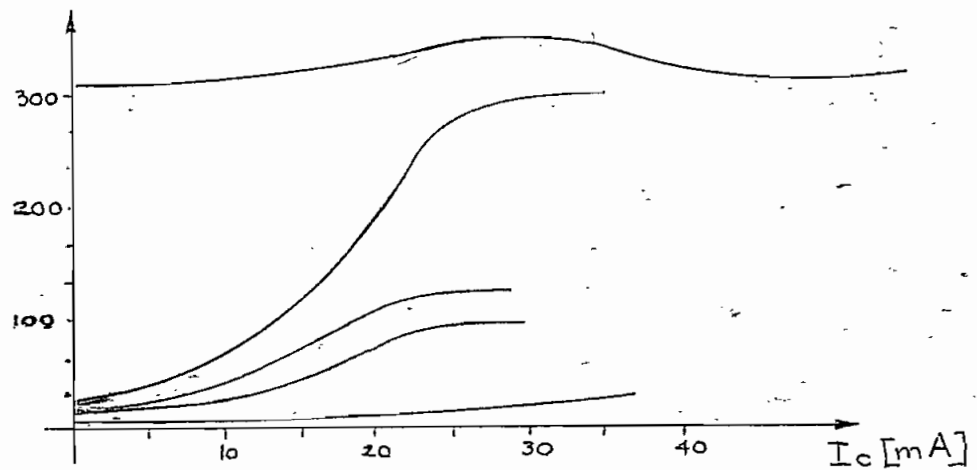
Un pulso positivo de I_c permite la aparición de un voltaje V_s en la resistencia $R_s = 270$ k; luego, un pulso negativo I_c de igual amplitud reduce totalmente la salida V_s .

El sistema está provisto, en la parte de control, de un circuito diferenciador que convierte los pulsos cuadrados del oscilador oltronix en impulsos. En la salida, conectamos un circuito demodulador de la $f = 300$ KHz, para observar sólo el perfil de la curva y compararla mejor con los impulsos de control.

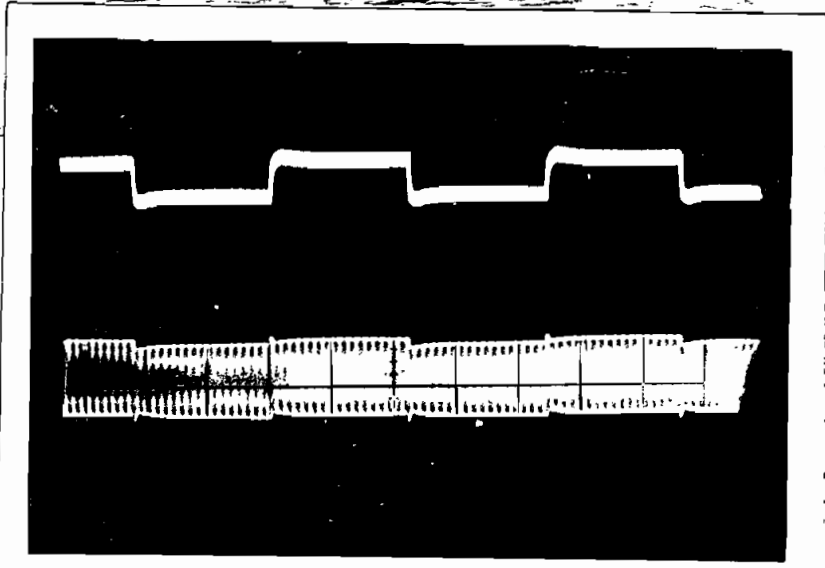
Resultados experimentales: Las fotografías demuestran claramente la operación del conmutador magnético; con todo, tabulamos también la característica de salida, para obtener conclusiones sobre las condiciones óptimas de operación del transfluxor.

I_c [mA]	V_s [mV]	V_s [mV]	V_s [mV]	V_s [mV]	V_s [mV]
0	12	18	20	27	310
2,4	12	18	22	28	310
4	12	18	22	30	309
5,6	14	18	24	32,5	309
7,2	14	19	24	34	309
8	14	20	25	35	309
10	14	24	30	36	309
12	14	24	40	48	310
15	14	30	60	60	314
18	14	44	90	120	315
20	16	66	100	180	315
22	16	80	112	230	315
24	16		120	290	316
26	16				318
28	16				322
33	18				320
44	22				310

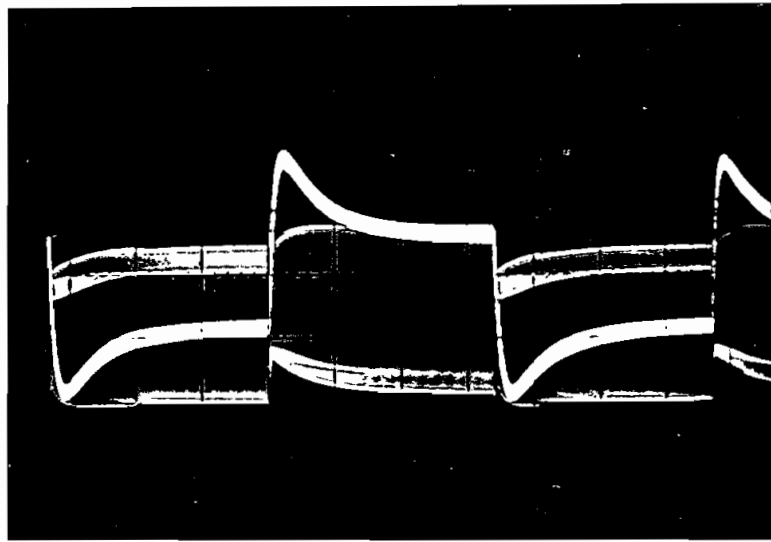
GRAFICO:



Respuesta de salida del conmutador magnético a transflujor

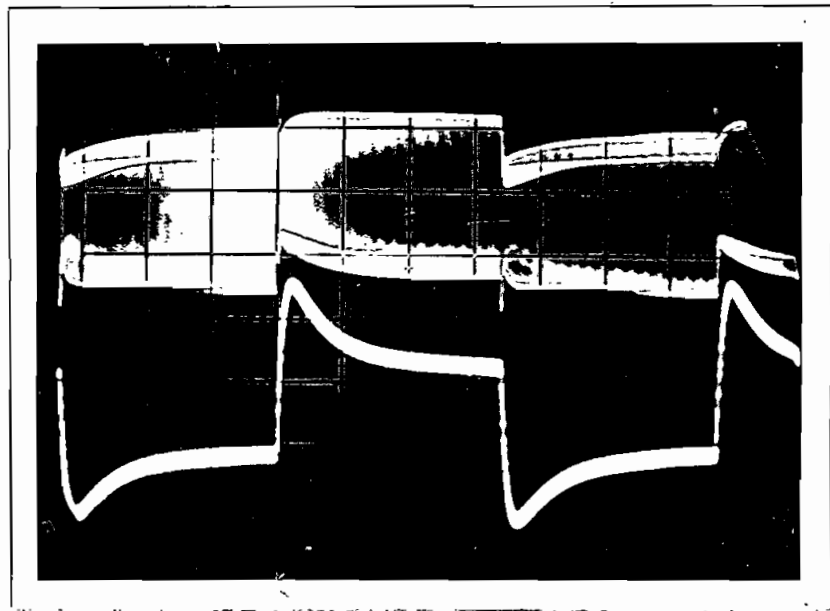
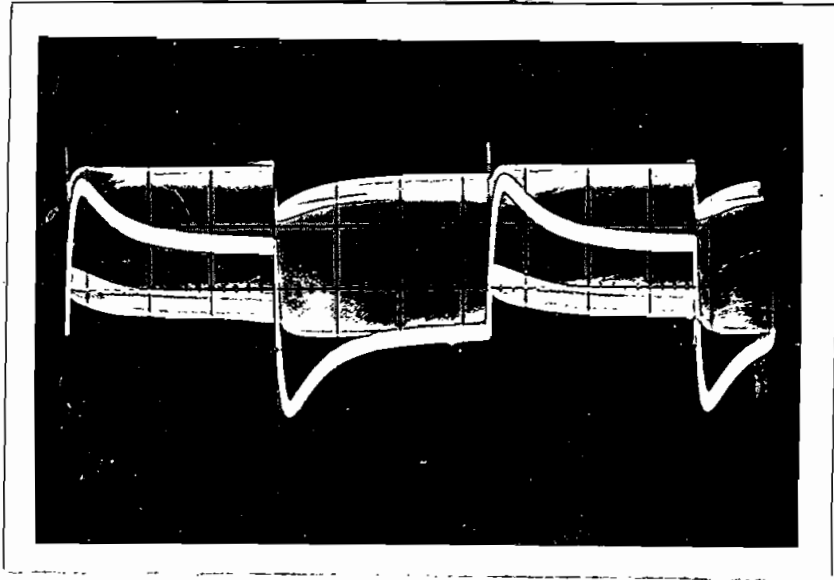


Señal superior : pulsos de control conmutante
Señal inferior : información



La señal de respuesta modulada cambia de signo simultáneamente con el pulso de control (superpuesto)

Conmutación en dos muestras diferentes. Este efecto se usa en circuitos lógicos y de procesamiento de datos.



Comutación en dos muestras diferentes. Este efecto se usa en circuitos lógicos y de procesamiento de datos.

Comentarios y conclusiones sobre los resultados experimentales. Las fotografías muestran la operación del conmutador magnético, para diversos estados de su magnetización producidos mediante I_e y para diversos niveles de desbloqueo; y se observa que la respuesta V_s (la curva superior en cada foto), pasa del bloqueo al desbloqueo, según varía la dirección de los impulsos de control (dibujados en la parte inferior de cada foto).

Esto nos indica que es posible usar un transfluxor de ferrita para implementar una presencia o ausencia de información, mediante un devanado de control situado en el mismo transfluxor, en el cual se producen impulsos de corriente (I_c).

Esta es quizá, una de las más valiosas aplicaciones de los transfluxores en el terreno de los circuitos digitales, donde el pulso de corriente es el elemento primario de su operación. En efecto, el comportamiento de los circuitos inversores que convierten una señal ON en una señal OFF y requieren, por lo menos, un elemento activo y varios pasivos, puede ser imitado por un solo transfluxor, con la ventaja de que las pérdidas son mucho menores que en los elementos más tradicionales como transistores, resistencias y capacitores.

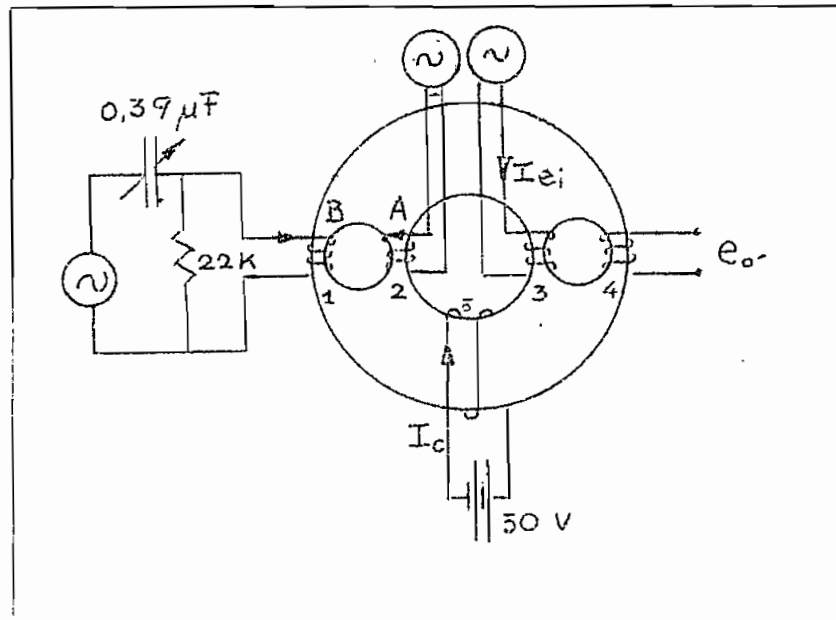
En los próximos experimentos, demostramos esta propiedad del transfluxor; los circuitos lógicos AND y OR en efecto, pueden ser producidos en un sólo componente de ferrita, creando condiciones de bloqueo y desbloqueo, de acuerdo con la naturaleza de dichos circuitos.

CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UN CIRCUITO LOGICO SUMADOR (OR GATE O COMPUERTA OR), USANDO UN TRANSFLUXOR DE FERRITA DE LAZO DE HISTERESIS RECTANGULAR.

Equipo utilizado:

- 1 transfluxor SIFERRIT B716402
- 1 Generador de señales PHILIPS
PM 5120 5 Hz/600 KHz
- 1 Generador de señales de baja salida HEWLETT
PACKARD 0989A05472 1Hz/1200 KHz
- 1 Osciloscopio PHILIPS GM 5600
- 1 fuente DC PE 4816 30v/3,5A

Circuito utilizado:



Número de espiras de los bobinados:

1: 20 vueltas

2: 20 vueltas

3: 10 vueltas

4: 10 vueltas

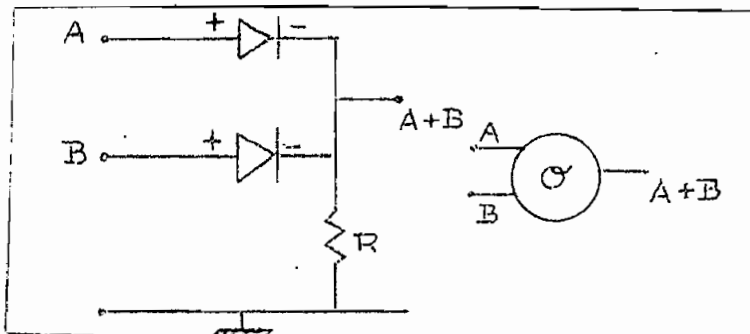
5: 30 vueltas

Frecuencia de la I_e de excitación de entrada: $f_{e_1} = 300 \text{ KHz}$

Frecuencia de las señales digitales A y B: $f_{A,B} = 120 \text{ Hz}$

Explicación de la operación del circuito:

A) DESCRIPCION DE UN CIRCUITO COMPUERTA "O" TRADICIONAL



En este sencillo circuito podemos apreciar, que si existe un $V_A \neq 0$ y un $V_B = 0$ o viceversa, o si existen ambas entradas, o sea $V_A \neq 0$ y $V_B \neq 0$, tendremos una salida de voltaje sobre la resistencia R; por tanto, si consideramos A y B como sumandos digitales, el circuito en cuestión tiene por salida la suma $A + B$.

La misma operación que este circuito efectúa mediante control de corrientes, es efectuada por el transfluxor mediante control de flujos magnéticos.

B) DESCRIPCION DE LA COMPUERTA "O" A TRANSFLUXOR

Establecemos una entrada e_i mediante una corriente sinusoidal de entrada de $f = 300$ KHz, de amplitud I_{e_1} .

Mediante una corriente I_c proveniente de una fuente DC, bloqueamos la salida e_o visible en el osciloscopio. Luego, producimos señales A y B de $f = 120$ Hz, en forma primero alternada, y luego conjuntamente, y observamos que el bloqueo establecido por I_c se levanta y obtenemos e_o en el osciloscopio.

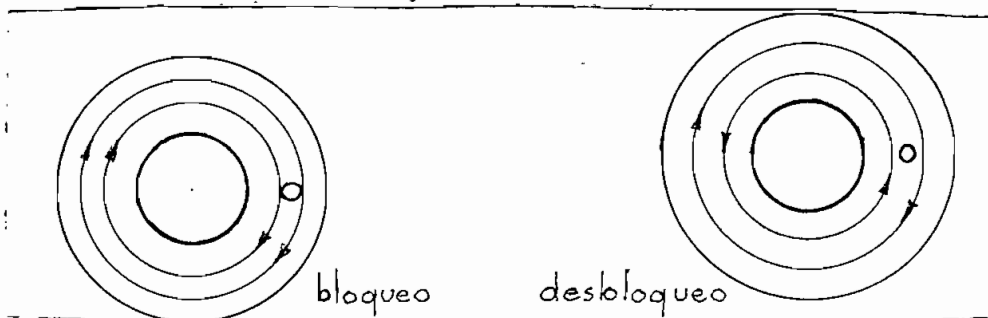
Tabulación de datos experimentales:

$I_{e_1} = 10 \text{ mA}$			$I_{e_1} = 15 \text{ mA}$			$I_{e_1} = 20 \text{ mA}$		
$I_c = 0,5 \text{ A}$ <i>de</i>			$I_c = 0,5 \text{ A}$			$I_c = 0,5 \text{ A}$		
I_A [mA]	I_B	e_o [mV]	I_A	I_B	e_o	I_A	I_B	e_o
0	0	4	0	0	7	0	0	10
0	10	16	0	15	28	0	20	40
10	0	18	15	0	29	20	0	44
10	10	23	15	15	41	20	20	58

Comentarios a los datos experimentales: Podemos observar que cuando $A = B = 0$, la salida e_o es mucho más baja que cuando tenemos entrada A o B o ambas simultáneamente; por tanto, podemos hablar de que se ha producido desbloqueo del transfluxor en tales casos. Observamos que para valores de I_{e_1} , mayores, se obtienen salidas e_o también mayores; esto se debe a que cuando I_{e_1} crece, la saturación de la ferrita es más perfecta y su operación se optimiza.

Con todo, debemos anotar que no hemos obtenido estados de bloqueo y desbloqueo con un factor de discriminación Q muy alto, como es deseable en la práctica; esto es debido en parte, a que los generadores de señales y la fuente DC con que experimentamos, no poseen altos valores de corriente de salida y, de esta manera, no podemos lograr una saturación total de la ferrita; efectivamente, habíamos observado en el experimento número 4, que la operación del transfluxor se optimiza para una $I_e = 60$ mA muy difícil de obtener en estos experimentos por la razón anotada. Otra razón más importante para ello se da en las conclusiones del experimento.

Explicación de la operación magnética del circuito compuerta "OR" a transfluxor.

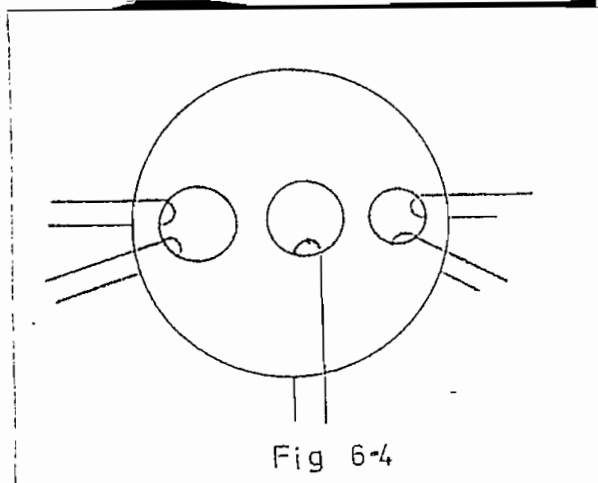


Como se había explicado en el capítulo IV de esta tesis, conocemos que el transfluxor está bloqueado, cuando las direcciones de inducción remanente de las ramas que circundan el orificio pequeño son las mismas y está desbloqueado, cuando estas mismas direcciones son opuestas. Por tanto, desbloquear un transfluxor equivale a invertir la dirección del flujo remanente en la rama que convinimos llamar 2.

En el presente experimento se demuestra que esta operación puede lograrse por medio de los devanados A y B (sumandos), que efectúan el llamado "DESBLOQUEO ESPURIO", que consiste en aplicar a través de A y B, una

corriente alterna energizante de amplitud tal, que no sólo invierta el flujo en el camino magnético pequeño, sino también en el camino magnético mayor, o sea, alrededor del orificio central grande.

Conclusiones: El presente experimento demuestra la eficiencia y confiabilidad de un transfluxor, como circuito compuerta OR; sin embargo como se explicó al comentar los datos experimentales, en el presente caso, no se obtienen resultados



La razón es la siguiente: este circuito OR fue espurio" arriba explicado; ahora bien, el presente trabajo, muestran orificios de significancia que los caminos magnéticos son independientes entre sí, lo cual hace difícil, por lo tanto, concluimos, que para ser lógica, se podría construir un transfluxor que sean comparables, como en la fig. 6-4 y bobinas alternas en A o B, para transferir flujo alrededor del orificio central. Derivada de este análisis se puede ver otra ventaja enorme del transfluxor, puesto que puede ser construido de muy diversas formas, con orificios de variados diámetros y asimétricamente distribuidos, de acuerdo con los objetivos que se persigan.

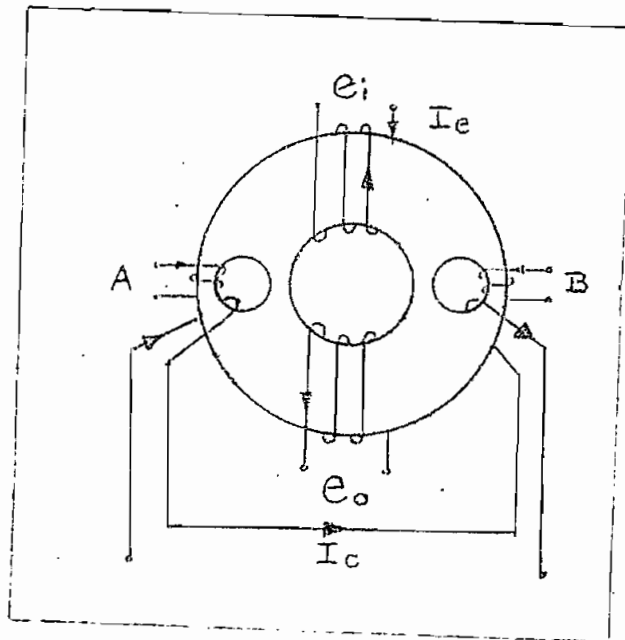
La siguiente conclusión, favorable al transfluxor, es que una sobrecorriente accidental en A o B, no afectaría las condiciones de operación, debido a la diferencia entre los dos caminos magnéticos; añádase a esto, que la ferrita no se quema con altas corrientes como ocurriría con otro tipo de material.

CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UN CIRCUITO LOGICO MULTIPLICADOR (AND GATE o COMPUERTA AND), USANDO UN TRANSFLUXOR DE FERRITA DE LAZO DE HISTERESIS RECTANGULAR.

Equipo utilizado:

- 1 transfluxor SIFERRIT 716402
- 1 fuente DC PE4816 30v/3,5 A
- 1 Generador de señales PHILIPS PM 5120 5Hz/600KHz
- 1 Generador de señales de baja salida HEWLETT PACKARD 0989 A05472 1Hz/1200KHz
- 1 Osciloscopio PHILIPS GM 5600

Circuito utilizado:



Número de vueltas de los bobinados:

A : 20 vueltas

B : 20 vueltas

e_o : 10 vueltas

e_i : 10 vueltas

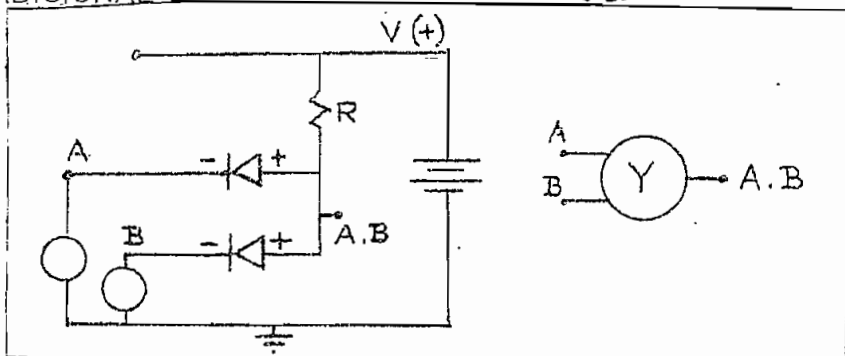
C : 5 vueltas

— Frecuencia de I_e (excitación de entrada): 300 KHz

— Frecuencia de las señales A y B: 120 Hz

a) DESCRIPCION DE UN CIRCUITO "COMPUERTA AND"

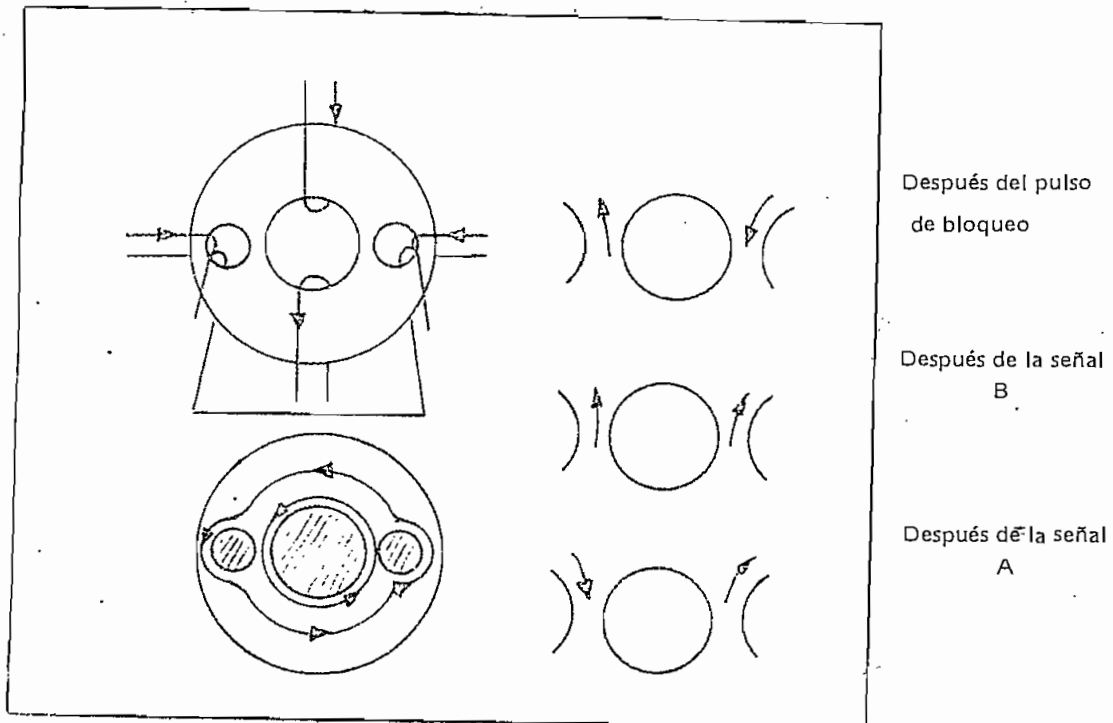
TRADICIONAL



El circuito arriba dibujado sirve para multiplicación de lógica positiva (entradas positivas); si se invierten los diodos, se tiene lógica negativa (entradas negativas). En el estado de información $A.B \neq 0$, se tiene que V_A y V_B simultáneamente, son algo mayores que $V(+)$; de este modo, los diodos quedan bloqueados y en la salida se tiene $V_{A.B} =$ voltaje de la fuente. Si una de las señales V_A o V_B es igual a cero, toda la corriente a través de R va a tierra, puesto que los diodos se convierten en cortocircuitos y $V_{A.B} = 0$.

b) DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN MAGNÉTICA DE UN CIRCUITO "COMPUERTA AND" A TRANSFLUXOR:

Los circuitos de entrada y salida se encuentran concatenando la rama 1. Partimos de un estado de bloqueo establecido por un pulso muy grande de I_c de control, en las ramas 3 de ambos orificios pequeños, pulso que incluso puede transferir flujo a la rama 1 creando una magnetización espuria de mayor o menor influencia, según el tamaño de los orificios. De este modo, se crea un estado de magnetización de la ferrita en tales direcciones, que sólo se puede tener salida e ϕ inducida alrededor del orificio central, si es que todas las regiones que circundan los orificios pequeños están magnetizadas en el mismo sentido, por ejemplo, en sentido antihorario.



Luego, al operar en cualquier orden, ambas señales A y B se logra crear la susodicha condición; si cualquiera de ellas no existe, sea A o sea B, se mantendrá

bloqueado el circuito magnético alrededor del orificio central, o sea, no será posible la transferencia de flujo repetitiva entre las ramas números 3 del lado izquierdo y números 2 del lado derecho; en esta situación no puede haber voltaje inducido de salida.

Tabulación de datos experimentales:

$I_e = 20 \text{ mA}$			$I_e = 15 \text{ mA}$			$I_e = 10 \text{ mA}$		
$I_c = 1 \text{ A}$			$I_c = 1 \text{ A}$			$I_c = 1 \text{ A}$		
I_A [mA]	I_B	e_o [mV]	I_A	I_B	e_o	I_A	I_B	e_o
0	0	8	0	0	6	0	0	4
0	20	8	0	20	6	0	20	4
20	0	8	20	0	6	20	0	4
20	20	14	20	20	16	20	20	19

Comentarios a los datos experimentales: La observación de la tabla superior hace evidente que el circuito sí cumple básicamente su cometido; en efecto, la salida e_o para $I_A \neq 0$ y $I_B \neq 0$ es notablemente mayor que e_o para $I_A = 0$ e $I_B = 0$. Sin embargo no se obtuvo un alto factor de discriminación Q .

En el mejor de los casos: para $I_e = 10 \text{ mA}$: $Q = 19/4 \approx 4,8$.

Posteriormente se indica cómo lograr un alto Q deseable. Los valores de e_o para estados de bloqueo, como podemos observar, no son cero; esto es debido a que la magnetización alrededor del orificio grande no es nula, debido a flujos espurios provenientes de los circuitos aledaños o simplemente flujos remanentes de otros

procesos.

Es evidente que no se pueden lograr perfectos estados de bloqueo o desbloqueo, por medio de un bobinado de control, que concatene las ramas del orificio pequeño solamente, debido al pequeño camino magnético que poseen; por esta razón, se requieren pulsos I_c muy grandes, los cuales generan flujos espurios. Normalmente, el bobinado de control concatena la rama principal del transfluxor; esta observación nos lleva a adecuadas conclusiones.

Conclusiones generales: Si se desea obtener un alto factor Q de discriminación, para evitar errores de apreciación, por parte de los circuitos acoplados a los transfluxores, se concluye que

a) en primer lugar, se deben efectuar los devanados en sentido tal, que al circular corriente por ellos, se generan flujos en la dirección adecuada para lograr un camino cerrado para el flujo total; esta circunstancia hace ardua la construcción de estos circuitos, pero es de absoluta importancia.

b) se deben seleccionar experimentalmente, (porque no hay procedimiento matemático valedero), las magnitudes de I_e , I_A , I_B e I_c con el fin de que I_e produzca una magnetización limitada a un anillo junto al orificio central.

Una amplitud muy grande de I_e podría magnetizar toda la ferrita, haciendo inútil la operación del resto de bobinados. La manera más efectiva de obviar estas dificultades es adoptar un transfluxor con una geometría más adecuada. Esto nos conduce a la 3a. conclusión importante:

c) **OPTIMIZACION GEOMETRICA DEL CIRCUITO:** El único modo efectivo de solucionar el problema del bajo nivel de salida en desbloqueo y de la ardua

selección de corrientes adecuadas, es diseñar un circuito geoméricamente más adecuado, como el de la Fig. mostrada a continuación:

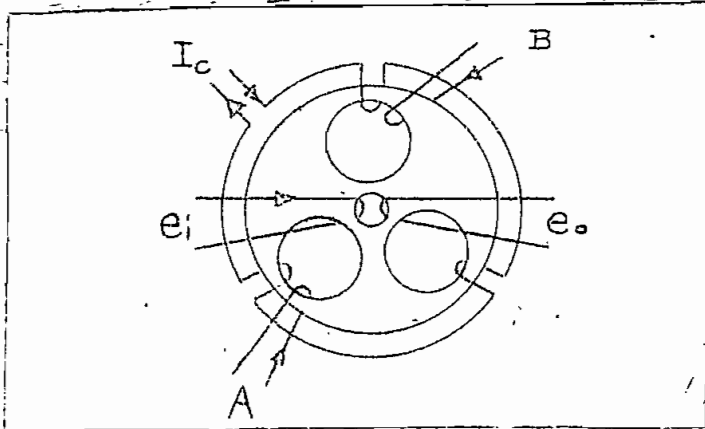


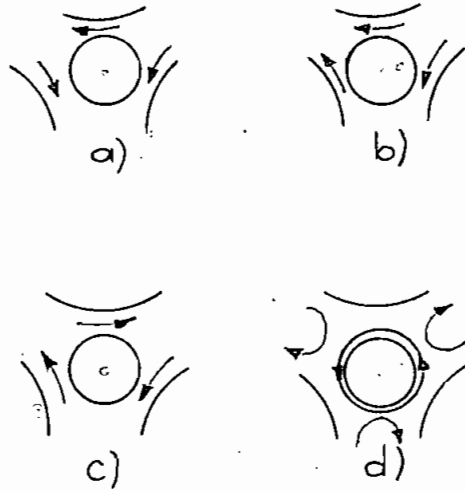
FIG.7-5 Compuerta And perfeccionada con esquemas de bobinados.

La interpretación de las magnitudes es la siguiente:

I_c	:	corriente del circuito de control
I_A	:	señal lógica
I_B	:	señal lógica
I_e	:	corriente de excitación de entrada.
V_s	:	voltaje de respuesta $\cong V_{A,B}$

En este circuito total, el circuito magnético de entrada y salida se halla alrededor del orificio pequeño central y su camino magnético es muy pequeño en comparación de los restantes, por tanto es prácticamente imposible que produzca magnetización espuria en el resto de circuitos.

Los bobinados están contruidos de tal modo que al aplicarse las señales multiplicándose I_A e I_B , se produce una magnetización de todas las regiones en el mismo sentido, en este caso, en sentido horario.



La figura adyacente indica el proceso sucesivo de reversión de flujo, que lleva al transflujor, del bloqueo total al desbloqueo total:

- a) después del pulso de bloqueo I_C
- b) después del pulso establecedor lógico I_A
- c) después del pulso establecedor lógico I_B
- d) después del pulso I_e de excitación (desbloqueo)

Como vemos, sólo cuando todo el circuito se encuentra magnetizado en sentido horario, se logra un camino magnético cerrado alrededor del orificio pequeño, y desbloquear el circuito de salida.

BIBLIOGRAFIA

- [C,1] COLLEU et MEXMAIN. "Structure et aspect physico-chimique des ferrites". (L'onde électrique, Mai 1963)
- [G,1] GANS. "Annalen der Physik". (1932)
- [G,2] GIESECKE Walter. "Physik und Technik der Ferrite". (April 1958)
- [H,1] HILPERT. "Berichte der Deutschen Physikalischen Gesellschaft". (Juli 1909)
- [K,1] KATZ Editors. "Solid State magnetic and dielectric devices".
- [L,1] LAX and BUTTON. "Microwave ferrites and ferrimagnetics".
- [M,1] METZDORF und RABL. "Die wesentlichen Eigenschaften von Ferrit-Ringkernen mit rechteckförmiger Hystereseschleife und ihre Wechselbeziehungen". (1963)
- [N,1] NEETESON. P.A. "Núcleos de ferrita: Propiedades estáticas y dinámicas; conmutación".
- [R,1] RABL, Helmut. "Ferrit-Transfluxoren". (Sonderdruck aus Siemens-Zeitschrift Juni 1960)
- [R,2] RAJCHMAN and LO. "The transfluxor". (IRE, March 1956)
- [R,3] ROBERTS, John. "High frequency applications of ferrites".